



คู่มือแนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบ
และการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง (ระยะที่ 1)
(พื้นที่ศึกษา : จังหวัดปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และฉะเชิงเทรา)





คู่มือแนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบ
และการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง (ระยะที่ 1)
(พื้นที่ศึกษา : จังหวัดปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และฉะเชิงเทรา)

คณะกรรมการกำกับการดำเนินโครงการ

ประธานกรรมการ

นายสุพน	เดชพลมัตย์	วิศวกรวิชาชีพ 8 วช.(วิศวกรรมโยธา)	สว.
---------	------------	-----------------------------------	-----

กรรมการ

นายยิ่งยง	บุญสุริยพันธ์	ผู้อำนวยการสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดปทุมธานี	
นายอนุสนธิ์	เจริญมาศ	ผู้อำนวยการสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัด	
		พระนครศรีอยุธยา	
นายจุมพล	แมนญาติ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	สทท.
นายอมร	จันทร์สกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	สสอ.
นายภาสกร	ไพโรจน์ศักดิ์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	สว.
นายคุณมาศ	พันธุ์เตชะ	วิศวกรโยธาชำนาญการ	สปร.

คณะทำงานกำกับดูแลโครงการ

นายสมพล	ลาภสวัสดิ์มงคล	วิศวกรโยธาชำนาญการ	สว.
น.ส.จรีพร	อรุณศรี	นายช่างโยธาชำนาญงาน	สว.

รายชื่อคณะผู้วิจัย

บุคลากรหลัก

รศ.ดร. นพดล เพียรเวช	ที่ปรึกษาโครงการ
ดร. วสันต์ วีระเจตกุล	ผู้จัดการโครงการ
นายอัฐสิทธิ์ ศิริวิชราภรณ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านปฐพีกลศาสตร์
ผศ.ดร. สมโพธิ อยู่ไว	ผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบทาง
นายชุมพร อรุโพรพงษ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านการก่อสร้างทาง

บุคลากรสนับสนุน

ผศ.ดร. ชาญวิทย์ สายหยุดทอง	วิศวกร/นักวิจัย
ผศ. ประเสริฐ ลักษณะสมยา	วิศวกร/นักวิจัย
ผศ.ว่าที่ ร.อ. อิทธิพร ศิริสวัสดิ์	วิศวกร/นักวิจัย
นายสุตนิรันดร์ เพชรรัตน์	วิศวกร/นักวิจัย
นางสาวนิตยา ศรีณย์ธรรมกุล	วิศวกร/นักวิจัย
นายชนินทร์ ตันติทรงธรรม	วิศวกร/นักวิจัย
นายวิรัช ประสาทแก้ว	วิศวกร/ผู้ประสานงานโครงการ
นายรุ่งโรจน์ ฤกษ์หรราย	เจ้าหน้าที่เทคนิค/ผู้ช่วยนักวิจัย
นายสุชาติ ทองรุ่งเรืองชัย	เจ้าหน้าที่เทคนิค/ผู้ช่วยนักวิจัย
นางเสาวลักษณ์ คงกระเรียน	เลขานุการ



คำนำ

ถนนที่ก่อสร้างอยู่บนแนวคันคลองชลประทาน หรืออยู่ริมตลิ่งของลำน้ำตามธรรมชาติมักจะเกิดปัญหาการชำรุดเสียหาย ซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ เกิดการทรุดตัว การขาดเสถียรภาพและการทรุดตัวรวมกับการขาดเสถียรภาพของคันทาง อันเนื่องมาจากหลากหลายสาเหตุ เช่นเกิดน้ำท่วมฐานรากของคันทางในฤดูน้ำหลาก หรือคันทางอยู่บนพื้นที่ดินอ่อน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว การแก้ไขป้องกันปัญหาดังกล่าว นอกจากการย้ายแนวถนนให้ออกห่างจากแนวคลอง แนวลำน้ำ หรือการปรับลดความชันของเชิงลาดด้านข้าง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของคันทางซึ่งอาจกระทำได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดของสภาพพื้นที่แล้ว ก็ยังมีวิธีการแก้ไขอีกหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีการนั้นมีข้อดี ข้อด้อย และความเหมาะสมสำหรับแต่ละสถานการณ์แตกต่างกันออกไป

กรมทางหลวงชนบท จึงให้มีการศึกษา รวบรวมแนวทาง วิธีการแก้ไข ป้องกันปัญหาเหล่านี้โดยการศึกษาในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี พระนครศรีอยุธยาและฉะเชิงเทรา ซึ่งมีปัจจัย แนวโน้มการเกิดปัญหาค่อนข้างสูง แล้วจัดทำเป็นคู่มือฉบับนี้ขึ้นเพื่อให้บุคลากรของกรมได้ใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบ ประเมินสภาพความเสียหาย เลือกวิธีการ และวัสดุสำหรับการแก้ไข ป้องกันปัญหาได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม ประหยัดค่าใช้จ่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่อื่นๆ ได้ ซึ่งเมื่อได้แจกจ่ายคู่มือนี้ไปยังหน่วยงานต่างๆ และมีการนำไปใช้งานสักระยะหนึ่งแล้ว สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา ก็จักได้มีการติดตามผลการนำคู่มือไปใช้งาน เพื่อรวบรวมประเด็นปัญหา ข้อคิดเห็นต่างๆ นำมาปรับปรุงคู่มือให้ถูกต้อง เหมาะสมต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คณะกรรมการกำกับการดำเนินโครงการ	ก
รายชื่อคณะผู้วิจัย	ข
คำนำ	ค
1. บทนำ	1-1
1.1 ความเป็นมา	1-1
1.2 รายละเอียดคู่มือ	1-2
2. การสำรวจความเสียหายของคันทาง	2-1
2.1 ข้อมูลที่ต้องการจากการสำรวจ	2-1
2.2 ขั้นตอนการสำรวจความเสียหายถนนเรียบคันคลอง	2-11
2.3 งานอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยการจราจร	2-21
2.4 ระดับความรุนแรงของความเสียหาย	2-22
3. ความเสียหายและสาเหตุ	3-1
3.1 ความเป็นมาของคันทางบดอัด	3-1
3.2 การตรวจสอบเสถียรภาพของคันทางบดอัด	3-2
3.3 การพังทลายของคันทางบดอัด	3-5
3.4 ลักษณะของการเคลื่อนพัง	3-8
3.5 รูปร่างของการเคลื่อนพัง	3-10
3.6 เสถียรภาพของคันทาง	3-12
3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของคันทาง	3-13
4. การเลือกวิธีการแก้ไข	4-1
4.1 การปรับปรุงเสถียรภาพของคันทาง	4-1
4.2 การรักษาเสถียรภาพของเชิงลาด	4-37
5. การวิเคราะห์ความรุนแรงและรูปแบบการแก้ไขปัญหาด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์	5-1
5.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	5-3
5.2 หลักการวิเคราะห์ถนนเรียบคันคลองด้วยโปรแกรม PLAXIS	5-5
5.3 การวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาถนนเรียบคันคลองโดยวิธีต่างๆ	5-20

สารบัญ (ต่อ)

6. แนวทางการแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทาง	6-1
6.1 การแก้ไขปัญหาการพังทลายของคันทาง	6-1
6.2 เกณฑ์การเลือกการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันแบบเร่งด่วนและปกติ	6-2
6.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วน	6-4
6.4 แนวทางการแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทางแบบปกติ	6-5
7. การเพิ่มความชันด้านข้างของลาดคันทาง	7-1
7.1 ความชันด้านข้างของลาดคันทาง	7-1
7.2 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการเพิ่มความลาดชัน	7-1
7.3 วิธีการปรับปรุงลาดชันด้านข้างของคันทาง	7-4
8. การประมาณราคาและการคำนวณราคากลาง	8-1
8.1 แบบฟอร์มการประมาณราคา	8-1
8.2 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานทาง	8-2
8.3 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานปรับปรุงแก้ไขคันทาง	8-14
9. บรรณานุกรม	9-1
10. ภาคผนวก	10-1
10.1 แบบแปลนแนะนำแนวทางและปรับปรุงและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง	10-2
10.2 แบบแปลนแนะนำการเพิ่มความชันด้านข้างของคันทางของถนนเลียบคันคลอง	10-14

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงเขตพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	1-1
รูปที่ 2.1 แสดงหน้าตัดของถนนและลำน้ำด้านข้าง	2-5
รูปที่ 2.2 แสดงรูปถ่ายของถนนที่ทำการสำรวจ	2-6
รูปที่ 2.3 แสดงรูปถ่ายของถนนที่ทำการสำรวจ	2-7
รูปที่ 2.4 แสดงรูปถ่ายความเสียหายที่เกิดขึ้น	2-8
รูปที่ 2.5 รอยแตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนตัวของคันทาง	2-10
รูปที่ 2.6 ลักษณะการยุบตัวและปูดตัวของพื้นถนน	2-10
รูปที่ 2.7 ข้อมูลความหนาของชั้นดินที่ได้จากการสำรวจและทดสอบ	2-12
รูปที่ 2.8 ข้อมูลความแข็งแรงของดินจากการทดสอบ Field Vane Shear Test	2-13
รูปที่ 2.9 แสดงการเจาะสำรวจช่วงต้นด้วยสว่านมือ	2-16
รูปที่ 2.10 แสดงการเจาะสำรวจแบบฉีดล้างด้วยเครื่องโรตารี	2-17
รูปที่ 2.11 แสดงกระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกบาง	2-18
รูปที่ 2.12 แสดงกระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกผ่า	2-19
รูปที่ 2.13 แสดงการทดสอบแรงเฉือนในสนาม	2-19
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการสำรวจคันทางเบื้องต้น	2-20
รูปที่ 2.15 งานอำนวยความสะดวก	2-21
รูปที่ 2.16 งานความปลอดภัยการจราจร	2-22
รูปที่ 2.17 สภาพสายทางระดับ A	2-23
รูปที่ 2.18 สภาพสายทางระดับ B	2-23
รูปที่ 2.19 สภาพสายทางระดับ C	2-24
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความชื้นในดิน	3-2
รูปที่ 3.2 แสดงเสถียรภาพของคันทางบดอัดในช่วงเวลาต่างๆ	3-3
รูปที่ 3.3 แสดงความเค้นกับความเครียดที่แตกต่างกันของคันทางกับฐานราก	3-5
รูปที่ 3.4 แสดงความเสียหายในลักษณะการยุบตัวของคันทาง	3-6
รูปที่ 3.5 แสดงรูปหน้าตัดก่อนและหลังการพังทลาย	3-6
รูปที่ 3.6 รอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวทาง	3-7
รูปที่ 3.7 ความเสียหายลักษณะการเคลื่อนพังของคันทาง	3-7

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.9 แสดงรูปร่างของ Rotational Slides ในลักษณะ Spoon Shaped	3-10
รูปที่ 3.10 แสดงรูปร่างของ Rotational Slides ในลักษณะ Cylindrical Shaped	3-11
รูปที่ 3.11 แสดงรูปหน้าตัดก่อนและหลังการพังทลาย	3-11
รูปที่ 3.12 แสดงแรงที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของคันทาง	3-12
รูปที่ 3.13 แสดงการบรรทุกน้ำหนักที่มาก	3-13
รูปที่ 3.14 แสดงระดับน้ำใต้ดินในคันทางที่สูงกว่าระดับน้ำในคลอง	3-14
รูปที่ 3.15 การพังทลายที่เกิดเนื่องจากเกิดการกัดเซาะที่ฐานของเชิงลาด	3-15
รูปที่ 3.16 แสดงการเกิดน้ำลดระดับอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	3-15
รูปที่ 4.1 แสดงส่วนที่เกิดความเสียหายในดินฐานรากและในคันทาง	4-1
รูปที่ 4.2 การใช้วัสดุมูลเบาประเภท Expanded Polystyrene Block (Geofoam) และ Air foam Stabilized Soil ในการก่อสร้างคันทาง	4-5
รูปที่ 4.3 แสดงการใช้งาน EPS Block	4-8
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสม Expanded-beads กับปริมาตรดิน	4-8
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังวัสดุ Air Foam Mix Stabilized Soil	4-10
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Curing Period และ Unconfined Compressive Strength	4-10
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Deformation และ Unconfined Compressive Strength	4-9
รูปที่ 4.8 แสดงการปรับลดความสูงของคันทาง	4-12
รูปที่ 4.9 แสดงการปรับลดความลาดชัน	4-12
รูปที่ 4.10 แสดงการตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง	4-12
รูปที่ 4.11 แสดงการกองวัสดุไว้บนไหล่ทาง อาจทำให้คันทางทรุดตัวได้	4-13
รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการทำกล่องหินลวดตาข่าย (Ling Middle East Company)	4-14
รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบการจัดเรียงกล่องหินลวดตาข่ายที่ความสูงต่างๆ	4-14
รูปที่ 4.14 การป้องกันดินเลื่อนไถล (Ling Middle East Company)	4-15
รูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างการใช้งานกล่องลวดตาข่ายในการเพิ่มความชันของคันทาง	4-16
รูปที่ 4.16 แสดงการเสริมแรงในคันทางโดยใช้เสาเข็มตอก	4-17
รูปที่ 4.17 แสดงการเสริมเสถียรภาพคันทางด้วยการใช้เสาเข็มตอก	4-17
รูปที่ 4.18 แสดงการใช้รถตักดินทำการกดเสาเข็มเพื่อเสริมแรงให้คันทาง	4-18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.20 การใช้เสาเข็มตอกร่วมกับการบดอัดด้วยดินซีเมนต์	4-20
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบถนนที่ไม่มีและมีการเสริมด้วยวัสดุรับแรงดึง	4-20
รูปที่ 4.22 การใช้วัสดุเสริมแรงในการก่อสร้างคันทางโดยการปูตามยาว	4-20
รูปที่ 4.23 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geotextiles	4-23
รูปที่ 4.24 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geogrids	4-23
รูปที่ 4.25 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geonets	4-24
รูปที่ 4.26 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geomembranes	4-24
รูปที่ 4.27 การใช้แผ่นใยสังเคราะห์เพื่อให้เชิงลาดมีเสถียรภาพ	4-25
รูปที่ 4.28 การถมดินโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มเสถียรภาพ	4-25
รูปที่ 4.29 ภาพหน้าตัดมาตรฐานการใช้แผ่นใยสังเคราะห์	4-26
รูปที่ 4.30 แสดงการก่อสร้างกำแพงกันดินบริเวณลาดชันด้านข้างของถนน	4-27
รูปที่ 4.31 กำแพงกันดินแบบ Gravity wall และ Cantilever wall	4-28
รูปที่ 4.32 แรงกระทำต่อกำแพงกันดินแบบดั้งเดิม	4-28
รูปที่ 4.33 แสดงโครงสร้างของดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ	4-29
รูปที่ 4.34 การใช้ดินซีเมนต์ปรับปรุงคันทางที่พังทลาย	4-29
รูปที่ 4.35 การก่อสร้างคันทางบดอัดด้วยดินซีเมนต์	4-30
รูปที่ 4.36 แสดงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเสาเข็มซีเมนต์	4-32
รูปที่ 4.37 การทำเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาด	4-32
รูปที่ 4.38 เครื่องจักรในการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ระบบเปียก	4-33
รูปที่ 4.39 เครื่องอัดน้ำปูนเพื่อลำเลียงเข้าไปผสมกับดิน	4-34
รูปที่ 4.40 เครื่องจักรในการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ระบบผสมแห้ง	4-35
รูปที่ 4.41 การปรับปรุงคุณภาพดินโดยเสาเข็มดินซีเมนต์	4-36
รูปที่ 4.42 การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดคันทางในกรณีที่มีเสาเข็มดินซีเมนต์	4-37
รูปที่ 5.1 แสดงหลักการของวิธี Limit Equilibrium	5-2
รูปที่ 5.2 อิลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมที่ใช้ในการวิเคราะห์ (a) 15 จุด (b) 6 จุด	5-4
รูปที่ 5.3 ปริมาณและทิศทางการเคลื่อนตัวของถนนที่ทำการวิเคราะห์	5-4
รูปที่ 5.4 บริเวณที่มีแนวโน้มจะเกิดการเคลื่อนพัง	5-4
รูปที่ 5.5 การกำหนดขนาดในหน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้าง	5-8

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 5.7 การแบ่งชั้นดินออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆ	5-12
รูปที่ 5.8 แสดงสภาพแรงดันดินที่มีอยู่ก่อนการวิเคราะห์	5-12
รูปที่ 5.9 แสดงการกำหนดให้โปรแกรม PLAXIS ทำการคำนวณแบบ Phi-c-reduction	5-14
รูปที่ 5.10 แสดงการกำหนดให้โปรแกรม PLAXIS ทำการคำนวณแบบ Incremental multipliers	5-15
รูปที่ 5.11 แสดงการเคลื่อนตัวของคันทาง	5-16
รูปที่ 5.12 แสดงเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของอิลิเมนต์ต่างๆ	5-16
รูปที่ 5.13 แสดงความเค้นที่เกิดในมวลดิน	5-17
รูปที่ 5.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์	5-17
รูปที่ 5.15 แสดงแนวของผิวการเคลื่อนพังที่เกิดขึ้น	5-18
รูปที่ 5.16 แบบจำลองการใช้วัสดุมวลเบ	5-20
รูปที่ 5.17 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของวัสดุมวลเบ	5-21
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Deformation และ Unconfined Compressive Strength	5-21
รูปที่ 5.19 แสดงการปรับลดความสูงของคันทาง	5-22
รูปที่ 5.20 แสดงการปรับลดความลาดชัน	5-22
รูปที่ 5.21 แสดงการตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง	5-22
รูปที่ 5.22 แบบจำลองการใช้กล่องหินลดตาข่าย	5-23
รูปที่ 5.23 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยเสาเข็ม	5-24
รูปที่ 5.24 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยวัสดุเสริมแรง	5-25
รูปที่ 5.25 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยการใช้กำแพงกันดิน	5-26
รูปที่ 5.26 แบบจำลองการใช้วัสดุดินซีเมนต์เป็นดินคันทาง	5-27
รูปที่ 5.27 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์	5-28
รูปที่ 6.1 การพิจารณาดำเนินการแก้ไขคันทางเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น	6-3
รูปที่ 7.1 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์การเพิ่มความสูงคันทางและเพิ่มความลาดชัน	7-1
รูปที่ 7.2 กราฟค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของถนนจากการวิเคราะห์	7-2
รูปที่ 7.3 แสดงการเกิดการพังทลายของคันทางที่เกิดขึ้น	7-3
รูปที่ 7.4 รายละเอียดผลการวิเคราะห์	7-4

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 7.6 แสดงตัวอย่างการใช้งานกล่องลวดตาข่ายในการเพิ่มความชันของคันทาง	7-6
รูปที่ 7.7 แสดงการเสริมกำลังในคันทางโดยใช้วัสดุรับแรงดึง	7-7
รูปที่ 7.8 แสดงการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด	7-8
รูปที่ 8.1 หน้าตัดคันทางกรณีมีคันทางเดิม	8-4
รูปที่ 8.2 หน้าตัดถนนสำหรับงานปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดคันทางเดิม	8-4
รูปที่ 8.3 หน้าตัดถนนสำหรับงาน Benching	8-5
รูปที่ 8.4 การก่อสร้างคันทางโดยใช้วัสดุมวลเบา	8-14
รูปที่ 8.5 การปรับเปลี่ยนหน้าตัดของถนน	8-15
รูปที่ 8.6 การใช้กล่องลวดตาข่ายในการเสริมคันทาง	8-16
รูปที่ 8.7 การเสริมกำลังด้วยเสาเข็มตอก	8-18
รูปที่ 8.8 การเสริมกำลังด้วยเสาเข็มเจาะ	8-19
รูปที่ 8.9 การเสริมกำลังด้วยเสาเข็มตอกและดินซีเมนต์	8-20
รูปที่ 8.10 การใช้วัสดุรับแรงดึงเสริมแรง	8-22
รูปที่ 8.11 การใช้กำแพงกันดิน	8-23
รูปที่ 8.12 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์	8-26

สารบัญตาราง

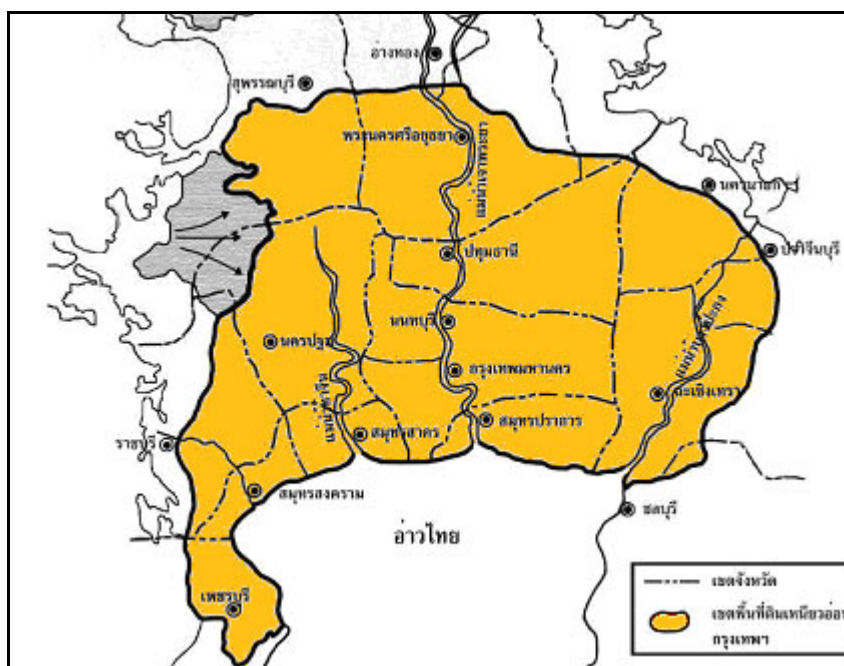
ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลการสำรวจเบื้องต้น	2-4
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของดิน	2-14
ตารางที่ 4.1 แสดงหลักการและวิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาดัง 8 วิธี	4-3
ตารางที่ 4.2 แสดงวิธีการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาดัง 8 วิธี	4-4
ตารางที่ 4.3 ชนิดของวัสดุมวลเบา	4-6
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของวัสดุ Coal Ash บดอัด	4-11
ตารางที่ 5.1 แสดงสรุปวิธีการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Limit Equilibrium	5-2
ตารางที่ 5.2 ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์	5-10
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน	5-10
ตารางที่ 5.4 แสดงค่า Young's modulus ของดินทั่วไป	5-11
ตารางที่ 6.1 แสดงการเลือกใช้วิธีการป้องกันหรือแก้ไข	6-2
ตารางที่ 7.1 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของถนนจากการวิเคราะห์ เมื่อแปรผันความสูงและความลาดชันด้านข้างของคันทาง	7-2
ตารางที่ 8.1 ตารางสำหรับการประเมินราคาสำหรับงานซ่อมแซมสะพาน	8-2
ตารางที่ 8.2 ส่วนขยายตัวและส่วนยุบตัวเมื่อบดทับ	8-9
ตารางที่ 8.3 อัตราการทำงานของชุดเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด	8-9
ตารางที่ 8.4 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมงานทาง	8-10
ตารางที่ 8.5 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้วัสดุมวลเบา	8-15
ตารางที่ 8.6 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการปรับหน้าตัด	8-16
ตารางที่ 8.7 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการเสริมด้วย GABION	8-17
ตารางที่ 8.8 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการเสริมด้วยเสาเข็มตอก	8-18
ตารางที่ 8.9 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการใช้เสาเข็มเจาะ	8-19
ตารางที่ 8.10 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้เสาเข็มตอกและดินซีเมนต์	8-20
ตารางที่ 8.11 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง	8-22
ตารางที่ 8.12 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้กำแพงกันดิน	8-24
ตารางที่ 8.13 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัดคันทาง	8-25
ตารางที่ 8.14 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์	8-26

สารบัญแบบฟอร์ม

แบบฟอร์ม	หน้า
แบบฟอร์มที่ 1 ข้อมูลการสำรวจสภาพสายทาง	2-4
แบบฟอร์มที่ 2 หน้าตัดสายทางและขอบเขตทาง	2-5

1.1. ความเป็นมา

พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานีและฉะเชิงเทราเป็นที่ราบลุ่ม โดยมีแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน ตามลักษณะทางภูมิประเทศดังกล่าว ทั้งสามจังหวัดจึงตั้งอยู่บนแหล่งดินเหนียวอ่อนที่สำคัญของประเทศไทยที่เรียกว่า “ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay)” ซึ่งครอบคลุม 14 จังหวัดของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งมีค่าแรงยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่าง 0.75 – 5.0 ตันต่อตารางเมตร ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนนี้ประมาณ 12 – 25 เมตร เกิดภายใต้อิทธิพลของแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นปัญหาในการก่อสร้างสิ่งก่อสร้างเกือบทุกชนิด ทั้งในด้านการพังทลายจากการรับน้ำหนักและการทรุดตัวในระยะยาว



รูปที่ 1.1 แสดงเขตพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (รศ.ดร.วรารกร ไม่เรียง)

ถนนที่ก่อสร้างในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานีและฉะเชิงเทรา โดยเฉพาะถนนที่ก่อสร้างอยู่บนแนวคันคลองชลประทาน หรือยูริมตลิ่งของลำน้ำตามธรรมชาติ มักจะเกิดปัญหาการทรุดตัว การชำรุดเสียหายพังทลายของโครงสร้างคันทาง โดยเฉพาะความเสียหายที่เกิดกับ

ลาดคันทาง อันเนื่องมาจากหลายๆ สาเหตุ เช่นอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ในฤดูน้ำหลากจะเกิดน้ำท่วมฐานรากของคันทาง หรืออยู่บนพื้นที่ดินอ่อน หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว อีกทั้งถนนลักษณะนี้ ก็มักจะมีข้อจำกัดเรื่องความกว้างของเขตทาง ซึ่งด้านหนึ่งเป็นคลองชลประทาน หรือลำน้ำ ส่วนอีกด้านหนึ่งก็ติดเขตที่ดินของประชาชน การแก้ไขปัญหาด้วยการขยับเลื่อนย้ายแนวถนนให้ออกห่างจากแนวคลอง แนวลำน้ำ หรือการสร้างถนนให้มีความชันของเชิงลาดด้านข้างทางน้อยลงกว่าปกติ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของคันทางจึงไม่อาจกระทำได้ แต่ยังสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการอื่นๆอีกหลากหลายวิธี

อีกปัญหาหนึ่งที่พบคือ ถนนบางสายที่ผ่านเข้าไปในพื้นที่ที่มีราคาที่ดินค่อนข้างสูง เป็นย่านชุมชน หรือเจ้าของที่ดินไม่ยอมอุทิศที่ดินให้เพียงพอ แม้ว่าจะพยายามลดความกว้างและความสูงของถนนอย่างที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้แล้ว ก็ยังเกิดปัญหาเชิงลาดของคันทางบางส่วนล่งล้ำเข้าไปในเขตที่ดินของประชาชน

กรมทางหลวงชนบท ได้ว่าจ้างให้คณะวิศวกรรมศาสตร์ดำเนินการศึกษาเพื่อ จัดทำคู่มือแนวทางการแก้ไข และป้องกันการพังทลายของถนนที่ก่อสร้างอยู่บนคันคลองชลประทาน หรือมี ปัญหาเรื่องการรุกล้ำเขตที่ดินของประชาชน โดยมุ่งศึกษาในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และฉะเชิงเทรา ซึ่งมีปัจจัย แนวโน้มการเกิดปัญหาลักษณะนี้อยู่ค่อนข้างสูง เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการแก้ไข และป้องกันการพังทลายของคันทาง ทั้งในพื้นที่กำหนดให้ศึกษา และอาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆที่มีสภาพแวดล้อม และปัจจัยที่คล้ายคลึงกัน ได้

1.2. รายละเอียดของคู่มือ

คู่มือนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเอกสารคู่มือและส่วนที่เป็นแผ่น CD โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 หนังสือคู่มือแนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง

ในคู่มือนี้จะพูดถึงการสำรวจและประเมินความเสียหายของคันทางและลาดคันทาง เพื่อพิจารณานำไปใช้ในการเลือกวัสดุและเลือกกระบวนการในการซ่อมแซมคันทางที่เสียหาย รวมถึงขั้นตอนในการป้องกันการพังทลายของคันทางและลาดคันทางที่ต้องการก่อสร้างใหม่และมีความเสี่ยงต่อความเสียหาย โดยคู่มือนี้จะครอบคลุมถึง

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหาและความเป็นมาของโครงการ รวมถึงเนื้อหาโดยสรุปของคู่มือ

บทที่ 2 การสำรวจความเสียหายของถนนเลียบบคันคลอง จะกล่าวถึงการสำรวจเพื่อหาข้อมูลพื้นฐานในบริเวณถนนหรือถนนเลียบบคันคลองที่ได้รับความเสียหาย รวมถึงขนาด ความรุนแรงและสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น การสำรวจนี้ครอบคลุมถึงสภาพพื้นฐานของถนนเลียบบคันคลองในบริเวณใกล้เคียงที่อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายหรือเกิดการพังทลายของลาดคันทางในอนาคต

บทที่ 3 ความเสียหายและสาเหตุความเสียหายของถนนเลียบบคันคลอง จะกล่าวถึงลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น รวมถึงสาเหตุและปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความเสียหายของถนนเลียบบคันคลอง ซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ การทรุดตัว การเคลื่อนพัง (Slide) และการทรุดตัวร่วมกับการเคลื่อนพัง

บทที่ 4 การเลือกวิธีการแก้ไข บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาเสถียรภาพของถนนเลียบบคันคลองด้วยวิธีต่างๆ รวมถึงหลักการของแต่ละวิธี ซึ่งแนะนำไว้ 8 วิธี

บทที่ 5 การวิเคราะห์ความรุนแรงและรูปแบบการแก้ไขปัญหาด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของถนนเลียบบคันคลอง รวมถึงการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการแก้ไขต่างๆ ทั้ง 8 วิธี

บทที่ 6 แนวทางการแก้ไขปัญหาคความเสียหายของคันทาง บทนี้จะเป็นการเลือกวิธีการแก้ไขความเสียหายของถนนเลียบบคันคลอง ในกรณีจำเป็นเร่งด่วนและกรณีปกติ รวมถึงข้อพิจารณาในวิธีการแก้ไขแต่ละวิธี

บทที่ 7 การเพิ่มความชันด้านข้างของลาดคันทาง บทนี้จะเป็นการแนะนำวิธีการก่อสร้างคันทาง ให้ความชันด้านข้างของลาดคันทางมากกว่า 1:2 (V:H) ที่ใช้ปกติ รวมถึงวิธีการวิเคราะห์การแก้ปัญหาที่เลือกใช้

บทที่ 8 การประมาณราคาและการคำนวณราคากลาง บทนี้จะกล่าวถึงข้อพิจารณาในการประมาณราคา ราคาต่อหน่วย และการคำนวณราคากลาง สำหรับวิธีการแก้ไขทั้ง 8 วิธี

1.2.2 แผ่น CD

แผ่น CD ประกอบด้วย แฟ้มเอกสารการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของสายทางที่อยู่ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา หน้าตัดของสายทางที่ได้ทำการคัดเลือกให้ทำการศึกษา ข้อมูลการสำรวจชั้นดินใน

สายทางที่ทำการศึกษา ความเสียหายที่เกิดขึ้นในถนนเลียบคันคลองและสาเหตุความเสียหาย
ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายในถนนเลียบคันคลอง วิธีการแก้ไขความเสียหายวิธีต่างๆ การ
วิเคราะห์ความเสียหายด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

อย่างไรก็ตามในคู่มือนี้จะครอบคลุมเฉพาะการซ่อมแซมถนนเลียบคันคลอง จากสาเหตุ
หลัก ๆ ที่ตรวจพบจากการสำรวจสายทาง 9 สายทาง ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานีและ
ฉะเชิงเทราเท่านั้น จึงอาจไม่ครอบคลุมทุกลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจมี
สภาพแวดล้อมและสาเหตุที่แตกต่างออกไป

การสำรวจความเสียหายของถนนเลียบคันคลอง

การสำรวจความเสียหายของถนนเลียบคันคลอง เป็นการสำรวจเพื่อหาข้อมูลพื้นฐานในบริเวณถนนหรือคันทางที่ได้รับความเสียหาย รวมถึงขนาด ความรุนแรงและสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น การสำรวจนี้ครอบคลุมถึงสภาพพื้นฐานของคันทางในบริเวณใกล้เคียงที่อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายหรือเกิดการพังทลายในอนาคต เช่นถนนสายเดียวกันและตำแหน่งอยู่ด้านข้างของลำน้ำเดียวกันกับที่เริ่มมีความเสียหายแล้ว นอกจากนี้ในกรณีที่ยังไม่พบความเสียหายเกิดขึ้นจะต้องทำการสำรวจหาแนวโน้มของคันทางที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดพังทลายในอนาคต การสำรวจนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถทำการประเมินสภาพความเสียหายเพื่อที่จะนำไปพิจารณาหาวิธีการป้องกันหรือแก้ไขซ่อมแซมที่เหมาะสมต่อไป และสามารถใช้ถนนดังกล่าวได้ตามปกติ และเพื่อการอำนวยความสะดวก ความปลอดภัยการจราจรและลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการพังทลายของคันทาง

2.1. ข้อมูลที่ต้องการจากการสำรวจ

2.1.1. ข้อมูลเบื้องต้นของสายทาง

การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของสายทาง ประกอบด้วยข้อมูลหมายเลขสายทาง หลักกิโลเมตร ชื่อสถานที่ หน้าตัดตามขวาง ความกว้างขอบเขตทาง ลักษณะผิวทาง ความกว้างและระดับน้ำของลำน้ำด้านข้าง(ถ้ามี) รวมถึงภาพถ่ายบริเวณที่ทำการสำรวจ โดยใช้แบบฟอร์มที่ 1 และ 2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1 - 2.4

2.1.2. ข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้น

ในกรณีที่มีความเสียหายเกิดขึ้นในสายทางที่ทำการสำรวจ ให้ผู้ทำการสำรวจจดลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นในช่องหมายเหตุแบบฟอร์มที่ 1 เช่นตัวอย่างในตารางที่ 2.1 และถ่ายรูปลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นลงในแบบฟอร์มที่ 2

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมถึงข้อมูลทางสถิติของความเสียหายที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นได้ว่า การพังทลายของคันทางมักเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันและมีระดับน้ำในลำน้ำด้านข้างเข้ามาเกี่ยวข้องในกรณีที่สายทางอยู่ติดกับลำน้ำ การดำเนินการสำรวจสภาพของถนนก่อนเกิดการพังทลายจะทำให้สามารถตรวจพบข้อบกพร่องซึ่งถึงความผิดปกติและสามารถดำเนินการป้องกันแก้ไขได้อย่างทันท่วงทีก่อนเกิดการพังทลาย

แบบฟอร์มที่ 1 ข้อมูลการสำรวจสภาพสายทาง

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือ แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง(ระยะที่ 1)

ลำดับ	ชื่อสายทาง	ลักษณะ ผิวทาง	ความกว้าง ขอบเขต ทาง	ความกว้างลำ น้ำ		ความลึกลำน้ำ		ความกว้าง ไหล่ทาง		ความชันของ ลาด		หมายเหตุ
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	

แบบฟอร์มที่ 2 หน้าตัดสายทางและขอบเขตทาง

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือ แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง(ระยะที่ 1)

รหัสสายทาง หลักกิโลเมตร ตำแหน่ง GPS

ภาพหน้าตัดสายทางและขอบเขตทาง

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลการสำรวจเบื้องต้น

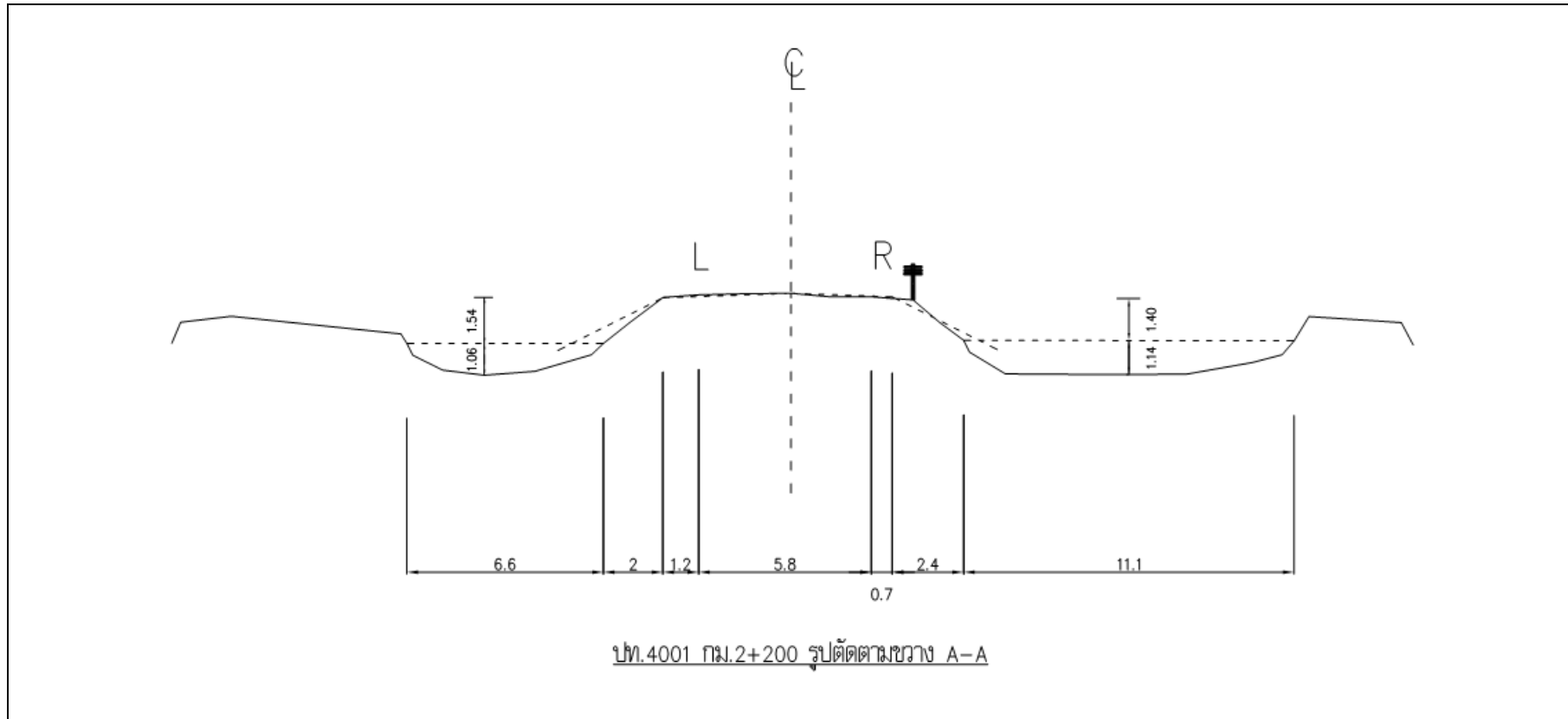
ลำดับ	ชื่อสายทาง	ลักษณะ ผิวทาง	ความกว้าง ขอบเขต ทาง	ความกว้างลำ น้ำ		ความลึกลำน้ำ		ความกว้าง ไหล่ทาง		ความชันของ ลาด (V:H)		หมายเหตุ
				ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
1	ปท.4001 แยก ทล.3261- บ้านคลองห้า - หน้าตัด 1 กม. 2+200 - หน้าตัด 2 กม. 5+050 - หน้าตัด 3 กม. 8+600 - หน้าตัด 4 กม. 11+400 - หน้าตัด 5 กม. 14+300	ลาดยาง " " " "	12.1 15.0 14.7 13.9 14.0	6.6 5.1 3.6 - -	11.1 5.07 - 29.5 27.6	1.06 1.1 0.89 - -	1.14 0.9 - 1.53 1.40	1.2 0.9 1.0 0.4 0.4	0.7 0.9 1.0 0.4 0.4	1:1.5 <1:3 1:2 <1:3 <1:3	1:1.5 1:3 1:2 1:2.5 1:2.5	สายทาง ปท.4001 มีเขตทางรวมถึงไหล่ทางแคบ และ บางช่วงติดคลองขนาดใหญ่ พบความเสียหายของคัน ทางบริเวณที่ติดลำคลองและบริเวณที่มีไหล่ทางแคบ พบรอยแตกตามแนวยาวค่อนข้างมาก คันทางส่วนใหญ่ ความลาดชันไม่ชันมาก
2	ปท.3015 แยก ทล.305 - คลอง 12 สายกลาง - หน้าตัด 1 กม. 4+600 - หน้าตัด 2 กม. 5+300 - หน้าตัด 3 กม. 8+150 - หน้าตัด 4 กม. 10+000 - หน้าตัด 5 กม. 10+350	ลาดยาง " " " "	15.8 15.4 14.5 14.8 14.2	13.6 2.6 13.4 - -	23.01 16.2 - - 5.5	2.88 0.26 0.76 - -	- 1.22 - - 0.62	1.8 0.8 1.2 1.3 1.3	2 0.9 1.4 1.4 1.1	1:3 <1:3 1:2.5 1:3 1:3	1:2.5 1:3 1:3 1:3 1:3	สายทาง ปท.3015 บางช่วงมีเขตทางแคบ บางช่วงติด คลองขนาดเล็ก พบความเสียหายของคันทางบ้าง โดยเฉพาะบริเวณที่ติดคลอง ถึงแม้จะมีไหล่ทางกว้าง พอควรและความลาดชันไม่ชันมากก็ตาม พบรอยแตก ตามแนวยาวเป็นระยะๆ
3	ปท.1021 แยก ทล.1 - เลียบคลองระ พีพัฒน์ - หน้าตัด 1 กม. 8+600 - หน้าตัด 2 กม. 14+500 - หน้าตัด 3 กม. 16+100 - หน้าตัด 4 กม. 24+400 - หน้าตัด 5 กม. 29+900	ลาดยาง " " " ลูกรัง	14.6 18.5 15.7 15.7 14.9	27.7 24.1 26.87 26.8 26.8	- 6.0 - - -	3.8 4.1 3.75 3.64 3.93	- 0.89 - - -	0.4 0.9 1.5 0.7 -	0.4 1.0 2.0 0.8 -	1:3 1:1.5 1:1.5 1:1.5 1:1.5	1:3 1:2.5 1:2 1:2 1:2	สายทาง ปท.1021 อยู่ติดกับคลองขนาดใหญ่ พบ ความเสียหายของคันทางจำนวนมาก ทั้งที่ทำการซ่อม แล้วและยังไม่ซ่อม พบรอยแตกตามแนวยาวที่ผิวคัน ทางค่อนข้างมาก เนื่องจากขอบเขตทางที่แคบ คันทาง อยู่ติดกับคลองขนาดใหญ่ ผิวจราจรด้านติดลำน้ำไหล่ ทางแคบกว่าปกติ และมีความลาดชันมาก

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือ แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง(ระยะที่ 1)

รหัสสายทาง ปท 4001

หลักกิโลเมตร 2+200

ตำแหน่ง GPS



รูปที่ 2.1 แสดงหน้าตัดของถนนและลำน้ำด้านข้าง

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือ แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง(ระยะที่ 1)

รหัสสายทาง ปท 4001

หลักกิโลเมตร 2+200

ตำแหน่ง GPS



ภาพหน้าตัดสายทางและขอบเขตทาง

รูปที่ 2.2 แสดงรูปถ่ายของถนนที่ทำการสำรวจ

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือ แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง(ระยะที่ 1)

รหัสสายทาง ปท 4001

หลักกิโลเมตร 2+200

ตำแหน่ง GPS



ภาพหน้าตัดสายทางและขอบเขตทาง

รูปที่ 2.3 แสดงรูปถ่ายของถนนที่ทำการสำรวจ

โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือ แนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง(ระยะที่ 1)

รหัสสายทาง ปท 1021

หลักกิโลเมตร 24+400

ตำแหน่ง GPS



ภาพหน้าตัดสายทางและขอบเขตทาง

รูปที่ 2.4 แสดงรูปถ่ายความเสียหายที่เกิดขึ้น

ดังนั้นการสำรวจสภาพของคันทางหรือสายทางตามรอบระยะเวลาจึงมีความสำคัญ และไม่ได้ก่อให้เกิดภาระในการปฏิบัติงานหรือสร้างความยุ่งยากในการปฏิบัติงานตามปกติของเจ้าหน้าที่แต่อย่างใด เนื่องจากการสำรวจสภาพของคันทางหรือสายทางเป็นเพียงการประเมินสภาพจากการสังเกตสภาพพื้นที่โดยทั่วไป ข้อมูลระดับน้ำ การเคลื่อนตัวของคันทางด้วยสายตาเป็นหลัก ซึ่งการสำรวจสภาพดังกล่าวอาจกำหนดเป็นรอบระยะเวลาตามความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ฤดูกาลและจำนวนบุคลากรที่มีอยู่ สำหรับวิธีการสังเกตดังกล่าวสามารถจำแนกการพิจารณา ได้ดังนี้

- 1) ข้อมูลระดับน้ำ
- 2) การเคลื่อนตัวของถนนเลียบคันคลอง
- 3) สภาพที่อาจเกิดการพังทลายขึ้นในอนาคต

1) ข้อมูลระดับน้ำ โดยใช้ข้อมูลดังนี้

- 1.1 ศึกษาข้อมูลความสูงของระดับน้ำในลำน้ำด้านข้าง (ถ้ามี) จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเปรียบเทียบช่วงเวลาที่เคยเกิดการพังทลายของคันทางกับข้อมูลความสูงของระดับน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลว่าในอดีตคันทางเคยพังทลายที่ระดับความสูงของน้ำเท่าใด
- 1.2 เปรียบเทียบระดับความสูงของน้ำในปัจจุบันกับระดับความสูงในอดีตที่ทำให้เกิดการพังทลาย
- 1.3 สังเกตระดับความสูงของน้ำโดยอาจติดตั้งไม้วัดระดับน้ำ
- 1.4 สังเกตอัตราการลดลงของระดับน้ำ เพื่อเตรียมติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลการเปิดปิดประตูน้ำหรือเตรียมวิธีป้องกันอื่นๆต่อไป
- 1.5 เมื่อเข้าสู่หน้าแล้งซึ่งความสูงของระดับน้ำจะลดลงมากที่สุด ควรเพิ่มความถี่ในการสำรวจระดับน้ำ

2) การเคลื่อนตัวของถนนเลียบคันคลอง โดยใช้วิธีการสังเกตรอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวจราจรหรือบนไหล่ทางดังนี้

- 2.1 สังเกตขนาดและแนวของรอยแตกพร้อมทั้งถ่ายภาพเพื่อรายงานผู้รับผิดชอบดำเนินการวิเคราะห์แนวโน้มความเสียหายในอนาคตและหาวิธีแก้ไขซ่อมแซม ดังแสดงในรูปที่ 2.5
- 2.2 อาจต้องมีการซ่อมแซมรอยแตกที่เกิดขึ้น โดยใช้ยางมะตอยหรือซีเมนต์มอร์ตาร์ตามความเหมาะสม เพื่อความปลอดภัยในการใช้สายทาง



รูปที่ 2.5 รอยแตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนตัวของคันทาง

3) สภาพที่อาจเกิดการพังทลายขึ้นในอนาคต มีวิธีการสังเกต ดังนี้

- 3.1 รอยแตกบนพื้นถนน ขอบถนน และลาดคันทาง
- 3.2 ลักษณะการยุบตัวเป็นหลุมบ่อของถนน และการปูดตัว (Heave) ของขอบถนน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะการยุบตัวและปูดตัวของพื้นถนน

2.1.3. ข้อมูลด้านวิศวกรรม

เมื่อมีความเสียหายของถนนเลียบลำน้ำเกิดขึ้น และต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม ข้อมูลที่จะต้องนำมาประกอบเพื่อวิเคราะห์หาวิธีการแก้ไขซ่อมแซมได้แก่ ข้อมูลทางด้านวิศวกรรม เช่น ข้อมูลสภาพชั้นดินบริเวณนั้น ข้อมูลคุณสมบัติของดิน คุณสมบัติของชั้นดินที่ต้องทำการทดสอบ ประกอบด้วย

- 1 ความหนาของชั้นดิน จากการเจาะสำรวจ
- 2 สภาพแข็งหรือเหลวของดิน (Atterberg's Limits)
- 3 ความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity)
- 4 ความแข็งแรงของดิน จากการทดสอบ Unconfined Compression Test หรือ Field Vane Shear Test

ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมที่นำมาประกอบในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 และตารางที่ 2.2

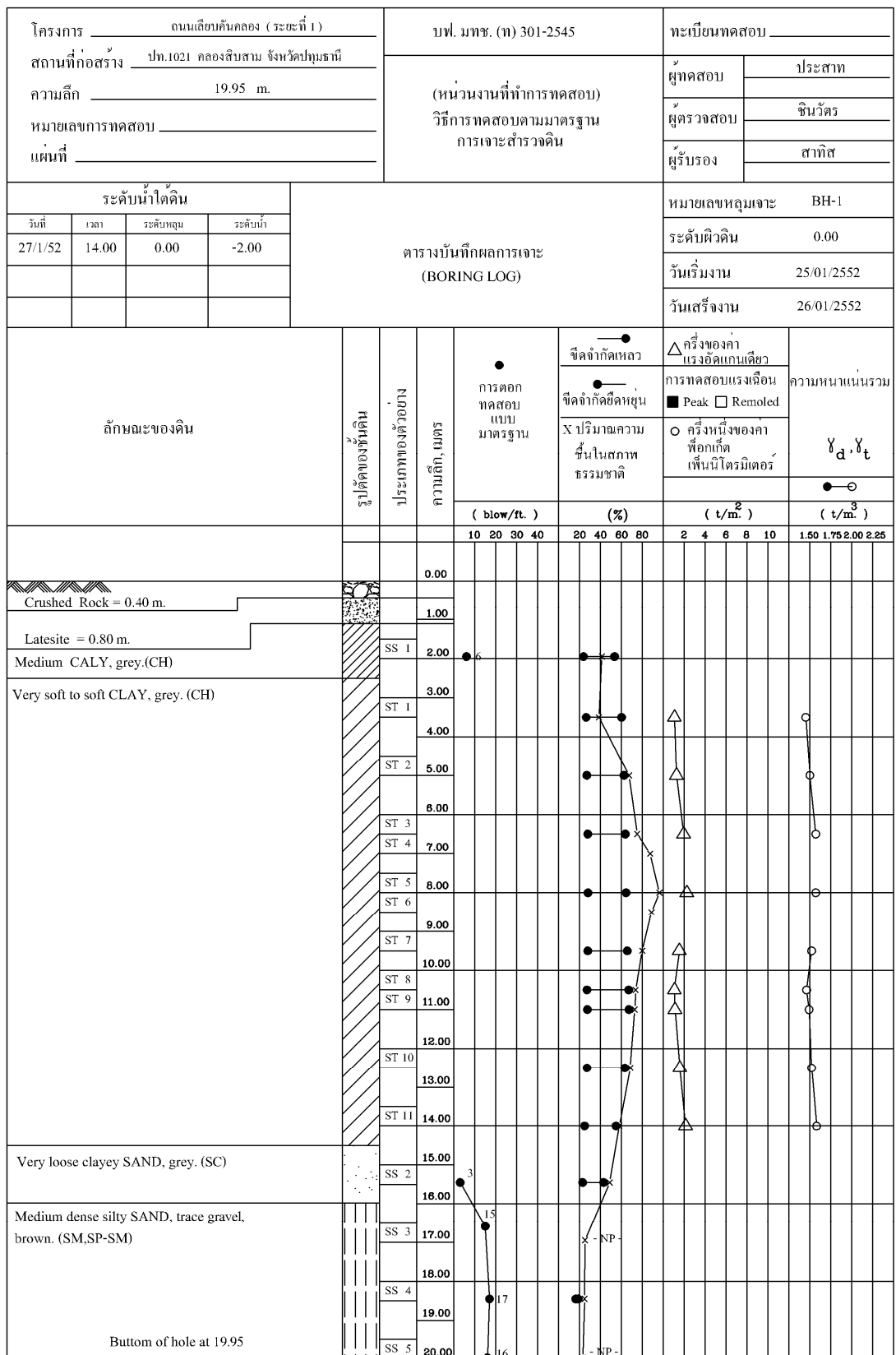
2.2. ขั้นตอนการสำรวจความเสียหายถนนเลียบคันคลอง

การสำรวจความเสียหายของถนนเลียบคันคลองที่มีความเสียหายหรือพังทลายของถนน ควรดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.1. การจดบันทึกข้อมูล

งานสำรวจในกรณีนี้ ผู้สำรวจภาคสนามต้องรวบรวมข้อมูลของสายทาง รวมทั้งทำการจดบันทึกสภาพความเสียหายของสายทางที่ได้ทำการตรวจสอบ โดยมีรายละเอียดที่จำเป็นต้องบันทึกดังนี้

1. วัน เวลา ที่เข้าดำเนินการสำรวจ
2. ตำแหน่ง พิกัด หมายเลขสายทาง หลักกิโลเมตร ชื่อสถานที่
3. สภาพของสายทาง ชนิดของผิวจราจร
4. ลักษณะความเสียหายที่สำรวจพบ
5. ขนาดและพื้นที่ที่เกิดความเสียหาย
6. สาเหตุความเสียหาย
7. ภาพถ่ายบริเวณที่เกิดความเสียหาย
8. สภาพสายทางบริเวณใกล้เคียง
9. แนวทางเบื้องต้นในการอำนวยความสะดวกปลอดภัยในการจราจร
10. ระดับน้ำของลำน้ำด้านข้าง



รูปที่ 2.7 ข้อมูลความหนาแน่นของชั้นดินที่ได้จากการสำรวจและทดสอบ

<u><i>FIELD VANE SHEAR TEST RESULTS</i></u>	
Project : ศึกษาและจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบรินคันคลอง (ระยะที่ 1)	Test by : ณัฐพล
Location : ปท.1021 แยกทางหลวงหมายเลข 1 - เลียบคลองรพีพัฒน์ จังหวัดปทุมธานี	Date of Test : 28 มกราคม 2552
Hole No. : FV-1	Checked by : จินวัตร
	Date : 5 กุมภาพันธ์ 2552

Project : ศึกษาและจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบริมคันคลอง (ระยะที่ 1) **Test by :** ณัฐพล

Location : ปท.1021 แยกทางหลวงหมายเลข 1 - เลียบคลองรพีพัฒน์

Date of Test : 28 มกราคม 2552

จังหวัดปทุมธานี

Checked by : จินวัตร

Hole No. : FV-1

Date : 5 กุมภาพันธ์ 2552

[illegible]

Note

(1.) Field vane shear No. OHZ039663

$$(2.) \text{ Torque (kg-cm)} = 8.7964 * (\text{Total Torque} - \text{Friction Torque}) + 100.84$$
$$(3.) \text{ Su } (\text{ton/m}^2) = (\text{Torque (kg-cm)} / 1.594 \times 10^{-3}) * 0.10 \quad \text{when } D = 75.8 \text{ mm.}$$

รูปที่ 2.8 ข้อมูลความแข็งแรงของดินจากการทดสอบ Field Vane Shear Test

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของดิน

SUMMARY OF TEST																							
PROJECT		โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบและก่อสร้างถนนเลียบคันคลอง (ระยะที่ 1) BORING NO.										BH-1		TESTED BY		ชยากร		DATE		6-ก.พ.-52			
LOCATION		ปท.1021 แยกทางหลวงหมายเลข 1-คลองสิบสาม (เลียบคลองระพีพัฒน์) จ.ปทุมธานี										TOTAL DEPTH		19.95 M.		CHECKED BY		ชินวัตร		DATE		4-มี.ค.-52	
SAMPLE NO.	DEPTH (M)		Wn %	ATTERBERG LIMITS (%)			GRADATION (% PASSING)					USCS GROUP	GS	qu. t/m ²	γt (t/m ³)	SPT-N (blow/ft)							
	FROM	TO		LL.	PL.	PI.	NO.4	NO.10	NO.40	NO.100	NO.200												
SS-1	1.50	1.95	41.3	53.4	23.8	29.6			100.0	99.5	98.7	CH					6						
ST-1	3.00	3.50	38.5	60.1	26.4	33.7				100.0	99.8	CH		2.11	1.45								
ST-2	4.50	5.00	67.4	62.5	26.9	35.6				100.0	99.8	CH		2.54	1.5								
ST-3	6.00	6.50	75.0	63.8	27.9	35.9				100.0	99.9	CH	2.65	3.86	1.57								
ST-4	6.50	7.00	87.3									CH											
ST-5	7.50	8.00	96.3	64.4	28.0	36.4				100.0	99.9	CH		4.51	1.57								
ST-6	8.00	8.50	88.7									CH											
ST-7	9.00	9.50	79.7	65.6	27.8	37.8				100.0	99.9	CH		3.05	1.52								
ST-8	10.00	10.50	73.5	66.9	27.1	39.8				100.0	99.8	CH		2.11	1.46								
ST-9	10.50	11.00	72.7	67.1	27.5	39.6				100.0	99.8	CH		2.24	1.49								
ST-10	12.00	12.50	68.4	63.2	27.1	36.1				100.0	99.8	CH		3.16	1.52								
ST-11	13.50	14.00	57.9	54.8	24.9	29.9			100.0	99.8	91.5	CH		4.25	1.58								
SS-2	15.00	15.45	48.7	42.9	23.0	19.9	100.0	95.5	58.3	43.3	40.4	SC				3							
SS-3	16.50	16.95	25.1	-	NP	-	99.3	98.9	70.5	8.2	6.8	SP-SM				15							
SS-4	18.00	18.45	24.7	18.6	16.4	2.2	100.0	99.6	69.5	24.9	22.3	SM	2.67			17							
SS-5	19.50	19.95	23.1	-	NP	-	99.1	98.5	65.4	22.1	18.9	SM				16							

ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้ในการสำรวจความเสียหายของคันทาง ดังแสดงในแบบฟอร์มที่ 1 และ 2

2.2.2. การรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจดิน

เนื่องจากชั้นดินในสภาพธรรมชาติมีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะในแต่ละสถานที่ การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างด้านธรณีวิศวกรรมจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบลักษณะของชั้นดินในแต่ละสถานที่ เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างถูกต้องตามสภาพพื้นที่ เป็นผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงและประหยัด ข้อมูลการสำรวจเพื่อการออกแบบและก่อสร้างถนนทางด้านธรณีวิศวกรรม ที่ใช้สำหรับการสำรวจทางคันทางเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบ จะนำมาใช้เพื่อพิจารณาประกอบการวิเคราะห์ความเสียหายและการพังทลายของถนนต่อไป

2.2.2.1. การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเดิมที่ได้ทำการเจาะสำรวจดินไว้แล้ว จะต้องดำเนินการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสภาพและความหนาของชั้นดินในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดิน และระดับน้ำใต้ดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 420 (Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes) ตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจดินในสนามจะนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม 6 คุณสมบัติ ดังนี้

1. Field Vane shear ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2573 (Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soils)
2. Atterberg's Limits ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4959 (Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil By Direct Heating Method), ASTM D 4943 (Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method), ASTM D 4318 (Standard Test Method for for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils)
3. Specific Gravity ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 854 (Standard Test Method for Specific Gravity of Soils)
4. Unconfined Compression ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2166 (Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil)

5. Consolidation ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2435 (Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils)
6. Triaxial Test ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2850 (Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils), ASTM D 4767 (Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils)

สำหรับวิธีการเจาะสำรวจที่สามารถเลือกใช้ได้มีวิธีการดังนี้

2.2.2.2. การเจาะสำรวจด้วยสว่านมือ (Auger Boring) ตามมาตรฐาน ASTM D 1452 (Standard Practice for Soil Investigation and Sampling by Auger Borings) เพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในระดับที่ไม่ลึกมาก การเจาะจะใช้สว่านมือในการเจาะ โดยใช้แรงคนกดผ่านก้านเจาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ตัวก้านเจาะนั้นสามารถต่อให้ยาวหลายๆ ท่อนได้ แต่หากลึกมากแรงคนจะไม่สามารถหมุนตัดตัวอย่างดินได้เพราะดินมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นตามความลึก ตัวอย่างดินที่เก็บได้จากวิธีการเจาะสำรวจด้วยสว่านมือสามารถนำมาจำแนกประเภทของดินและเก็บไว้ทดสอบคุณสมบัติต่อไป



รูปที่ 2.9 แสดงการการเจาะสำรวจช่วงตื้นด้วยสว่านมือ

2.2.2.3. การเจาะสำรวจแบบฉีดล้าง (Wash Boring) ตามมาตรฐาน ASTM D 1586 (Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils)

สำหรับการเจาะสำรวจแบบฉีดล้าง (Wash Boring) ใช้เครื่องเจาะแบบเครื่องกว้าน (Motorized Cathead) ขนาด 11 แรงม้าควบคู่กับชุด 3 ขา (Portable Tripod) หรือเครื่องเจาะแบบโรตารีในชั้นดินเหนียวอ่อนหลุมเจาะจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4" และลดเหลือ 3" ในชั้นดินแข็ง มีการฝังท่อค้ำกัน (Casing) กันดินพังในชั้นดินอ่อนและใช้ Bentonite slurry ช่วยกันดินพังในชั้นทราย การบันทึกระดับน้ำใต้ดินธรรมชาติ ในระหว่างการเจาะสำรวจทุกวัน จะมีการตรวจวัดบันทึกระดับน้ำในหลุมเจาะก่อนเริ่มงานเจาะทุกเช้า และภายหลังการเจาะสำรวจแล้วเสร็จเมื่อได้ทำการถอนท่อเหล็ก (casing) กันดินพังแล้ว 1 วัน จะมีการบันทึกเป็นครั้งสุดท้าย การตรวจวัดระดับน้ำจะวัดจากระดับปากหลุมเจาะลงไปถึงระดับน้ำที่พบในหลุมและลงวันที่และเวลาทุกครั้ง การเจาะสำรวจแบบฉีดล้างโดยเครื่องโรตารี ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการเจาะสำรวจแบบฉีดล้างด้วยเครื่องโรตารี

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. กระบอกบาง (Shelby Tube Sampler) ตามมาตรฐาน ASTM D 1587 (Standard Practice for Thin-Walled Tube Geotechnical Sampling of Soils) เพื่อนำตัวอย่างไปทดสอบ จะทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกบางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3" ยาว 75 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ทำการเก็บตัวอย่างทุกระยะ 1.50 ม. ทุกหลุมในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็ง ตัวอย่างดินที่ถูกเก็บขึ้นมาจากหลุมเจาะจะถูกบันทึกชนิดดินและสีด้วยสายตา (Visual Classification) ก่อนจะปิดปลายกระบอกทั้งสองข้างด้วยซีเมนต์ร้อนเพื่อป้องกันความชื้นสูญหาย หมายเลขตัวอย่าง ความลึก วันที่เก็บตัวอย่าง ชื่อหลุมเจาะ ชื่อโครงการและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะถูกบันทึกลงบนกระดาษติดกระบอกบางทุกกระบอกก่อนส่งเข้าห้องทดลองต่อไป



รูปที่ 2.11 แสดงกระบอเก็บตัวอย่างแบบกระบอบาง

2. กระบอผ่า (Split Spoon Sampler) ตามมาตรฐาน ASTM D 1586 (Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils) ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างดินเปลี่ยนแปลงสภาพ (Disturbed Sample) การเก็บตัวอย่างดินเปลี่ยนแปลงสภาพจะกระทำพร้อมกับการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTM D-1586 โดยจะทำการทดสอบทุกระยะ 1.50 เมตร การทดสอบจะกระทำโดยใช้ลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 140 ปอนด์ ยกสูง 30" ปล่องกระแทกกระบอผ่า (Split Spoon Sample) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2" ดังแสดงในรูปที่ 2.12 บันทึกจำนวนครั้งของการ กระแทกลูกตุ้มที่กระบอผ่าจมลงไปทุก 6" รวม 3 ครั้ง ผลรวมจำนวนครั้งของการกระแทกสองครั้งสุดท้ายจะเป็นค่า SPT "N" ที่มีหน่วยเป็นครั้งต่อฟุต ตัวอย่างจะถูกบันทึกชนิดดิน สี และเก็บใส่ภาชนะป้องกัน

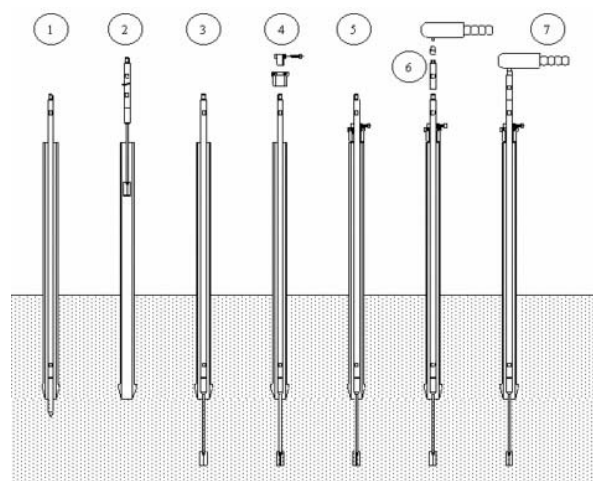
ความชื้นสูงเกินไป ทำการบันทึกชื่อโครงการ ชื่อหลุม ความลึก หมายเลขตัวอย่าง และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องลงในสลากปิดปากถุงให้แน่น เพื่อนำไปเข้าห้องทดลองต่อไป



รูปที่ 2.12 แสดงกระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกผ่า

2.2.3. การทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Test)

นอกเหนือจากการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว การสำรวจและทดสอบในสนามก็มีความสำคัญเช่นเดียวกันโดยเฉพาะกรณีที่จะมีการวิเคราะห์และออกแบบแก้ไขความเสียหาย เนื่องจากการทดสอบในสนามจะให้ผลการทดสอบที่มีการรบกวนสภาพในธรรมชาติน้อยที่สุด ส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะทดสอบกับตัวอย่างที่ได้จากการเจาะสำรวจซึ่งอาจมีการรบกวนตัวอย่างในกระบวนการทำให้ผลที่ได้เกิดความผิดพลาด โดยปกติแล้วการทดสอบในสนามจะเป็นการหาค่าความแข็งแรงของชั้นดิน ซึ่งมีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2573 (Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soils) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการทดสอบแรงเฉือนในสนาม

งานทดสอบแรงเฉือนในสนามจะดำเนินการทดสอบทุกความลึก 1.00 เมตร จนถึงดินเหนียวอ่อนปานกลางถึงแข็ง (Medium to stiff Clay) ตามมาตรฐาน ASTM D-2573 อุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่เป็นอิสระจากเครื่องเจาะดิน (self borer) ในการทดสอบจะใช้ใบพัด (Vane blade) ขนาด 2.5x5 นิ้ว เมื่อใบพัดถูกส่งลงไปถึงระดับความลึกทดสอบ ใบพัดจะถูกดันออกจากปลอกคุ้มกันและทำการหมุนใบพัดจนกว่าดินจะขาดในลักษณะทดสอบกับดินคงสภาพ (Undisturbed) หลังจากนั้นจะทำการหมุนใบพัดจนดินให้ดินมีลักษณะไม่คงสภาพ (Remold) แล้วทำการทดสอบเหมือนตอนแรกแต่ในลักษณะดินไม่คงสภาพอีกครั้ง แรงหมุนสามารถอ่านได้จากมาตรวัดที่ติดอยู่กับชุดทดสอบ ค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดจะถูกนำไปคำนวณหาค่าแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ในแต่ละความลึกของการทดสอบ โดยใช้ค่า Correction Factor ของดินแต่ละความลึกที่ปรับแก้ โดยอาศัยค่า PI ค่าแรงเฉือนของดินที่ปรับแก้แล้วในแต่ละความลึกจะถูกนำมาพล็อตเป็นกราฟทั้งค่าจากแรงเฉือนดินคงสภาพและไม่คงสภาพต่อความลึก

2.2.4. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการสำรวจคันทาง

การสำรวจคันทางเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น เป็นภารกิจสำคัญที่ทำให้การแก้ไขซ่อมแซมเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการสำรวจเป็นการประเมินสภาพจากสถานที่จริง ทำให้สามารถทราบถึงลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ตรงตามความ ผลการสำรวจที่ได้จะเป็นประโยชน์มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นหลัก ดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการสำรวจคันทางจึงเป็นสิ่งที่ช่วยให้การตรวจสอบและเก็บข้อมูลในสนามมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น เครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่หน่วยงานควรมีไว้ใช้ตามปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการสำรวจคันทางเบื้องต้น



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการสำรวจคันทางเบื้องต้น (ต่อ)

2.3. งานอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยการจราจร

งานอำนวยความสะดวกเป็นการจัดการถนนหรือสายทางที่เกิดความเสียหายขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งหรือบรรเทาปัญหาให้อยู่ในวงจำกัด ไม่ให้ขอบเขตของความเสียหายขยายออกไป เพื่อรอการตรวจสอบโดยละเอียดและการแก้ไขซ่อมแซมต่อไป รวมถึงทำให้ถนนหรือสายทางในบริเวณที่มีความเสียหายเกิดขึ้นสามารถเปิดใช้งานได้ตามปกติในส่วนที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความเสียหาย เช่น การซ่อมผิวจราจรที่สำรวจพบรอยแตกไม่ให้น้ำลงไปท่วมขังซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาต่อคันทางด้านล่าง การถมเชิงคันทางด้านล่างในกรณีที่อาจโดนน้ำกัดเซาะหายไป เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 งานอำนวยความสะดวก

ส่วนงานความปลอดภัยจราจรเป็นการจัดการพื้นที่บริเวณที่เกิดความเสียหายเพื่อให้การสัญจรของผู้ใช้ถนนเป็นไปอย่างปลอดภัย เช่น งานติดตั้งป้ายหรือสัญญาณเตือนที่แสดงให้ผู้ใช้งานเกิดความระมัดระวัง โดยใช้ป้ายเตือน สัญญาณไฟ หรือกรวยพลาสติก ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 งานความปลอดภัยการจราจร

2.4 ระดับความรุนแรงของความเสียหาย

การสำรวจความเสียหายของถนน จะทำให้ทราบถึงลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาประเมินระดับความรุนแรงของความเสียหาย และแนวโน้มในการขยายตัวของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งจะบอกถึงความจำเป็นในการซ่อมแซมโดยตรง ในคู่มือนี้ได้ทำการแบ่งระดับความรุนแรงของความเสียหายไว้ 3 ระดับ ได้แก่

ระดับ A

ในระดับนี้สภาพถนนและผิวการจราจรอยู่ในสภาพดี ไม่มีความเสียหายหรือความเสียหายมีขนาดเล็ก ไม่สามารถสังเกตเห็นได้เด่นชัด เช่น รอยร้าวที่ผิวทางขนาดเล็ก โดยสายทางยังสามารถใช้งานได้ปกติ ไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้สัญจรไปมา ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ถนนในระดับนี้ยังไม่จำเป็นต้องซ่อมแซม เนื่องจากเกิดความเสียหายน้อย หรือไม่เกิดความเสียหายเลย สามารถใช้งานได้ปกติโดยยังไม่ต้องซ่อมแซม แต่ต้องคอยเฝ้าระวังไม่ให้ความเสียหายเล็กน้อยขยายออกไป

ระดับ B

สามารถสังเกตเห็นรอยแตกร้าวเกิดขึ้นได้ชัดเจนที่ผิวการจราจร มีการแยกตัวของรอยแตกดังกล่าวเฉพาะบริเวณผิวทาง ยังไม่ลึกลงไปถึงโครงสร้างของคันทาง ดังแสดงในรูปที่

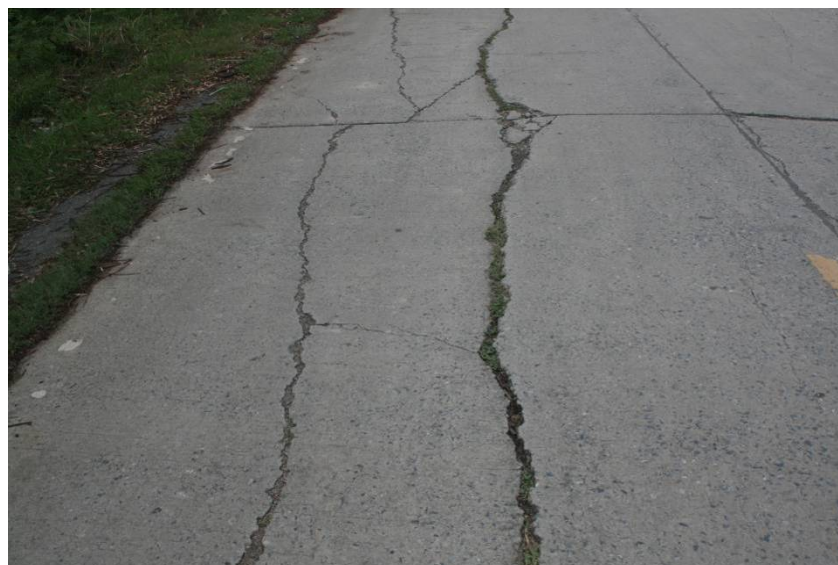
2.18 เป็นระดับความเสียหายที่ต้องเข้าไปทำการซ่อมแซมหรือตรวจสอบเพิ่มเติมด้วยวิธีการที่ละเอียดกว่าการตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เพื่อนำไปสู่การแก้ไขซ่อมแซมแบบปกติ

ระดับ C

สามารถสังเกตเห็นการทรุดตัวต่างระดับของรอยแตกที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน มีแนวโน้มในการเกิดการขยายตัวของความเสียหาย และในบางกรณีอาจเกิดการพังทลายของคันทางขึ้นแล้วจนเสียพื้นที่การจราจรไป ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ความเสียหายระดับนี้เป็นระดับชั้นความเสียหายที่ต้องมีการซ่อมแซมโดยเร่งด่วน ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างคันทาง หรืออาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ถนนได้



รูปที่ 2.17 สภาพสายทางระดับ A



รูปที่ 2.18 สภาพสายทางระดับ B



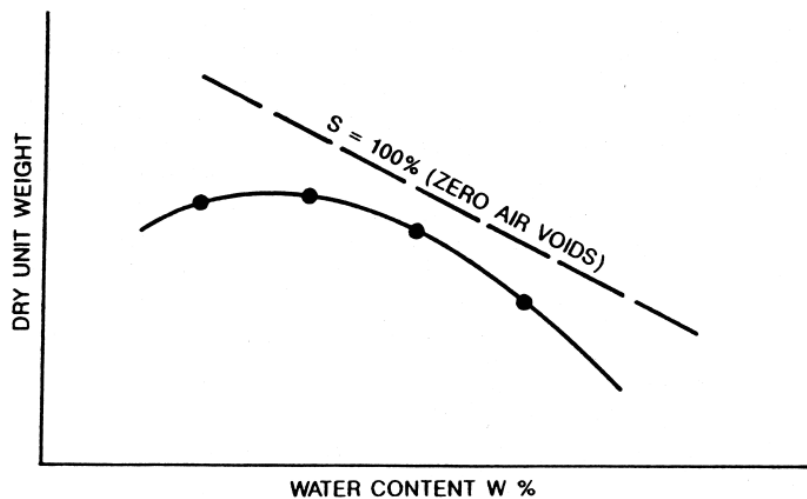
รูปที่ 2.19 สภาพสายทางระดับ C

คันทางบดอัด (Embankments) เป็นการนำวัสดุจำพวกดิน ลูกกรัง หินมาบดอัดเป็นชั้นๆ ส่วนใหญ่เพื่อวัตถุประสงค์คือ ใช้เป็นถนน ทางรถไฟ ฝายและเขื่อนกันน้ำ เสถียรภาพของคันทางบดอัดแตกต่างจากเสถียรภาพของเชิงลาดในธรรมชาติและเสถียรภาพของงานขุดดิน เพราะสามารถควบคุมคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาก่อสร้างรวมถึงวิธีการก่อสร้าง รูปร่างหน้าตัดที่ต้องการ และความหนาแน่นของคันทางได้ เนื่องจากคันทางบดอัดเป็นการบดอัดดินขึ้นมาทีละชั้นๆ ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง

3.1 ความเป็นมาของคันทางบดอัด

คันทางบดอัด (Embankments) เป็นการนำวัสดุจำพวกดิน ลูกกรัง หินมาถมบดอัดเป็นชั้นๆ เพื่อใช้เป็นถนน ทางรถไฟ ฝายและเขื่อนกันน้ำ การก่อสร้างดินถมบดอัดมีการก่อสร้างมานานนับตั้งแต่ในอดีต มีทั้งที่ก่อสร้างสำเร็จจนสามารถใช้งานได้และเกิดการพังทลายในขณะก่อสร้างหรือใช้งานแล้วจึงเกิดการพังทลาย ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในสมัยก่อนเพื่อการเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการชลประทาน เขื่อนดินถมที่เก่าแก่ที่สุดที่มีการพบและบันทึกไว้คือ เขื่อนดินถมที่เมือง Ceylon ซึ่งสร้างตั้งแต่ 504 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งเป็นเขื่อนดินถมยาว 11 ไมล์ สูง 70 ฟุต สามารถเก็บน้ำได้ 17 ล้านลบ.หลา (Schuyler, 1905)

ทฤษฎีเกี่ยวกับการบดอัดดิน เริ่มมีการคิดค้นขึ้นในทศวรรษ 1930 โดยเริ่มมีการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน หน่วยน้ำหนัก คุณสมบัติของดินและพลังงานที่ใช้ในการบดอัด หลังจากนั้นในช่วงทศวรรษ 1930-1940 ทฤษฎีในการบดอัดเริ่มมีการถกเถียงและศึกษากว้างขวางขึ้น กราฟที่เป็นที่รู้จักกันดี เช่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความชื้นในดิน ที่เรียกว่า “Proctor curve” ก็เป็นผลมาจากการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งเป็นผลงานที่เสนอโดย Proctor ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หลังจากนั้นได้มีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับทฤษฎีการบดอัดดิน ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาต่างๆมาจนกลายมาเป็น มาตรฐานในการบดอัดดินในปัจจุบัน



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความชื้นในดิน (Proctor curve)

3.2 การตรวจสอบเสถียรภาพของคันทางบดอัด

คันทางบดอัดบางครั้งมีความจำเป็นต้องก่อสร้างบนฐานราก หรือดินเดิมที่เป็นดินอ่อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเมื่อน้ำหนักมากกดทับบนดินอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ดีก็อาจเกิดการพังทลายของเชิงลาดเกิดขึ้น รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น หน่วยแรงเฉือน (Shear stress), แรงดันน้ำในมวลดิน ความต้านทานแรงเฉือน และอัตราส่วนความปลอดภัยกับช่วงระยะเวลาต่างๆของคันทางบดอัดบนชั้นดินอ่อน ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างจนถึงช่วงหลังเปิดการใช้งานเป็นเวลานาน ดังนั้นการเฝ้าติดตามการพังทลายของคันทางบดอัดโดยการวิเคราะห์เสถียรภาพ ควรดำเนินการพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ

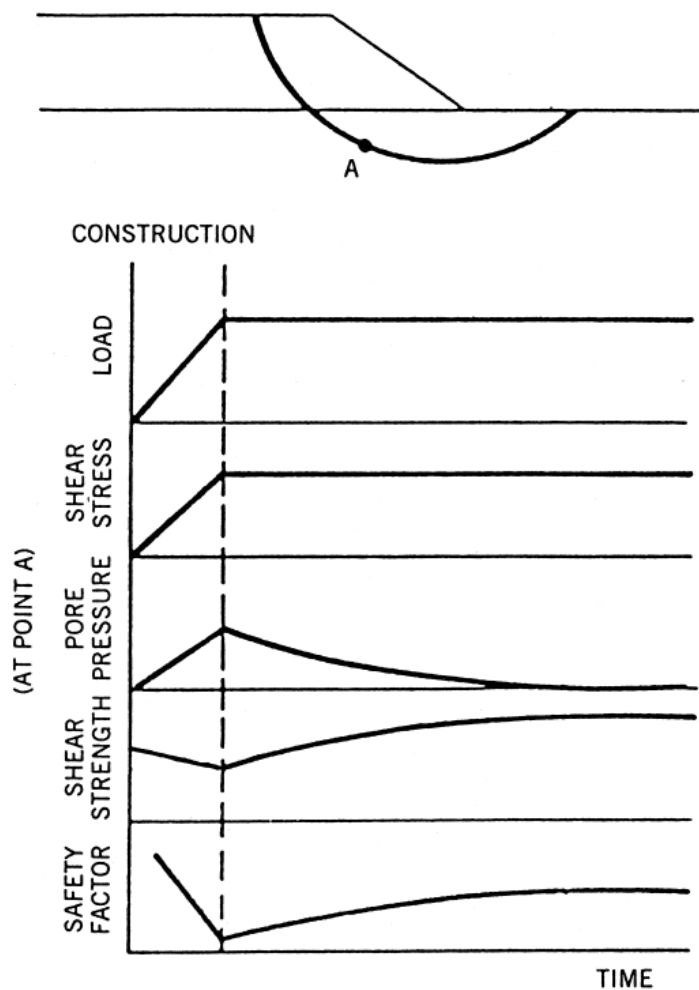
1. กรณีปกติ
2. กรณีไม่ปกติ

3.2.1 กรณีปกติ เพื่อพิจารณาการพังทลายของคันทางควรมีการวิเคราะห์เสถียรภาพในช่วงเวลาต่างๆ ของอายุคันทาง โดยเฉพาะคันทางบดอัดบนดินอ่อนและมีการก่อสร้างอยู่ข้างคันคลอง ดังนี้

- 1 ในระหว่างการก่อสร้าง
- 2 เมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ
- 3 ระหว่างการใช้งาน

1 ในระหว่างการก่อสร้าง โดยทำการวิเคราะห์ทุกๆขั้นตอนของการบดอัด (All phases of construction) เพื่อตรวจสอบว่าการเพิ่มความสูงของคันทางมีผลต่อเสถียรภาพหรือไม่ เพราะ

การเพิ่มความสูงของชั้นดินเป็นการเพิ่มน้ำหนักกดทับ จากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มมีการก่อสร้างคันทางน้ำหนักกดทับบนดินอ่อนก็จะเพิ่มมากขึ้นจากน้ำหนักดินถม ขณะเดียวกันหน่วยแรงเฉือนก็มักจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และแรงดันน้ำในมวลดินก็จะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากค่ายอมให้ซึมผ่านของน้ำในมวลดินมีค่าน้อย ทำให้แรงดันน้ำในมวลดินระบายออกได้ช้า เช่นเดียวกับค่าความต้านทานแรงเฉือนก็จะมีค่าน้อยลง เนื่องจากแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย และจะส่งผลทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยก็จะมีค่าน้อยลง



รูปที่ 3.2 แสดงเสถียรภาพของคันทางบดอัดในช่วงเวลาต่างๆ (Bishop and Bjerrum, 1960)

2 เมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ (The end of construction) ทำการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของคันทางหลังจากที่ทำการก่อสร้างครบทุกขั้นตอน

จนถึงช่วงที่ทำการก่อสร้างเสร็จ ก็จะเป็นช่วงที่มีน้ำหนักกดทับกระทำต่อชั้นดินอ่อนมากที่สุดเนื่องจากได้ทำการก่อสร้างจนถึงความสูงที่มากที่สุดของคันทางแล้ว เช่นเดียวกับค่าหน่วยแรงเฉือนและแรงดันน้ำภายในมวลดินที่เกิดขึ้น ก็จะมีค่ามากที่สุดในช่วงที่ทำการก่อสร้าง

เสร็จใหม่ๆ เช่นเดียวกัน ในทางกลับกันความต้านทานแรงเฉือนและอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าต่ำที่สุด ในช่วงที่ทำการก่อสร้างคันทางบดอัดเสร็จใหม่ๆ

3 ระหว่างการใช้งาน (The long-term condition) เมื่อเปิดใช้งานไปแล้วระยะหนึ่ง ควรต้องตรวจสอบเสถียรภาพของคันทางในสถานะที่มีน้ำหนักภายนอกมาเกี่ยวข้อง หลังจากก่อสร้างเสร็จ น้ำหนักกดทับเนื่องจากน้ำหนักของคันทางบนดินฐานรากก็จะมีค่าคงที่เช่นเดียวกับหน่วยแรงเฉือน ที่เนื่องมาจากน้ำหนักกดทับก็จะมีค่าคงที่ตลอดเช่นเดียวกัน ส่วนแรงดันน้ำในมวลดินก็จะมีค่าค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อไม่มีน้ำหนักกดทับเพิ่ม แรงดันน้ำในมวลดินก็จะค่อยๆ มีค่าลดลงจนหมดไปในที่สุด เหมือนช่วงที่ยังไม่มีการก่อสร้างที่ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดินมีค่าเป็นศูนย์

ส่วนค่าความต้านทานแรงเฉือนในช่วงหลังการก่อสร้างจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากน้ำในมวลดินถูกแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในช่วงขณะทำการก่อสร้างขับออกไป ดังนั้นอนุภาคของมวลดินจึงเข้ามาแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นทำให้ความหนาแน่นของดินเพิ่มมากขึ้นเป็นผลทำให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป จนแรงดันน้ำส่วนที่เกินถูกระบายออกไปหมด ความต้านทานแรงเฉือนของดินฐานรากก็จะมีค่าคงที่

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย หลังจากก่อสร้างเสร็จก็จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลสืบเนื่องมาจาก ค่าหน่วยแรงเฉือนที่มีค่าคงที่ และค่าแรงความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ค่าอัตราส่วนปลอดภัยก็จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนคงที่เมื่อแรงดันน้ำ ส่วนเกินระบายออกไปจนหมด

3.2.2 กรณีไม่ปกติ ควรมีการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง เมื่อมีสถานการณ์ที่ไม่ปกติเกิดขึ้น เช่น

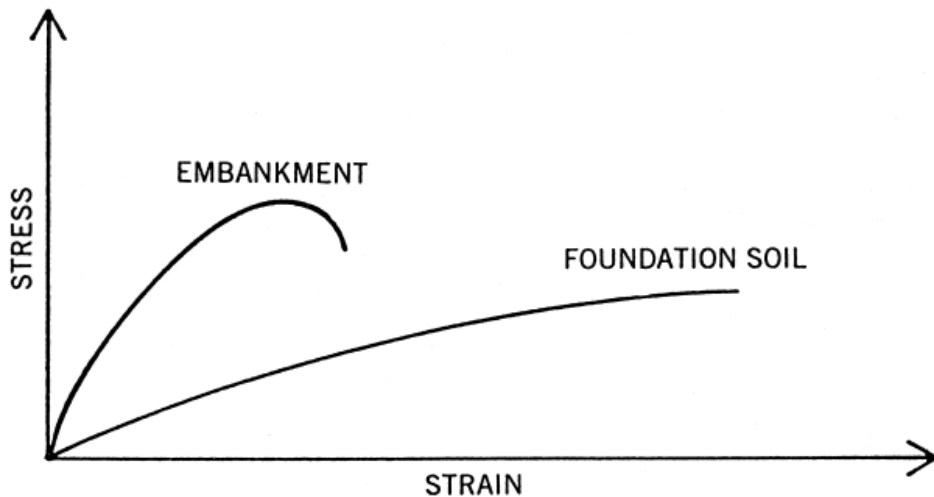
- 1 ผลกระทบจากธรรมชาติ
- 2 การลดลงอย่างรวดเร็วของระดับน้ำ

1 ผลกระทบจากธรรมชาติ เมื่อเกิดเหตุการณ์ทางธรรมชาติเกิดขึ้น เช่น น้ำท่วม แผ่นดินไหว ควรต้องตรวจสอบเสถียรภาพของคันทางในกรณีที่มีปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้มาเกี่ยวข้อง

2 เมื่อระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) เพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของคันทางในกรณีที่น้ำในลำน้ำด้านข้างลดระดับอย่างรวดเร็ว และระดับน้ำใต้ดินในคันทางยังคงมีระดับสูงอยู่ กรณีนี้บางครั้งอาจส่งผลกระทบรุนแรงต่อเสถียรภาพของถนนที่ก่อสร้างเลียบคันคลองหรือเลียบแม่น้ำ

ข้อสังเกต โดยปกติแล้วส่วนที่ก่อสร้างเป็นคันทางบดอัดจะมีความแข็งแรงและค่าโมดูลัสที่สูงกว่าดินฐานรากด้านล่าง เมื่อดินฐานรากเกิดการทรุดตัวลงเนื่องจากความแตกต่างกันของ

ความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain incompatibility) ระหว่างคันทางบดอัดกับดินฐานราก จะทำให้เกิดการแตกร้าวเกิดขึ้นในคันทางที่ทรุดตัวดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (Chirapuntu and Duncan, 1977)



รูปที่ 3.3 แสดงความเค้นกับความเครียดที่แตกต่างกันของคันทางกับฐานราก

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ต้องมีการแก้ไขเสถียรภาพของคันทางบดอัดที่เกิดจากความแตกร้าวที่มีสาเหตุจากความแตกต่างกันของ ความเค้นกับความเครียด ของโครงสร้างคันทางดังกล่าวไป โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้เส้นใยสังเคราะห์เสริมแรงเพื่อป้องกันรอยแตกที่เกิดขึ้น ซึ่งรอยแตกดังกล่าวอาจนำไปสู่การพังทลายของคันทางบดอัดขึ้นในภายหลัง หรืออาจแก้ไขโดยใช้การปรับปรุงคุณภาพของดินฐานรากเพื่อให้มีโมดูลัสที่ใกล้เคียงดินคันทางมากที่สุด

3.3 การพังทลายของคันทางบดอัด

จากการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎี งานวิจัย และการสำรวจสภาพสายทางในสนาม สามารถสรุปลักษณะของความเสียหายของคันทางบดอัดของถนนเลียบคันคลองได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวของคันทาง
2. ความเสียหายในลักษณะการเคลื่อนพังของคันทาง
3. ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวและการเคลื่อนพังของคันทาง

3.3.1 ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวของคันทาง

ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวของคันทาง การทรุดตัวที่เกิดขึ้นสามารถสังเกตเห็นในบนผิวจราจร ทำให้ผิวจราจรไม่เรียบมีสภาพเป็นหลุม เกิดแรงกระแทกกระทำต่อคันทาง

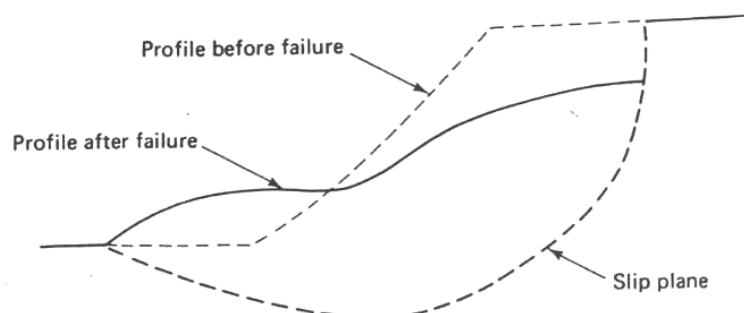
เนื่องจากน้ำหนักยานพาหนะที่ผ่านไปมา และเมื่อมีฝนตกจะทำให้เกิดน้ำขังและซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่างในบริเวณนั้น ทำให้ความแข็งแรงของดินบริเวณนั้นลดน้อยลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายลุกลามขยายตัวตามมา และทำให้การใช้งานสัญจรไปมาไม่ปกติ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงความเสียหายในลักษณะการยุบตัวของคันทาง

3.3.2. ความเสียหายในลักษณะการเคลื่อนพังของคันทาง

ความเสียหายในลักษณะนี้จะมีลักษณะก่อนและหลังการเกิดการพังทลายดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 คือมวลดินของถนนที่พังจะเคลื่อนตัวสู่ด้านล่างของลาดชัน และมีการปูดตัวขึ้นมาบริเวณฐานของลาดชัน ในระยะแรกของการเกิดความเสียหายในลักษณะนี้จะสามารถสังเกตเห็นรอยแตกเกิดขึ้นที่ผิวทางด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยรอยแตกจะขยายตัวกว้างขึ้นและยาวขึ้น ความเสียหายลักษณะการเคลื่อนพังของคันทางที่สำรวจพบ



รูปที่ 3.5 แสดงรูปหน้าตัดก่อนและหลังการพังทลาย

ความเสียหายโดยการเคลื่อนพังนี้ มักจะเป็นสาเหตุหลักของความเสียหายที่เกิดภัยแล้ง
คันทางด้านที่ติดกับคันคลองหรือแม่น้ำ โดยเฉพาะคันทางบดอัดบนชั้นดินอ่อน ดังแสดงในรูปที่
3.7 รายละเอียดของการเคลื่อนพังนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.6 รอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวทาง



รูปที่ 3.7 ความเสียหายลักษณะการเคลื่อนพังของคันทาง

3.3.3. ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวและการเคลื่อนพังของคันทาง

เป็นความเสียหายที่เกิดรวมทั้งทรุดตัวและการเคลื่อนพังของคันทาง โดยจะพบคันทางเกิดการทรุดตัวขึ้นก่อนและไม่มีการซ่อมแซมแก้ไข ดังนั้นจะเกิดการเคลื่อนพังของคันทางในที่สุด

3.4 ลักษณะของการเคลื่อนพัง

รูปแบบหรือลักษณะของการเคลื่อนพังที่ยอมรับกันกำหนดโดย Varnes (1996) ซึ่งได้กล่าวถึง ลักษณะชนิดและกระบวนการของการเกิดการเคลื่อนตัวพังทลายของดินถมหรือดินบดอัดไว้อย่างละเอียด ชนิดของการเคลื่อนตัวพังทลายสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของการเคลื่อนที่และชนิดของวัสดุ โดยการพังทลายของดินถมบนดินอ่อนจัดเป็นการเคลื่อนตัวพังทลายแบบเลื่อนหมุน (Rotational slide) ความเสียหายในลักษณะนี้อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะถ้ามีปริมาณน้ำในดินและแรงดันน้ำในมวลดินที่เพิ่มขึ้น ลักษณะการพังทลายที่เกี่ยวข้องกับถนนหรือคันทางบดอัดบนชั้นดินเหนียว ซึ่งมีลักษณะต่างๆ 8 ลักษณะ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 A ถึง H ดังรายละเอียด

1 การเคลื่อนพังของเชิงลาดที่มีวัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน รูปที่ 3.8A แสดงการพังทลายของคันทางที่เกิดขึ้นในตัวคันทางเอง ซึ่งถือเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียวกันตลอด (Homogeneous Material) หากมีความชันด้านข้างมากเกินไปและดินฐานรากมีความแข็งแรงเพียงพอ ลักษณะความเสียหายมักจะเกิดเฉพาะในตัวคันทางเอง โดยเฉพาะเกิดบริเวณเชิงลาด แนวการพังทลายจะอยู่ด้านล่างของเชิงลาดคันทาง (Toe)

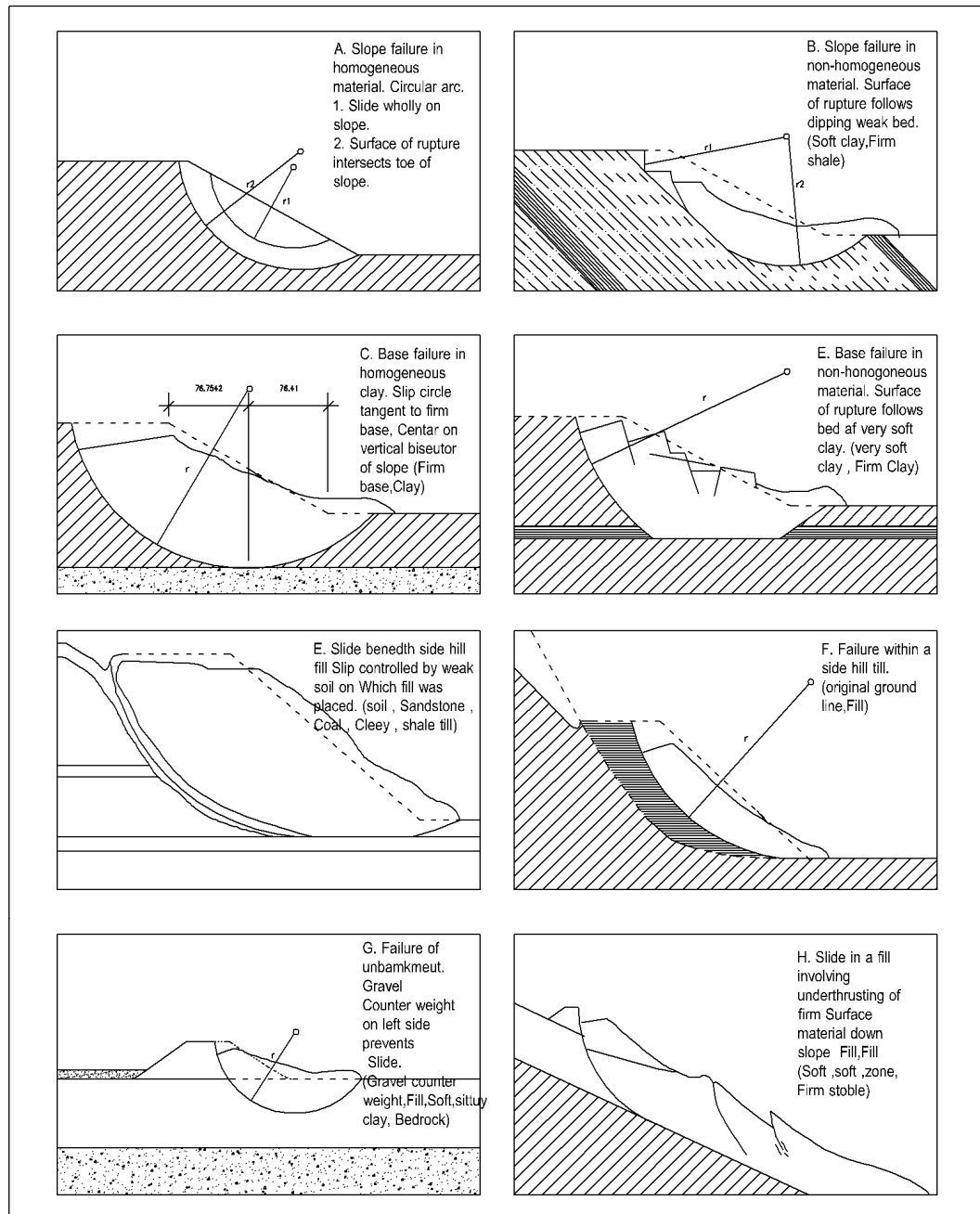
2 การเคลื่อนพังของเชิงลาดที่มีวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน รูปที่ 3.8B แสดงการพังทลายที่เกิดขึ้นในตัวคันทางเอง จากกรณีวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างคันทางไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-homogeneous Material) การเคลื่อนพังมักเกิดกับดินถมชั้นที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด

3 การเคลื่อนพังผ่านฐานรากคันทางในกรณีวัสดุก่อสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน รูปที่ 3.8C แสดงการพังทลายของคันทางในดินฐานราก เนื่องจากดินฐานรากมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอต่อน้ำหนักของถนนและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชั้นดินอ่อนกับดินแข็งด้านล่าง

4 การเคลื่อนพังผ่านฐานรากคันทางในกรณีวัสดุก่อสร้างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน รูปที่ 3.8D แสดงการพังทลายของคันทางในดินฐานราก เนื่องจากดินฐานรากมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอต่อน้ำหนักของถนนและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชั้นดินอ่อนกับดินแข็งด้านล่าง

5 การเคลื่อนพังของส่วนที่ถมคันทางเพิ่มเติม รูปที่ 3.8E แสดงการพังทลายของคันทางบริเวณด้านข้างของเชิงเขาซึ่งได้ทำการถมดินก่อสร้างเป็นคันทางถนนไว้ เมื่อเกิดการ

พังทลายเกิดขึ้นแนวของการพังทลายจะเกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อของการก่อสร้างกับแนวเชิงเขาเดิมซึ่งเป็นดินชั้นที่มีคุณสมบัติไม่ดีเป็นชั้นดินอ่อนที่แทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นอื่นๆ



รูปที่ 3.8 แสดงรูปลักษณะต่างๆของการเคลื่อนพังแบบเลื่อนหมุน (Varnes, 1996)

6 การเคลื่อนพังผ่านตัวคันทางบดอัด รูปที่ 3.8F แสดงการพังทลายของคันทางบริเวณด้านข้างของเชิงเขา เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นในตัวของคันทางบดอัดเอง ไม่เกี่ยวข้องกับ

สภาพเดิมก่อนการก่อสร้าง เนื่องจากหน้าตัดของคันทางบดอัดมีความลาดชันด้านข้างที่มากเกินไปหรือคุณสมบัติของวัสดุบดอัดไม่ดีพอ

7 การเคลื่อนพังของคันทางบดอัดในด้านที่ไม่มีน้ำหนักรถบรรทุก รูปที่ 3.8G

แสดงการพังทลายของคันทางบดอัดในด้านที่ไม่มีน้ำหนักรถบรรทุก ส่วนด้านที่ไม่เกิดการพังทลายเนื่องจากมีน้ำหนักรถบรรทุกที่ฐานด้านล่างทำหน้าที่เป็นน้ำหนักช่วยค้ำยันไม่ให้เกิดการพังทลาย

8 การเคลื่อนพังของคันทางที่ก่อสร้างบนฐานรากที่ไม่มั่นคง รูปที่ 3.8H แสดง

การพังทลายของคันทางบดอัดที่ก่อสร้างบนดินฐานรากที่เกิดจากการยุบตัวของภูเขา เมื่อเกิดการพังทลายเกิดขึ้นแนวของการพังทลายจะผ่านตัวคันทางบดอัดและดินฐานรากที่ไม่มั่นคงดังกล่าว

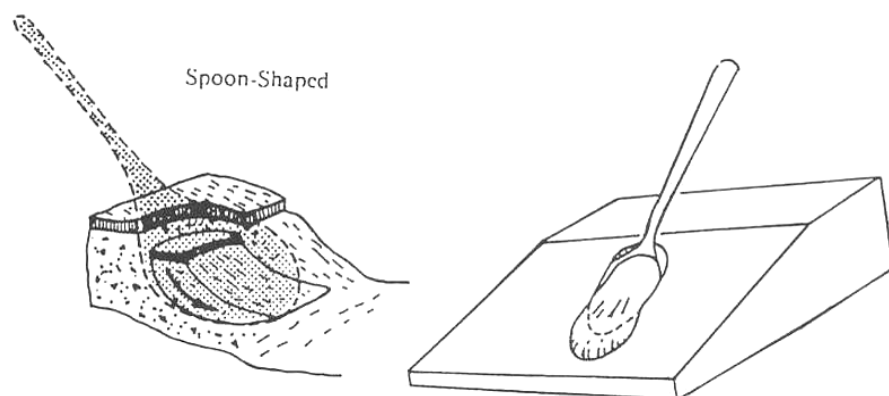
3.5 รูปร่างของการเคลื่อนพัง (Slide shape failure)

ตามหลักการแล้วการพังทลายที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากการพังจากแรงเฉือนตลอดแนวความยาวของพื้นที่ที่เกิดการเลื่อนตัว (Surface of Sliding) สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบของการเคลื่อนพัง ขึ้นอยู่กับขนาดของมวลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ได้แก่

- 1 รูปแบบที่มีขนาดเล็กไม่ใหญ่มากนัก
- 2 รูปแบบที่มีขนาดใหญ่มาก

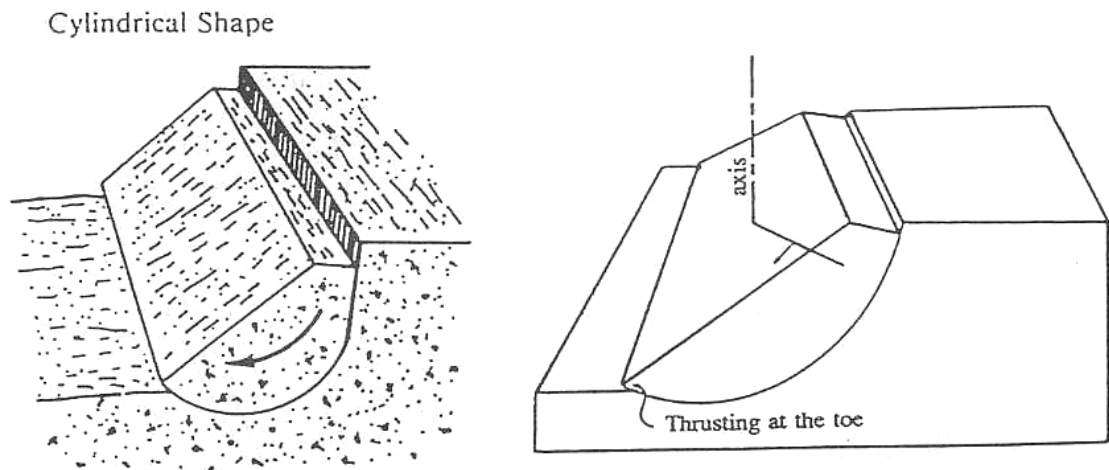
3.5.1 รูปแบบที่มีขนาดเล็กไม่ใหญ่มากนัก

โดยที่ชนิดแรกจะประกอบด้วยลักษณะที่เป็นรูปแบบ Slump หรือ Rotation ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเฉือน เป็นชนิดหนึ่งของการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดการพังทลายและเป็นปัญหาต่อทางด้านวิศวกรรมทางมากที่สุด การเคลื่อนที่พังทลายในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นตลอดแนวความยาวของ Slip Surface แนวรอยแยกและแนวรอยเว้าของดินจะเกิดขึ้นตลอดในทิศทางการเคลื่อนที่ ผิวของการพังหรือเสียรูปส่วนใหญ่แล้วจะมีรูปร่างในลักษณะ Spoon Shape ดังแสดงในรูปที่ 3.9



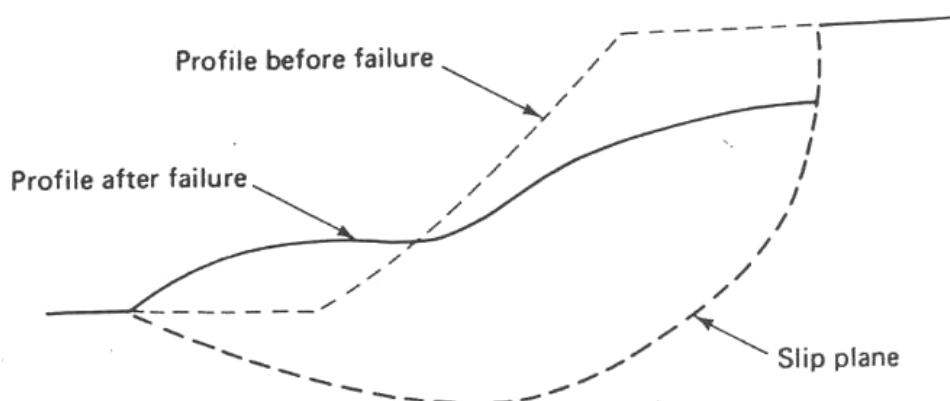
รูปที่ 3.9 แสดงรูปร่างของ Rotational Slides ในลักษณะ Spoon Shaped (Varnes, 1996)

3.5.2 รูปแบบที่มีขนาดใหญ่ รูปแบบนี้การพังทลายจะขยายตัวกว้างไปตลอด ในแนวความยาวของถนนดินถม โดยรอยแตกที่เกิดขึ้นขนานกับแนวถนนหรือตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่ ผิวของการพังทลายก็จะมีลักษณะใกล้เคียงรูปร่างของทรงกระบอก โดยจะปรากฏรอยแตกตามแนวยาวของถนนเกิดขึ้นที่ผิวถนนด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงรูปร่างของ Rotational Slides ในลักษณะ Cylindrical Shaped (Varnes, 1996)

หลังเกิดการพังทลายเกิดขึ้น รูปหน้าตัดของบริเวณที่เกิดการพังทลายจะแสดงดังในรูปที่ 3.11 มวลดินของถนนที่พังจะเคลื่อนตัวสู่ด้านล่างของลาดชัน ผิวของการพังทลายโดยปกติจะพิจารณาเป็นส่วนโค้งของวงกลมในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

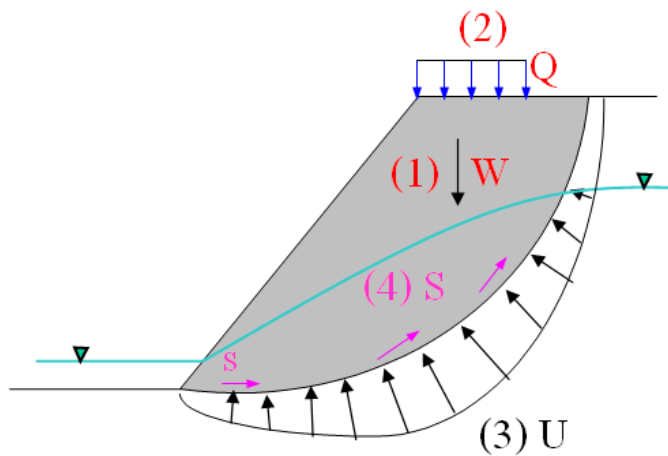


รูปที่ 3.11 แสดงรูปหน้าตัดก่อนและหลังการพังทลาย

3.6 เสถียรภาพของคันทาง

เสถียรภาพของคันทางหากพิจารณาจากแรงที่เกี่ยวข้อง จะมีแรงที่กระทำทั้งหมด 4 แรง ด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.12 มีแรงที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 4 แรง ได้แก่

1. น้ำหนักดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force of soil mass) เป็นน้ำหนักของคันทางเอง ดังแสดงในแรงหมายเลข (1)
2. แรงกระทำภายนอก (External load) เช่น น้ำหนักบรรทุกที่กระทำคันทาง ดังแสดงในแรงหมายเลข (2)
3. แรงดันน้ำในมวลดิน (Pore water pressure in soil mass) ดังแสดงในแรงหมายเลข (3)
4. แรงต้านทานหรือกำลังรับน้ำหนักของดิน (Shear strength of soil mass) เป็นกำลังความแข็งแรงของดินที่พยายามต้านทานการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในแรงหมายเลข (4)



รูปที่ 3.12 แสดงแรงที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของคันทาง

ในสภาวะที่ไม่เกิดการพังทลายเกิดขึ้น แรงต้านทานหรือกำลังรับน้ำหนักของดินจะมีค่ามากกว่าแรงที่เหลือทั้งสามชนิดรวมกัน นั่นคือกำลังรับน้ำหนักของดินสามารถต้านทานแรงที่เกิดจากน้ำหนักของดินเอง แรงกระทำภายนอกและแรงดันน้ำในมวลดิน ในขณะที่หากกำลังรับน้ำหนักของดินมีค่าน้อยกว่าแรงที่เหลือทั้งสามชนิดรวมกัน ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของคันทางและอาจเกิดการพังทลายของคันทางตามมา

3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของคันทาง

การพังทลายของเชิงลาดคันทางของถนนเลียบคันคลอง ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ

1 ปัจจัยที่ทำให้แรงกระทำในมวลดินหรือหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินมีค่าเพิ่มมากขึ้น (Increase shear stresses)

2 ปัจจัยที่ทำให้แรงต้านทานหรือค่ากำลังรับแรงเฉือนในมวลดินมีค่าลดน้อยลง (Decrease shear strengths)

3.7.1 ปัจจัยที่ทำให้แรงกระทำในมวลดินหรือหน่วยแรงเฉือนในมวลดินเพิ่มขึ้น

แรงที่กระทำในมวลดินหรือแรงเฉือนที่เกิดในมวลดิน มีปัจจัยที่ทำให้แรงดังกล่าวเพิ่มขึ้น 3 ปัจจัยคือ การบรรทุกน้ำหนักเกิน ผลกระทบจากแผ่นดินไหวหรือแรงสั่นสะเทือนจากยานพาหนะ และการเพิ่มแรงดันทางด้านข้าง ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

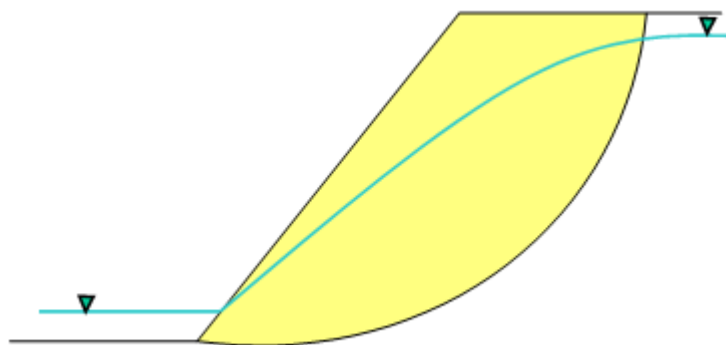
1 การบรรทุกน้ำหนักเกิน เกิดขึ้นจาก 2 กรณี ดังนี้

1.1 โดยกิจกรรมของมนุษย์ เช่นน้ำหนักของยานพาหนะที่เกินพิกัด หรือการกองวัสดุบนผิวทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการบรรทุกน้ำหนักที่มาก

1.2 โดยธรรมชาติ เช่นน้ำหนักของน้ำฝนที่ขังตัวบนผิวทาง หรือระดับน้ำใต้ดินในคันทางที่สูงขึ้น น้ำจะแทรกตัวอยู่ในช่องว่างในมวลดินซึ่งทำให้น้ำหนักของดินเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงระดับน้ำใต้ดินในคันทางที่สูงกว่าระดับน้ำในคลอง

2 ผลกระทบจากแผ่นดินไหวหรือแรงสั่นสะเทือนจากยานพาหนะ เป็นการเพิ่มน้ำหนักกระทำที่มีอยู่เดิมให้มากขึ้นจากผลของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งไม่ได้อยู่ในกรณีการศึกษาครั้งนี้

3 การเพิ่มแรงดันทางด้านข้าง (Lateral pressure) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จาก 3 กรณี ดังนี้

- 3.1 น้ำขังในรอยแตก เมื่อมีน้ำขังในรอยแตกที่เกิดขึ้นในคันทาง จะเกิดแรงดันทางด้านข้างเกิดขึ้นกระทำกับผนังของรอยแตก ทำให้เกิดแรงพยายามที่จะดันคันทางให้เคลื่อนตัวออกด้านข้าง
- 3.2 น้ำแข็งตัวเป็นน้ำแข็งในรอยแยก จะเกิดในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำจนน้ำในรอยแยกสามารถแข็งตัวเป็นน้ำแข็งได้ในตอนกลางคืน เมื่อน้ำแข็งตัวจะมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงดันด้านข้างกระทำกับผนังของรอยแยกดันคันทางให้เคลื่อนตัวออกด้านข้าง
- 3.3 การขยายตัวของดินเหนียว จะทำให้เกิดแรงดันด้านข้างที่เพิ่มขึ้นภายในคันทาง

3.7.2 ปัจจัยที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนหรือกำลังรับน้ำหนักน้อยลง กำลังรับแรงเฉือนหรือกำลังรับน้ำหนักที่น้อยลง สามารถพบได้จากสาเหตุ 5 ประการ ได้แก่

1 เนื่องจากส่วนประกอบของตัววัสดุเองตามธรรมชาติ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงภายในตัวโครงสร้างของวัสดุ แร่ธาตุและองค์ประกอบภายใน ผิวของเม็ดดิน และรวมถึงการจัดเรียงตัวของอนุภาค

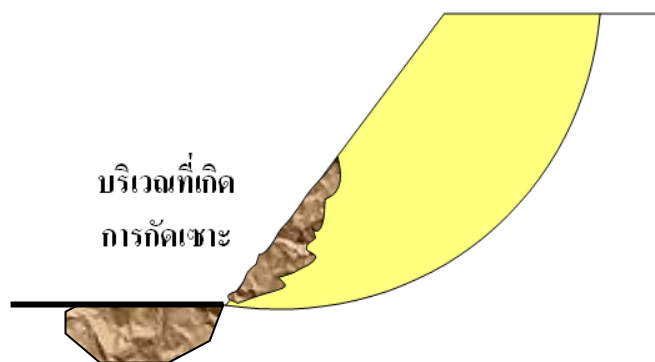
2 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่นมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้น กำลังรับน้ำหนักของชั้นดินจะลดน้อยลง

3 เนื่องจากอิทธิพลของแรงดันน้ำภายใน แรงดันน้ำภายในมวลดินจะเกิดขึ้นในช่องว่างภายในมวลดิน พยายามดันให้เม็ดดินแยกตัวออกจากกัน และเมื่อแรงดันน้ำเพิ่มมากขึ้น ย่อมทำให้แรงดันประสิทธิภาพของดินลดน้อยลง ทำให้ดินสามารถรับน้ำหนักได้น้อยลงตามมา

4 เนื่องจากการเสื่อมสภาพของวัสดุ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดินลดน้อยลง เป็นผลต่อเนื่องให้กำลังรับน้ำหนักของดินลดน้อยลง

5 ส่วนที่เป็นค้ำยันลดน้อยลงหรือหายไป สามารถเกิดได้จากสาเหตุทั้งหมด 4 สาเหตุ ดังนี้

5.1 โดยการกัดเซาะจากกระแสน้ำในลำน้ำ หรือจากอิทธิพลของกระแสคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3.15

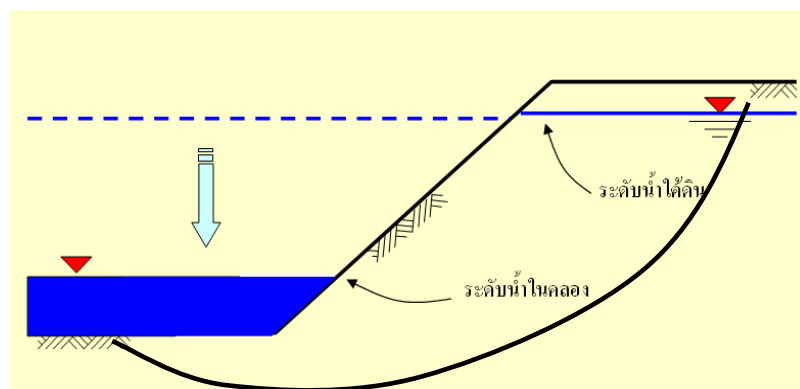


รูปที่ 3.15 การพังทลายที่เกิดเนื่องจากการกัดเซาะที่ฐานของเชิงลาด

5.2 เกิดดินถล่มโดยธรรมชาติ

5.3 โดยการกระทำของมนุษย์ เช่น การขุดลอกท้องคลองให้มีความลึกเพิ่มมากขึ้น การเคลื่อนย้ายกำแพงดิน หรือเข็มพืดกันดิน

5.4 การลดระดับของน้ำในคลองชลประทานอย่างรวดเร็ว ทำให้ระดับน้ำใต้ดินในคันทางสูงกว่าระดับน้ำในคลองเนื่องจากน้ำในมวลดินระบายออกไม่ทันระดับน้ำที่ลดลง (Rapid Drawdown) ดังแสดงในรูปที่ 3.16

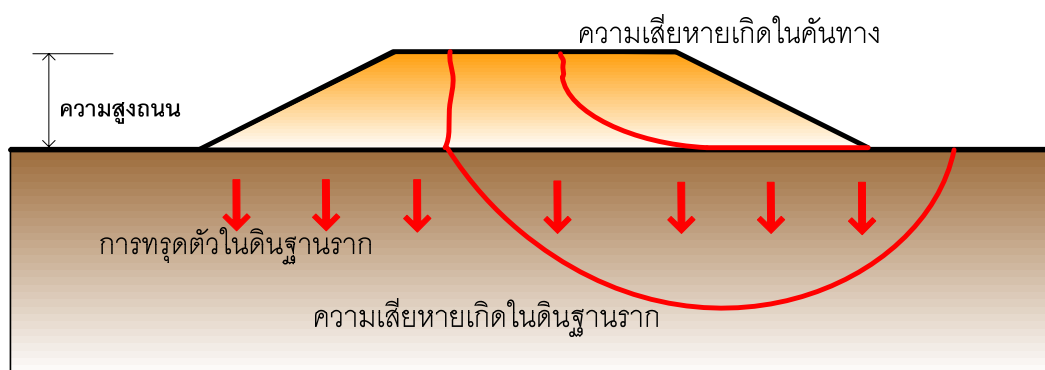


รูปที่ 3.16 แสดงการเกิดน้ำลดระดับอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการแก้ไขหรือปรับปรุงปัญหาเสถียรภาพของคันทางด้วยวิธีต่างๆ รวมถึงหลักการของแต่ละวิธีและวิธีการแก้ไขที่เหมาะสมกับลักษณะสภาพของสายทางและความเสียหายที่เกิด

4.1. การปรับปรุงเสถียรภาพของคันทาง

การปรับปรุงเสถียรภาพของคันทาง หมายถึง การทำให้ถนนที่ก่อสร้างขึ้นไม่เกิดการเคลื่อนตัว ไม่ว่าในรูปแบบใด รวมทั้งลดการกัดเซาะซึ่งถึงแม้ว่าจะไม่เกิดความเสียหายอย่างฉับพลัน แต่จะส่งผลกระทบยาวต่อคันทาง ส่วนที่เกิดความเสียหายสามารถเกิดได้ใน 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกิดจากดินฐานรากของคันทาง และส่วนที่เกิดในคันทางเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนที่เกิดความเสียหายในดินฐานรากและในคันทาง

การพิจารณาเลือกใช้วิธีการในการปรับปรุงต้องพิจารณาจากลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นเพื่อพิจารณาเลือกวิธีการปรับปรุงให้ตรงกับสาเหตุ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ถึงลักษณะของความเสียหายที่มี 3 ประเภท ซึ่งได้แก่

1. ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวของคันทาง การทรุดตัวของคันทางมีผลสืบเนื่องมาจากดินฐานรากที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนซึ่งมีการทรุดตัวปริมาณมาก ดังนั้นการปรับปรุงควรจะดำเนินการในส่วนของการปรับปรุงดินฐานรากที่เป็นสาเหตุของปัญหา
2. ความเสียหายในลักษณะการเคลื่อนพังของคันทาง การเคลื่อนพังของคันทางสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุของดินฐานรากหรือสาเหตุจากดินคันทางเอง ดังนั้น

ควรมีการตรวจสอบสาเหตุของการพังทลายที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะเลือกวิธีการดำเนินการปรับปรุงให้ตรงกับสาเหตุ

3. ความเสียหายในลักษณะการทรุดตัวและการเคลื่อนพังของคันทาง ความเสียหายในลักษณะนี้จะพบการทรุดตัวเกิดขึ้นก่อน จากนั้นการเคลื่อนพังของคันทางจะเกิดตามมา ดังนั้นควรจะเลือกวิธีในการปรับปรุงดินฐานรากเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทรุดตัวเกิดขึ้น และหากสาเหตุของการเคลื่อนพังในคันทางเกิดจากตัวคันทางเองก็จะต้องมีการปรับปรุงในส่วน of คันทางเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพังทลายอีกด้วย

ในส่วนของวิธีการป้องกันและแก้ไขซ่อมแซมการพังทลายของถนนสามารถทำได้โดยใช้หลักการ 2 ข้อ คือ

1. หลักการลดน้ำหนักหรือแรงที่จุดให้มวลดินเคลื่อนที่
 2. หลักการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินหรือเพิ่มแรงต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดิน
- ซึ่งแต่ละหลักการมีรายละเอียดและวิธีการดังต่อไปนี้

4.1.1. หลักการลดน้ำหนักหรือแรงที่จุดให้มวลดินเคลื่อนที่ลง (Driving Force)

สามารถแบ่งออกเป็นวิธีต่างๆ ได้ 3 วิธี

1. การลดน้ำหนัก (Unloading) โดยการใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบามาแทนที่
2. การปรับเปลี่ยนหน้าตัด (Geometrical method)
3. การระบายน้ำ (Drainage) โดยพยายามลดระดับน้ำในมวลดิน เช่น การใช้ท่อระบายน้ำ สูบน้ำจากบ่อระบาย หรือทำร่องระบายเบี่ยงทางน้ำ

4.1.2. หลักการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินหรือเพิ่มแรงต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดิน (Resisting Force) สามารถแบ่งออกเป็นวิธีต่างๆ ได้ 6 วิธี

1. การเพิ่มแรงต้านโดยใช้น้ำหนักกดทับ (Buttressing)
2. การเสริมกำลัง (Reinforcement) เพื่อเพิ่มกำลังให้มวลดิน
3. กำแพงกันดิน (Retaining Wall) โดยการใช้โครงสร้างในการต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดิน
4. การปลูกพืชคลุมดิน (Vegetation)
5. การป้องกันการกัดเซาะผิวหน้า (Surface Slope Protection)
6. การปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Hardening)

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นถนนเลียบบคันคลอง มีปัญหาเรื่องขอบเขตทางที่ไม่กว้างนัก และปัญหาเรื่องการเข้าถึงพื้นที่ก่อสร้าง วิธีการปรับปรุงเสถียรภาพหรือการแก้ไขปัญหานี้ทาง ทัศนียภาพวิธีอาจไม่เหมาะสมกับสภาพในพื้นที่และปัญหาที่เกิดขึ้น วิธีการแก้ไขที่เหมาะสมกับ ปัญหาถนนเลียบบคันคลองที่เสนอในคู่มือนี้ ที่ปรึกษาเสนอได้เสนอวิธีการแก้ไขไว้ 8 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 การลดน้ำหนักรถโดยการใช่วัสดุมวลเบา

วิธีที่ 2 การปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสม

วิธีที่ 3 การเพิ่มแรงต้านโดยใช้กล่องลวดตาข่าย (Gabion)

วิธีที่ 4 การเสริมกำลังโดยใช้เสาเข็มป้องกันการเคลื่อนตัวของคันทาง

วิธีที่ 5 การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง

วิธีที่ 6 การใช้กำแพงกันดิน

วิธีที่ 7 การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัดคันทาง

วิธีที่ 8 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากคันทาง

วิธีอื่นที่ไม่ได้แนะนำสำหรับการป้องกันแก้ไขปัญหานถนนเลียบบคันคลองนี้ คือ วิธีการระบายน้ำและวิธีการปลูกพืชคลุมดิน เนื่องจากสภาพปัญหาเป็นถนนเลียบบคันคลองมีลำน้ำอยู่ ด้านข้าง เมื่อระบายน้ำออกสู่ลำน้ำด้านข้างไปแล้วสามารถซึมกลับเข้าสู่คันทางได้เมื่อระดับน้ำ สูงขึ้น วิธีการปลูกพืชคลุมดินต้องอาศัยระยะเวลาสำหรับการเจริญเติบโตของพืชจนกว่ารากพืช จะแข็งแรงพอสำหรับเสริมแรงในคันทาง

วิธีการแก้ไขทั้ง 8 วิธีที่เสนอในคู่มือนี้ใช้หลักการการลดน้ำหนัก การเสริมแรง และการ ปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงหลักการและวิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหานทั้ง 8 วิธี

หลักการ วิธีแก้ไข	การลดน้ำหนัก	การเพิ่มกำลัง	
		การเสริมแรง	การปรับปรุง คุณภาพดิน
1. การใช่วัสดุมวลเบา	●		
2. การปรับเปลี่ยนหน้าตัด	●		
3. การใช้กล่องลวดตาข่าย		●	
4. การใช้เสาเข็ม		●	
5. การใช่วัสดุรับแรงดึง		●	
6. การใช้กำแพงกันดิน		●	
7. การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุ บดอัด			●
8. การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์			●

ในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการป้องกันและแก้ไขปัญหาเสถียรภาพของคันทางเมื่อมีน้ำลดระดับอย่างรวดเร็ว เมื่อต้องรับน้ำหนักบรรทุกมากและเมื่อต้องทำการก่อสร้างให้มีลาดชันมากกว่า 1:2 (V:H) โดยวิธีการที่เสนอแต่ละวิธีสามารถทำการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่ต้องการได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงวิธีการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาสำหรับ 8 วิธี

ปัญหา วิธีแก้ไข	กรณีน้ำลดระดับอย่างรวดเร็ว		กรณีถนนที่รับน้ำหนักมาก		กรณีความลาดชันมากกว่า 1:2 (V:H)	
	ป้องกัน	แก้ไข	ป้องกัน	แก้ไข	ป้องกัน	แก้ไข
1. การใช้วัสดุมูลเบา			●		●	
2. การปรับเปลี่ยนหน้าตัด			●			
3. การใช้กล่องลดตาข่าย	●				●	
4. การใช้เสาเข็มฯ		●		●		
5. การใช้วัสดุรับแรงดึง			●		●	
6. การใช้กำแพงกันดิน			●		●	●
7. การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด					●	●
8. การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ฯ			●		●	

วิธีที่ 1 การลดน้ำหนักโดยการใช้วัสดุมูลเบา

หลักการ การใช้วัสดุมูลเบาเป็นการลดแรงกระทำที่ทำต่อลาดดินโดยใช้วัสดุมูลเบามาทำการบดอัดกรณีทำการก่อสร้างใหม่ หรือขุดดินออกกรณีทำการซ่อมแซมบริเวณที่เกิดความเสียหาย แล้วเอาวัสดุมูลเบาเข้ามาถมแทนเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดดิน วัสดุมูลเบาที่นำมาถม เช่น Slag ขี้เถ้าอัด ถ่าน Air Foam ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เป็นการใช้วัสดุมูลเบาประเภท Expanded Polystyrene Block (Geofoam) และ Air foam Stabilized Soil ในการก่อสร้างคันทาง



รูปที่ 4.2 การใช้วัสดุมวลเบาประเภท Expanded Polystyrene Block (Geofoam) และ Air foam Stabilized Soil ในการก่อสร้างคันทาง

ในปัจจุบันมีการนำเอาวัสดุมวลเบา (Lightweight Material) มาใช้ในงานก่อสร้างคันทางกันอย่างกว้างขวาง และยังสามารถใช้เป็นวัสดุถมกลับสำหรับก่อสร้างกำแพงกันดิน ดินถมบริเวณคอสะพาน และใช้ก่อสร้างคันทางที่วางอยู่บนดินเหนียวอ่อน เพื่อลดแรงดันทางด้านข้างที่กระทำกับโครงสร้างกำแพงกันดิน ลดน้ำหนักของคันทางที่กระทำต่อชั้นดินเดิม และป้องกันการทรุดตัวของดินเดิม วัสดุมวลเบาสามารถแบ่งออกหลายประเภทดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ชนิดของวัสดุมวลเบา (Miki, 1996)

วัสดุมวลเบา	ความหนาแน่น (ton/m ³)	หมายเหตุ
EPS block	0.01-0.03	Ultra lightweight, expandable synthetic resins
Expanded-beads mixed lightweight soil	0.7 approx. or more	Variable density; similar compaction and deformation characteristics to soil; can use excess construction soil
Air Foamed mortar and Air Foamed lightweight stabilized soil	0.5 approx. or more	Density adjustable; flowable; self-hardening; and can use excess construction soil
Foaming urethane	0.03-0.04	Ultra lightweight, on-site foaming; self-hardening
Coal ash, Granulated slag, etc.	1.0-1.5 approx	Granular material; self-hardening
Volcanic ash soil	1.2-1.5	Natural material
Hollow structures	1.0 approx	Corrugated pipes, box culverts, etc.
(Wood chips)	0.7-1.0	Usually to be used below ground-water level; anti-leaching measures needed
(Shells)	1.1 approx	Sized 12 to 76 mm.; interlocking effects
(Tire chips)	0.7-0.9	Usually to be used above ground-water level; cover soil layer of at least 0.9 m. is required

การใช้งาน จากการแนะนำของวิธี Norwegian ESP ในปี 1985 การนำเทคโนโลยีคันทางมวลเบามาใช้แก้ปัญหาเมื่อเผชิญกับดินอ่อน ได้ถูกยอมรับมากขึ้นในโครงการก่อสร้างต่างๆ ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของเทคโนโลยีนี้คือ การลดต้นทุนในการปรับปรุงดินที่นำมาเป็นฐานราก และลดระยะเวลาการก่อสร้างเนื่องจากลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อดิน การใช้เทคโนโลยีนี้สามารถนำไปใช้ได้กับหลายลักษณะงานดังต่อไปนี้

1. ลดการทรุดตัวคงค้างของคันทางที่สร้างบนดินอ่อน ถนนที่มีคันทางต่ำบนดินอ่อนมีโอกาที่จะเกิดการทรุดตัวคงค้าง เนื่องจากได้รับน้ำหนักกระทำ จากการจราจร เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้นอาจแก้ไขได้โดยการให้น้ำหนักบรรทุกก่อนเท่ากับน้ำหนักบรรทุกที่จะเกิดขึ้น แต่ถ้าดินอ่อนมีชั้นหนามาก วิธีนี้อาจไม่ได้ผลดีนัก ในกรณีนี้การทรุดตัวคงค้าง อาจสามารถ

ลดลงได้อย่างเห็นได้ชัดถ้านำวัสดุมวลเบามาเป็นวัสดุสร้างคันทางร่วมกับการให้น้ำหนักบรรทุกก่อนเล็กน้อย แล้วเอาดินเดิมออก

2. ป้องกันการทรุดตัวต่างระดับของคันทางที่ติดกับโครงสร้างบนฐานรากเสาเข็ม และป้องกันการเคลื่อนไหลของเสาเข็ม ปัญหาของการทรุดตัวไม่เท่ากันมักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีท่อลอดในกรณีของถนนที่มีคันทางต่ำ หรือในกรณีถนนที่เชื่อมกับสะพาน อีกทั้งยังอาจมีการเคลื่อนไหลของเสาเข็มต่อม่อันเนื่องมาจากแรงกระทำด้านข้าง การใช้คันทางมวลเบาสามารถลดการทรุดตัว หรือปัญหาการรับแรงกระทำด้านข้างได้ ทั้งยังลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และลดค่าใช้จ่ายในด้านการปรับปรุงดินฐานรากอีกด้วย

3. ป้องกันการเคลื่อนตัวเมื่อก่อสร้างใกล้กับอาคารข้างเคียง เมื่อถนนที่มีการก่อสร้างในขอบเขตทางที่แคบและก่อสร้างบนดินอ่อน ปัญหาที่ต้องระมัดระวังอีกอย่างหนึ่งก็คือผลกระทบต่ออาคาร บ้านเรือนใกล้เคียง ในสถานการณ์แบบนี้มักแก้ปัญหาโดยวิธีการปรับปรุงดินในระดับลึก (Deep Mixing Method) หรือการตอกเข็มพืด (Sheet Pile) แต่สำหรับพื้นที่ที่ดินอ่อนมาก ๆ หรือชั้นดินเหนียวอ่อน มีความหนามาก ค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้างจะลดลงมากถ้าใช้วิธีคันทางมวลเบา อาจจะใช้วิธีนี้เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ก็ได้

4. ลดระยะเวลาการก่อสร้าง คันทางมวลเบาจะมีประโยชน์อย่างเห็นได้ชัดในการประยุกต์ใช้กับงานที่จำกัดทางด้านระยะเวลาในการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถติดตั้งในส่วนของการปรับปรุงดินออกไป อย่างไรก็ตามถ้าดินอ่อนมาก ๆ วิธีคันทางมวลเบานี้ยังสามารถใช้ร่วมกับการใช้ฐานรากตื้น หรือวิธีอื่นๆ ได้อีกด้วย

5. ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา จุดเด่นของวิธีคันทางมวลเบานี้ก็คือ ถึงแม้ว่าต้นทุนเริ่มแรกจะสูงแต่ในอนาคตค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยมาก

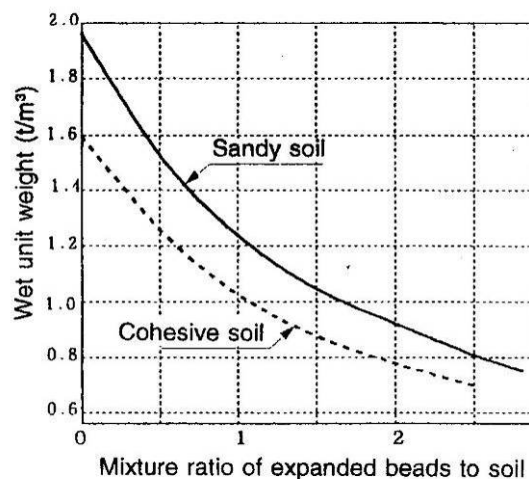
วัสดุ ชนิดและคุณลักษณะของวัสดุมวลเบาที่นิยมใช้กันมีหลายชนิด แต่ในคู่มือนี้จะแนะนำไว้ 4 ชนิดที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานในประเทศไทยคือ

- ก) EPS Block หรือ Geo-foam
- ข) Expanded-beads Mixed Lightweight
- ค) Air Foamed Mortar
- ง) Coal Ash, Granulated Slag and Others

ก) **EPS Block หรือ Geo-foam** เป็นวัสดุฉนวนเบาที่ใช้เทคนิคการทำให้ Poly styrene เกิดการขยายตัว ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มโฟมเข้าไปใน Poly styrene มาตรฐานของ EPS Block ทั่วไปมีความกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และหนา 0.50 เมตร (1 ลูกบาศก์เมตร) มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.03 ตันต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดประมาณ 7 ถึง 18 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการใช้งาน EPS Block

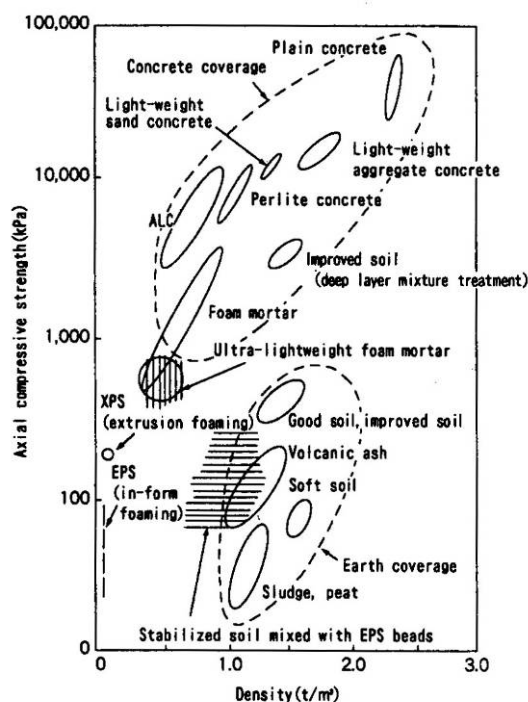


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสม Expanded-beads กับปริมาตรดิน (Miki, 1996)

ข) **Expanded-beads Mixed Lightweight** เป็นการปรับปรุงดินเดิมให้เป็นวัสดุฉนวนเบา โดยการผสมกันระหว่าง Expanded Poly styrene และปูนซีเมนต์เพื่อให้มีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น หรือบางครั้งอาจจะมีการใส่เส้นใย (Fiber) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงหรือต้านทานการกัด

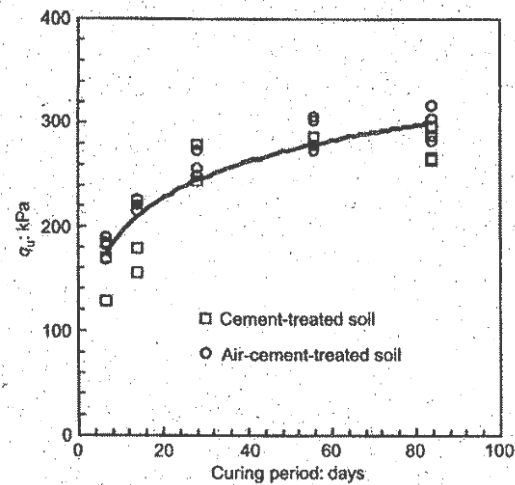
เซาะ โดยมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.70 ถึง 1.30 ตันต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลัง รับแรงอัด ประมาณ 5 ถึง 20 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ค) **Air Foamed Mortar or Air Foamed Stabilized Soil** การปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเกิดจากการผสมกันระหว่าง ดิน ปูนซีเมนต์ น้ำ และสารเคมีที่นำมาทำเป็นโฟม (Foaming agent) โดย Air Foam Mix Stabilized Soil นั้นจะมีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 0.60 ถึง 1.20 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังรับแรงอัดของ Air Foam Mortar และ Air Foamed Stabilized Soil จะแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผสมว่าเป็นทรายหรือดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.5

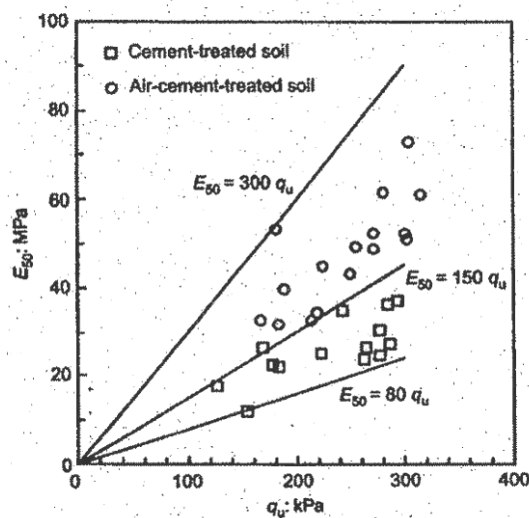


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังวัสดุ Air Foam Mix Stabilized Soil (Miki, 1996)

Hayashi and Suzuki (2002) ได้กล่าวว่า กำลังรับแรงอัด (q_u) ของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยอากาศและซีเมนต์มีค่าสูงกว่าดินซีเมนต์ กำลังรับแรงอัด และ Modulus of Deformation ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์โดยมีค่า E_{50} เท่ากับ 150-300 เท่าของค่ากำลังรับแรงอัด (q_u) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 อัตราส่วนของช่องว่างของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 3.3 และมีกำลังรับแรงอัด (q_u) เท่ากับ 570 kPa ถึง 2.24 Mpa ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Curing Period และ Unconfined Compressive Strength (Hayashi and Suzuki, 2002)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Deformation และ Unconfined Compressive Strength (Hayashi and Suzuki, 2002)

ง) Coal Ash, Granulated Slag and Others คุณสมบัติทางวิศวกรรมของ Coal Ash บดอัดดังแสดงในตารางที่ 4.4 เนื่องจากอัตราส่วนช่องว่างและความถ่วงจำเพาะของ Coal Ash มีค่าต่ำกว่าดินทั่วไป ความหนาแน่นของ Coal Ash บดอัดจะอยู่ระหว่าง 1.10 ถึง 1.50 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณความชื้นของ Coal Ash ดังแสดงในตารางที่ 4.4 Coal Ash บดอัดจะมีคุณสมบัติแข็งตัวได้ด้วยตัวเอง และมีความเหลว Coal Ash บางชนิด เช่น Fly Ash และ Clinker Ash สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุถมเบสำหรับสร้าง คั่นทางของถนน และดินถมกลับของกำแพงกันดิน

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของวัสดุ Coal Ash บดอัด

Type	Soil classification	Optimum moisture water content (%)	Unit weight per volume (tf/m ³)		Strength constant		CBR(%)	Coefficient of permeability (cm/sec)
			Dry	Wet	Cohesion (kgf/cm ²)	Shear resistance angle (°)		
Fly ash	Same as silt	11~36	1.06~1.49	1.1~1.5	1.0~2.0	30~37	1.8~22.5 (Existing ash)	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁶
Clinker ash	Same as sand	32~52	0.88~1.45	less than 1.5	0.4~1.1	29~33	50~70	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴

Granulated Slag คือผลผลิตที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของตะกอนจากเตาหลอม Granulated Slag แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือแข็ง (Hard) และอ่อน (Soft) เมื่อบดอัดแล้วความหนาแน่นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.20 ถึง 1.35 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแน่นใต้น้ำ (Under Water Weight) อยู่ระหว่าง 0.50 ถึง 0.70 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

ข้อสังเกต มন্ত্রী เชาสกุลสมและคณะ (2548) ได้ทำการทดสอบปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนใช้เป็นคันทางมวลเบา เพื่อลดน้ำหนักของดินคันทางที่กระทำต่อชั้นดินเหนียวอ่อนซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวสูง โดยผสมดินเหนียวอ่อนกับปูนซีเมนต์ Air Foam แก้วลอย และแก้วเกลบ-เปลือกไม้ จากนั้นทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นและพฤติกรรมรับแรงอัดทิศทางเดียวของวัสดุมวลเบา ผลการทดสอบสามารถลดความหนาแน่นของวัสดุมวลเบาให้มีค่า 0.8 – 1.1 ตันต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นมากกว่าดินเหนียวปกติ

วิธีที่ 2 การปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสม

หลักการ เป็นการลดความชันของลาดดินคันทางที่มีความชันมาก ๆ และมีเสถียรภาพต่ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มแรงต้านและลดแรงกระทำหรือแรงดันของดินและลดความชันของลาดดินลง โดยทั่วไปจะมีวิธีการปรับเปลี่ยนหน้าตัดอยู่ 3 วิธี ได้แก่

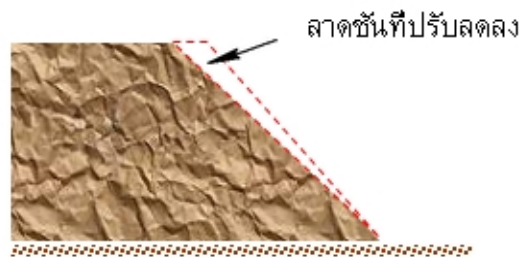
- ก) การปรับลดความสูงของคันทาง
- ข) การปรับลดความลาดชัน
- ค) การตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง

ก) **การปรับลดความสูงของคันทาง** การปรับเปลี่ยนหน้าตัดโดยการลดความสูงของคันทางทำให้น้ำหนักที่กระทำลดน้อยลงเป็นผลทำให้เสถียรภาพของคันทางโดยรวมสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการปรับลดความสูงของคันทาง

ข) การปรับลดความลาดชัน ในกรณีที่มีความจำเป็นไม่สามารถปรับระดับความสูงของถนนได้ การปรับลดความลาดชันของคันทางให้น้อยลงสามารถทำให้เสถียรภาพของคันทางเพิ่มขึ้นได้ วิธีนี้ต้องการใช้ความกว้างของขอบเขตทางเพิ่มขึ้นเพื่อขยายความกว้างของผิวทางชดเชยกับความลาดชันที่ปรับลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการปรับลดความลาดชัน

ค) การตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง เป็นการเพิ่มเสถียรภาพโดยการใช้ทั้งการลดน้ำหนักที่กระทำและเพิ่มมวลดินที่ใช้ค้ำยันด้านล่างของคันทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 การปรับปรุงเสถียรภาพโดยวิธีนี้ต้องการใช้ความกว้างของขอบเขตทางเพิ่มขึ้นเพื่อขยายความกว้างของผิวทางชดเชยกับส่วนบนของคันทางที่ตัดออกและต้องมีพื้นที่ในส่วนที่จะต้องนำมวลดินมาถมกลับบริเวณส่วนล่างของคันทาง ดังนั้นวิธีนี้อาจจะไม่เหมาะสมกับสายทางที่มีขอบเขตทางแคบ



รูปที่ 4.10 แสดงการตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง

ข้อจำกัด การเลือกใช้วิธีการปรับปรุงแก้ไขวิธีนั้น สายทางดังกล่าวต้องมีขอบเขตทางที่กว้างพอในการปรับลดความสูงหรือลดความลาดชัน ดังนั้นจึงไม่สามารถดำเนินการได้ในสายทางที่มีข้อจำกัดด้านความกว้างของเขตทาง และในการเคลื่อนย้ายวัสดุนี้ ต้องระวังไม่ใช้เครื่องจักรที่มีน้ำหนักมากเกินไปเข้าไปทำงาน หรือจอดพักไว้บนไหล่ทางโดยเฉพาะคันทางที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อน หรือการกองวัสดุไว้บนไหล่ทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เพราะอาจทำให้คันทางบริเวณที่กำลังก่อสร้างบรรทุกน้ำหนักมากเกินไปจนเกิดการทรุดตัวหรือพังทลายได้



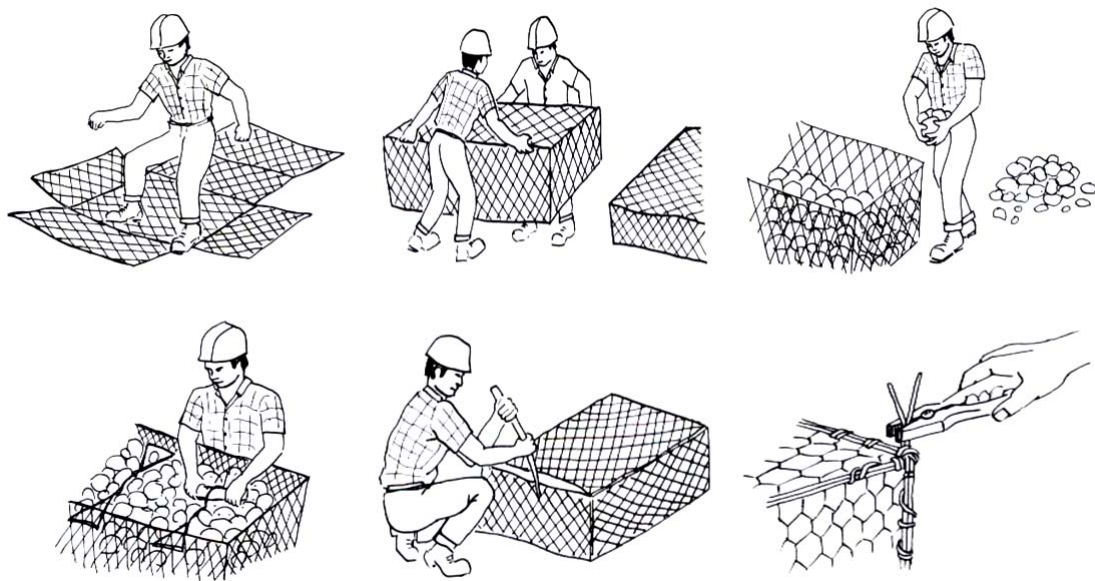
รูปที่ 4.11 แสดงการกองวัสดุไว้บนไหล่ทาง อาจทำให้คันทางทรุดตัวได้

วิธีที่ 3 การใช้กล่องลวดตาข่าย

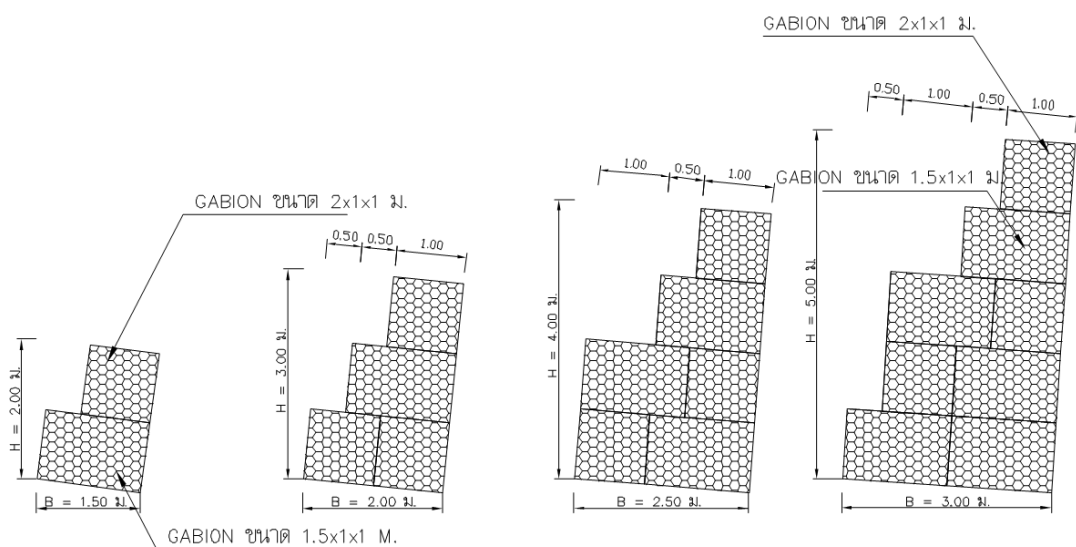
หลักการ ในอดีตการใช้หินที่มีขนาดใหญ่ถม เพื่อเป็นการทำค้ำยันให้กับความลาดชันของคันทาง หรือเป็นวิธีการที่เพิ่มแรงต้านทานให้กับบริเวณด้านล่าง (Toe) ของลาดชัน แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดทางด้านการจัดหาวัสดุ การก่อสร้าง ประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน ในปัจจุบันมีการใช้กล่องลวดตาข่าย (Gabion or Mattress) มาใช้ร่วมกับการถมหิน และช่วยให้การใช้หินถมเป็นไปโดยมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งในด้านเสถียรภาพ และการประหยัดพื้นที่ก่อสร้าง เนื่องจากสามารถถมหินในแนวตั้งได้มากขึ้น ดังแสดงขั้นตอนการก่อสร้างในรูปที่ 4.12 ถึง 4.13 และตัวอย่างของการใช้งานในรูปที่ 4.14 ตามลำดับ

วัสดุ ลวดตาข่ายที่มีการผลิตขาย มีทั้งลวดตาข่ายที่ผลิตจากโลหะหรือพรีซี วัสดุที่ใช้ทำลวดตาข่ายจะทนต่อการผุพังและการกัดกร่อนได้ในระยะยาว ลวดตาข่ายจะถูกเคลือบด้วยสารกันสนิมหรือพลาสติก เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของน้ำและอากาศ ตามมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เช่น มาตรฐานการทดสอบวัสดุของสหรัฐอเมริกา (ASTM A 975-97) หรือมาตรฐานเฉพาะในแต่ละภูมิภาค ขนาดความยาวของกล่องที่ใช้ในการก่อสร้างมีหลายขนาด เช่น 1, 2, 3 และ 4 เมตร เป็นต้น

ลวดตาข่ายที่เหมาะสมมีขนาดช่องเปิดกว้างประมาณ 60-100 มิลลิเมตรและสานกันเข้าด้วยกัน ภายในบรรจุหินหรือกรวดแม่น้ำขนาด 100-200 มิลลิเมตร ซึ่งควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดช่องเปิดของลวดตาข่าย ในกรณีดินถมหลังกำแพงเป็นดินเม็ดละเอียดจะต้องติดตั้งวัสดุกรองเช่นแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อป้องกันไม่ให้คันทางเสียมวลดินลอดออกตามช่องว่างของหินที่บรรจุอยู่ในกล่องลวดตาข่าย



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการทำกล่องหินลวดตาข่าย (Ling Middle East Company)

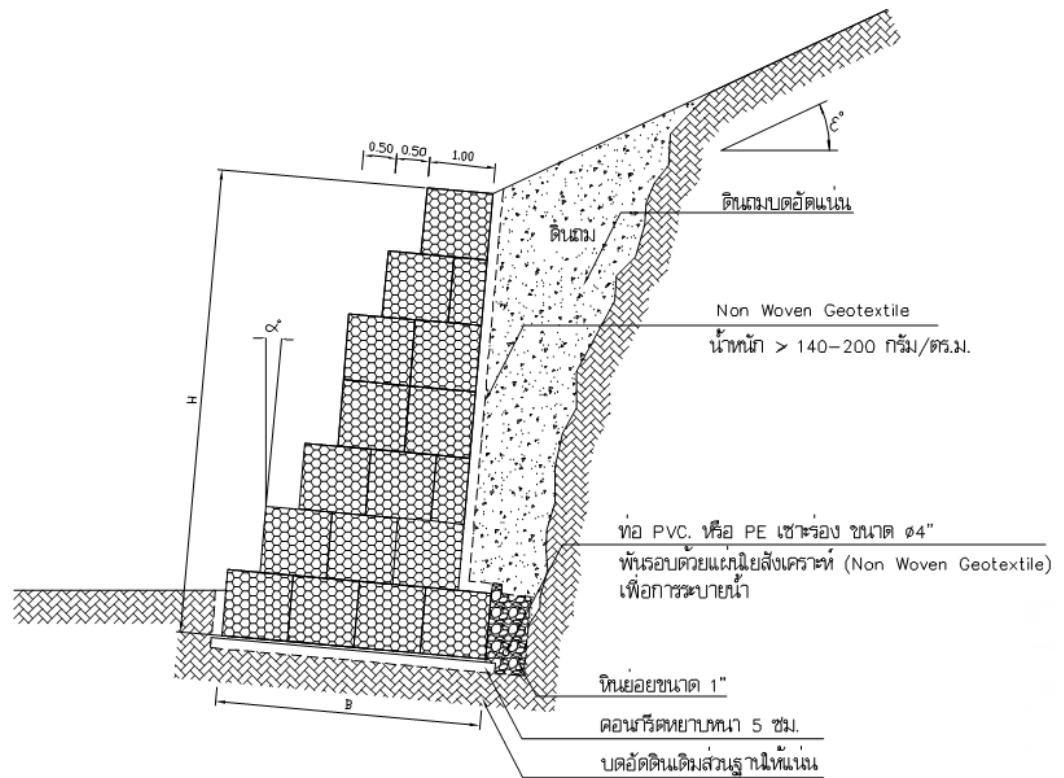


รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบการจัดเรียงกล่องหินลวดตาข่ายที่ความสูงต่างๆ



รูปที่ 4.14 การป้องกันดินเลื่อนไถล (Ling Middle East Company)

การใช้งาน การใช้งานกล่องลวดตาข่ายดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.15 การเรียงกล่องลวดตาข่ายให้สูงขึ้นเพื่อป้องกันการพังทลายของลาดคันทางที่จะเกิดขึ้นในตัวของคันทางเอง และสามารถป้องกันปัญหาการกัดเซาะตลิ่งจากลำน้ำด้านข้างได้ด้วย ดังนั้นบริเวณพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างกล่องลวดตาข่ายจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของกล่องลวดตาข่ายโดยไม่เกิดการพังทลายเนื่องจากดินฐานรากไม่สามารถรับน้ำหนักได้



α° = มุมลาดเอียงของแนวกำแพง (ประมาณ 4° – 6° องศา)

B = ความกว้างของฐานกำแพง Gabion (เมตร)

H = ความสูงของกำแพง Gabion (เมตร)

H/B = อัตราส่วนรูปทรงกำแพง

ϵ° = มุมลาดเอียงของเชิงลาด (องศา)

รูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างการใช้งานกล่องลวดตาข่ายในการเพิ่มความชันของคันทาง

ข้อจำกัด เนื่องจากวิธีการใช้กล่องหินลวดตาข่ายเป็นค้ำยันเพิ่มแรงต้านทานบริเวณส่วนล่างของคันทางนั้นเป็นการนำน้ำหนักมาวางต้านทานการเคลื่อนตัวของคันทาง ดังนั้นดินด้านล่างของกล่องลวดตาข่ายต้องมีความแข็งแรงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักของกล่องหินลวดตาข่ายได้เพียงพอโดยไม่ทำให้เกิดการพังทลายหรือการทรุดตัวปริมาณมากเกิดขึ้น

วิธีที่ 4 การใช้เสาเข็มป้องกันการเคลื่อนตัวของคันทาง

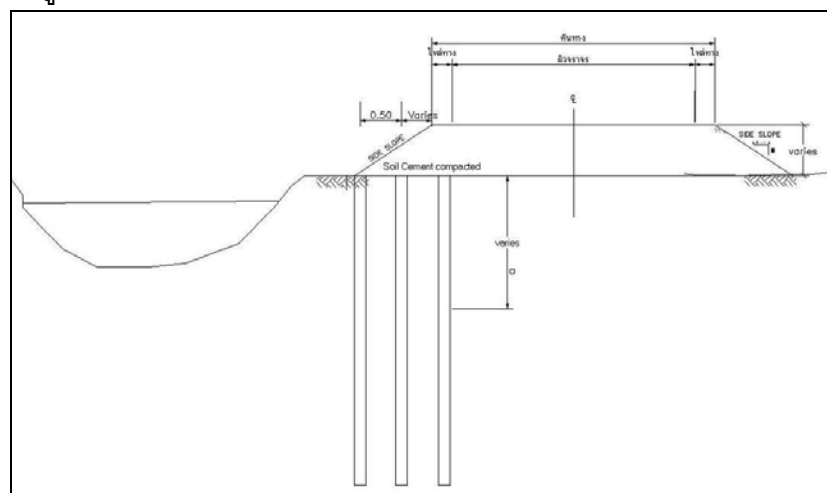
หลักการ การใช้เสาเข็มป้องกันการเคลื่อนตัวของคันทางเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizing-piles) และลดการเคลื่อนตัวของคันทาง เพื่อแก้ไขปัญหาการเคลื่อนตัวและการพังทลายของลาดคันทาง ในทางปฏิบัติสามารถที่จะก่อสร้างได้ง่ายๆและสะดวกต่อการดำเนินการก่อสร้าง โดยให้เสาเข็มเข้าไปเพิ่มกำลังต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวนอนของบริเวณที่เกิดการเคลื่อนพัง ความยาวของเสาเข็มที่ใช้

จะต้องมีความยาวเลยแนวการเคลื่อนพังลงไป โดยปกติจะใช้เสาเข็มปักลงไปเป็นแนวตั้งเพื่อความสะดวกในการทำงานและตรวจสอบ การใช้เสาเข็มตอกสำหรับเสริมแรงในคันทางดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงการเสริมแรงในคันทางโดยใช้เสาเข็มตอก

Cai and Ugai (1999) ได้ทำการวิเคราะห์แบบจำลองการใช้เสาเข็มเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดดิน โดยแปรผันระยะห่างระหว่างเสาเข็มและสภาพการยึดหัวเสาเข็มด้านบน ผลการวิเคราะห์พบว่า การตอกเสาเข็มที่ลาดชันด้านล่าง (Toe slope) สามารถเพิ่มเสถียรภาพได้ตามที่คาดไว้ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างของเสาเข็มลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการยึดหัวเสาเข็มไว้ด้วยกันกับปล่อยหัวเสาเข็มอิสระ พบว่าเมื่อยึดหัวเสาเข็มด้านบนไว้ด้วยกันจะเกิดการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและของดินลาดชันน้อยลง และทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในการก่อสร้างจริงการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางโดยวิธีการใช้เสาเข็มตอก ควรมีการปรับปรุงคุณภาพดินบริเวณหัวเสาเข็มด้านบน อีกทั้งยังเป็นการกระจายน้ำหนักของดินคันทางลงสู่เสาเข็มทุกต้นที่ทำการเสริมให้สมบูรณ์มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงการเสริมเสถียรภาพคันทางด้วยการใช้เสาเข็มตอก

วัสดุ เสาเข็มที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดการเคลื่อนตัวของลาดคันทางมีหลายประเภท แต่ในคู่มือนี้จะแนะนำไว้ 2 ประเภท คือ

ก) เสาเข็มตอก

ข) เสาเข็มเจาะ

ค) เสาเข็มตอกร่วมกับการบดอัดคันทางด้วยดินซีเมนต์

รายละเอียดสำหรับเสาเข็มแต่ละชนิด ได้แก่

ก) เสาเข็มตอก สามารถเลือกใช้ได้หลายขนาดทั้งหน้าตัดและความยาวของเสาเข็ม สำหรับวิธีที่สะดวกในการใช้งานโดยทั่วไปคือใช้รถตักดิน (Back hoe) กดเสาเข็มลงไปบริเวณตำแหน่งที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 แต่ความยาวเสาเข็มจะไม่สามารถใช้ความยาวเกินความยาวแขนของรถตักดิน หากต้องใช้เสาเข็มที่มีความยาวมากต้องขนย้ายปั้นจั่นสำหรับตอกเสาเข็มเข้าไปปฏิบัติงานแทน เมื่อทำการตอกเสาเข็มลงไปแล้วสามารถเสริมแรงให้แก่คันทางและดินฐานรากได้ทันที ไม่ต้องรอให้คอนกรีตพัฒนากำลังเหมือนเสาเข็มเจาะ ด้วยการใช้แรงงานที่ง่ายและสะดวกจึงเหมาะสำหรับงานแก้ไขซ่อมแซมบริเวณที่เกิดความเสียหายขึ้นแล้วหรือการควบคุมไม่ให้ความเสียหายขยายตัวออกไปมากขึ้น วิธีนี้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์ที่ต้องการเสริมกำลังรับแรงทางด้านข้างเป็นหลัก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวด้านข้าง พฤติกรรมของเสาเข็มจะรับแรงกระทำด้านข้างเป็นหลัก พฤติกรรมด้านการรับน้ำหนักในแนวตั้งจะเกิดน้อยกว่าแรงด้านข้าง



รูปที่ 4.18 แสดงการใช้รถตักดินทำการกดเสาเข็มเพื่อเสริมแรงให้คันทาง

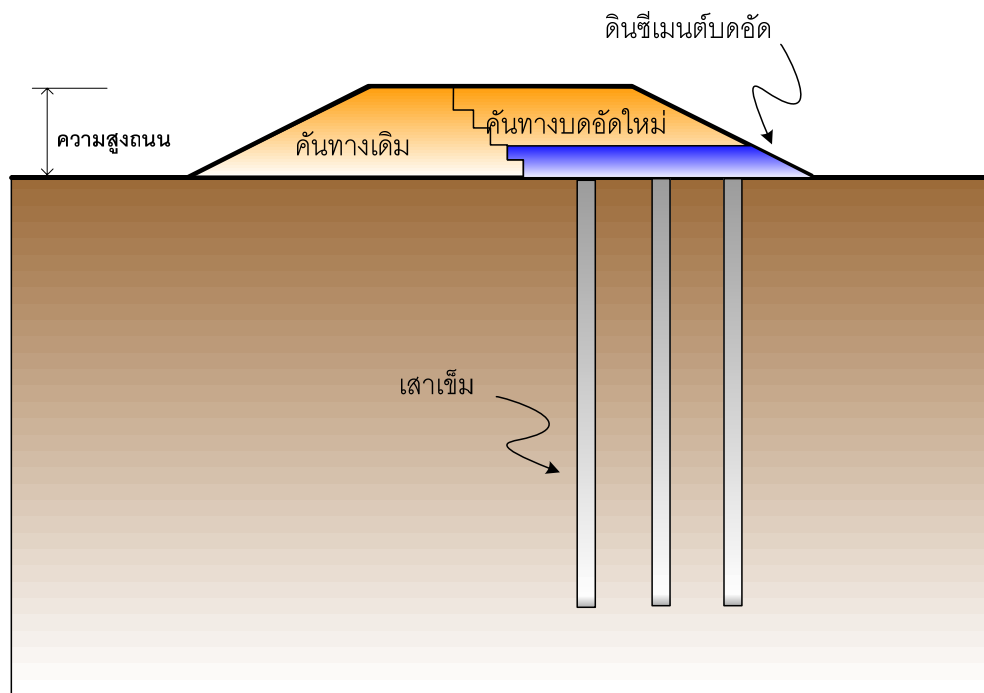
ข) เสาเข็มเจาะ ข้อดีสำหรับเสาเข็มเจาะคือสามารถทำให้มีความยาวตามที่ต้องการได้โดยไม่ต้องขนย้ายเครื่องมือเครื่องจักรขนาดใหญ่เข้าไปปฏิบัติงาน ดังแสดงในรูปที่

4.19 แต่ข้อจำกัดคือความรวดเร็วในการปฏิบัติงานที่สามารถทำได้ช้ากว่าการใช้เสาเข็มตอก มีขั้นตอนหลายขั้นตอนมากกว่าเสาเข็มตอก และการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใช้ในการทำเสาเข็มเจาะซึ่งต้องใช้ระยะเวลาให้คอนกรีตพัฒนากำลังขึ้นมา ดังนั้นจึงไม่สามารถเสริมแรงให้แก่คันทางและฐานรากได้ทันทีหลังจากก่อสร้างเสร็จ



รูปที่ 4.19 แสดงการทำเสาเข็มเจาะ

ค) เสาเข็มตอกร่วมกับการบดอัดคันทางด้วยดินซีเมนต์ วิธีนี้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้เสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้างร่วมกับการรับน้ำหนักในแนวดิ่ง โดยการใช้วัสดุดินซีเมนต์บดอัดในส่วนที่เป็นคันทางที่บดอัดใหม่ เหนือระดับที่มีการตอกเสาเข็ม เสริมแรงในดินฐานราก ดังแสดงในรูปที่ 4.20 โดยการปรับปรุงด้วยวิธีนี้ชั้นดินซีเมนต์บดอัด เหนือระดับหัวเสาเข็มจะทำหน้าที่กระจายแรงในแนวดิ่งเข้าสู่เสาเข็ม เพื่อถ่ายน้ำหนักในแนวดิ่ง ของคันทางและน้ำหนักที่กระทำภายนอก เช่น น้ำหนักยานพาหนะ น้ำหนักบรรทุก ลงสู่ชั้นดิน แข็งกว่าที่ปลายเสาเข็ม และเสาเข็มยังทำหน้าที่รับแรงด้านข้างที่เกิดขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด การเคลื่อนตัวออกด้านข้างของดินฐานราก ซึ่งจะทำให้คันทางเกิดการพังทลายตามมาในที่สุด

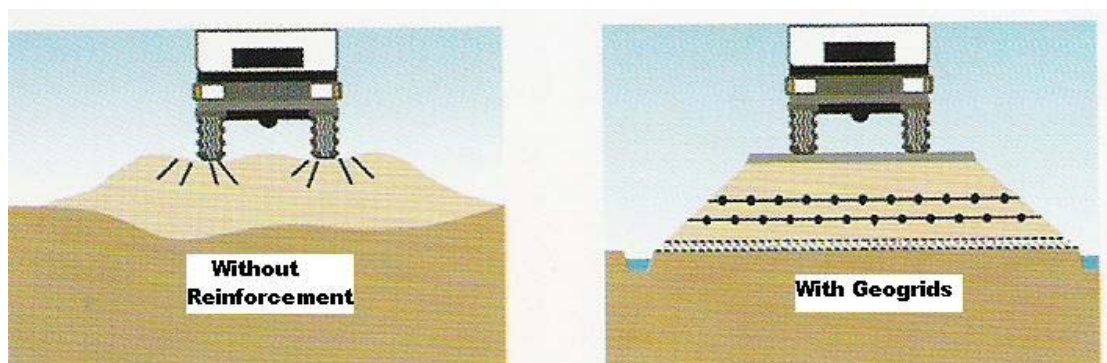


รูปที่ 4.20 การใช้เสาเข็มต่อกร่วมกับการบดอัดด้วยดินซีเมนต์

ข้อควรระมัดระวัง ในการใช้งานเสาเข็มเพื่อเสริมแรงให้แก่คันทางและดินฐานราก ความยาวของเสาเข็มที่ใช้ควรจะต้องมีความยาวมากพอที่จะเข้าไปเสริมแรงในบริเวณที่มีการพังทลายเกิดขึ้นหรือบริเวณที่เสี่ยงจะเกิดการพังทลาย หากเป็นการเลือกใช้เสาเข็มเจาะควรจะมีการควบคุมการก่อสร้างโดยเฉพาะในขั้นตอนการใส่เหล็กเสริม ต้องควบคุมให้มีการใส่เหล็กเสริมตลอดความยาวของเสาเข็ม และต้องพิจารณาเรื่องระยะเวลาการพัฒนากำลังของคอนกรีต ส่วนบริเวณปลายเสาเข็มด้านบนควรจะตมมีการบดอัดดินให้แข็งแรงเพื่อให้การถ่ายน้ำหนักจากถนนลงสู่เสาเข็มได้สมบูรณ์ โดยอาจจะเลือกใช้การบดอัดดินผสมซีเมนต์บริเวณปลายเสาเข็มด้านบนก่อนที่จะมีการบดอัดดินคันทางตามปกติ

วิธีที่ 5 การใช้วัสดุรับแรงดึง

หลักการ เป็นการเสริมความแข็งแรงให้กับคันทางโดยการใช้วัสดุเสริมกำลัง โดยที่โครงสร้างและคุณสมบัติของดินยังไม่มีเปลี่ยนแปลง โดยมีวิธีการแก้ไขการพิบัติของลาดดิน เช่นการเสริม Geotextiles Reinforcement เป็นชั้นๆสลับกับการบดอัดดิน เป็นระบบการเสริมกำลังลาดดินในและเสริมปรับปรุงกำลังใน Failure Plane โดยระยะห่างของวัสดุที่ใช้เสริมแรงขึ้นอยู่กับ กำลังต้านทานของดินและความสูงของความลาดดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบถนนที่ไม่มีและมีการเสริมด้วยวัสดุรับแรงดึง

แนวคิดของการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเสริมแรงเนื่องจากดินเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถรับแรงอัดได้แต่แทบไม่สามารถรับแรงดึงได้เลย การที่จะเอาชนะในจุดด้อยนี้ดินจะต้องมีการเสริมวัสดุเข้าไป ตัวอย่างของวัสดุเสริมกำลังในดิน ได้แก่ แผ่นเหล็ก (Metal Strips) และวัสดุโพลิเมอร์ต่างๆ ซึ่งเรียกโดยรวมว่า วัสดุเสริมใยสังเคราะห์ เมื่อมีการใช้ดินและวัสดุเสริมเข้าด้วยกัน จึงเรียกรวมว่าโครงสร้างดินที่มีวัสดุเสริมแรงที่มีกำลังรับแรงอัดและแรงดึงสูงกว่าปกติ และการที่โครงสร้างชนิดนี้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากโครงสร้างทั่วไป ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถนำไปสร้างคันทางทำให้สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าบริเวณที่ไม่เสริมแรงหรือสามารถก่อสร้างได้ชันกว่าบริเวณทั่วไป โครงสร้างที่มีการใช้วัสดุเสริมแรงได้แก่ การก่อสร้างคันทางใหม่ การขยายผิวจราจรบนคันทางเดิม การซ่อมแซมการพังทลายของคันทาง โดยมากวัสดุเสริมแรงชนิดแผ่นใยสังเคราะห์ถูกนำมาใช้ในการเสริมแรงในถนนหรือคันทางที่ชันหรือมีเสถียรภาพต่ำ และมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการพังทลาย วัสดุเสริมแรงนี้จะถูกนำมาใส่ในคันทางโดยวางบนแต่ละชั้นดินที่มีการควบคุมการบดอัดอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การใช้วัสดุเสริมแรงในการก่อสร้างคันทางโดยการปูตามยาว

ปัจจัยสำคัญในงานก่อสร้างคันทางเสริมแรงมี 4 ปัจจัย ได้แก่

ก) วัสดุดินถม

- ข) วัสดุเสริมแรง
- ค) ดินฐานราก
- ง) ระบบระบายน้ำ

ก) **วัสดุดินถม** ดินที่มีคุณสมบัติเป็นดินคันทางได้ก็สามารถที่จะใช้ในงานคันทางเสริมแรงเช่นกัน หากมองในด้านการเสริมแรงอย่างเดียว ดินคุณภาพต่ำที่ไม่สามารถใช้เป็นดินคันทางทั่วไปอาจสามารถใช้กันทางเสริมแรงได้ อย่างไรก็ตามดินที่มีคุณภาพสูงกว่ามีข้อได้เปรียบในการทำงาน การบดอัด ความรวดเร็วในการก่อสร้าง

ข) **วัสดุเสริมแรง** วัสดุประเภทแผ่นใยสังเคราะห์นั้นมีความคงทนต่อสภาวะต่างๆของดินได้ดี จากการทดสอบติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ในสภาพดินที่ปกติ สามารถประเมินอายุของวัสดุได้มากกว่า 1,000 ปี ซึ่งคงทนกว่าวัสดุประเภทโลหะที่จะต้องคำนึงถึงสภาวะความเป็นกรด ด่าง ฯลฯ เนื่องจากโลหะมีโอกาสที่จะเกิดสนิมได้ง่าย การเลือกใช้กำลังรับแรงดึงที่ยอมได้ของวัสดุจะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากการติดตั้ง ความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากสารเคมี ความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากสภาวะเคมีชีวภาพ และความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากยีสต์ตัว หากจำเป็นก็ต้องพิจารณาความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากรอยต่อและรอยเย็บต่างๆ โดยทั่วไปแรงดึงที่ยอมได้ของวัสดุจะลดลงจากแรงดึงสูงสุด 7 เท่าเมื่อไม่มีผลการทดลองต่างๆ

ค) **ดินฐานราก** โครงสร้างดินฐานรากของคันทางเสริมแรงจะต้องดีและแข็งแรงเหมือนกับโครงสร้างดินฐานรากของคันทางทั่วไป เพื่อช่วยในด้านความมั่นคงเสถียรภาพ (Stability)

ง) **ระบบระบายน้ำ** ในบริเวณที่มีน้ำใต้ดินสูงก็จะต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดินเพื่อการระบายน้ำจากคันทางเสริมแรง โดยถือหลักที่ว่ายอมให้น้ำใต้ดินน้อยที่สุดเนื่องจากแรงดันน้ำใต้ดินมีผลต่อเสถียรภาพการเคลื่อนตัว อีกทั้งน้ำจะไปเพิ่มน้ำหนักทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง

วัสดุ วัสดุสังเคราะห์เสริมแรงสามารถจำแนกตามรูปร่างและวัสดุที่ใช้ในการผลิตได้หลายประเภท ซึ่งที่นิยมนำมาใช้ในงานธรณีเทคนิคมี 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

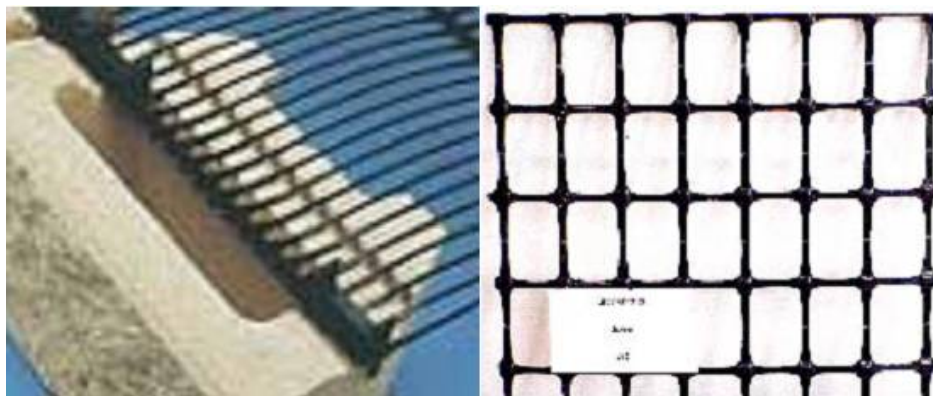
1. **Geotextiles** มีลักษณะเป็นแผ่นผลิตจากเส้นใยจำพวก Synthetic Fiber ซึ่งมีความคงทนดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ มีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นสูงและสม่ำเสมอ ผลิตเป็นแผ่นโดยการถักหรือทอเหมือนผ้า นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการแยกชั้นวัสดุ (Separation) การ

เสริมแรง (Reinforcement) การกรองวัสดุ (Filtration) การระบายน้ำ (Drain) และป้องกันการกัดเซาะ (Erosion Control) มีลักษณะเหมือนแผ่นผ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geotextiles

2. Geogrid มีลักษณะเป็นแผ่น ผลิตโดยการประสานเส้นวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ ให้เป็นตารางขนาดต่างๆ มีช่องว่างและขนาดเส้นใยโตกว่า Geotextiles ดังแสดงในรูปที่ 4.24 แต่เทคนิคการประสานเส้นใยเหมือนกัน นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการเสริมแรงเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านการยึดตัวในระยะยาวต่ำกว่า และสามารถผลิตให้มีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูงๆ



รูปที่ 4.24 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geogrids

3. Geonets หรือ Geospaces มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายผลิตจากวัสดุประเภท Polyethylene เป็นส่วนใหญ่ สามารถผลิตช่องเปิดกว้างได้ตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการระบายน้ำโดยเฉพาะ และต้องใช้ร่วมกับ Geotextiles ประกบหน้าหลังเพื่อกรองวัสดุเข้าไปอุดตันช่องระบายน้ำใน Geonets เสมอ



รูปที่ 4.25 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geonets

4. Geomembranes มีลักษณะเป็นแผ่นที่ผลิตจากวัสดุประเภท Polyethylene หรือพลาสติก หรือยาง มีคุณสมบัติในการซึมผ่านของน้ำได้ต่ำมาก นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการควบคุมการไหลซึมของน้ำเสียไม่ให้ไหลซึมมากับแหล่งน้ำดี หรือใช้ในการป้องกันการไหลเข้าออกของน้ำ และใช้เป็นวัสดุป้องกันการกัดกร่อนได้ด้วย ซึ่งปกติจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านประมาณ 10^{-7} ซม./วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geomembranes

กลไกของการเพิ่มเสถียรภาพให้แก่เชิงลาด โดยใช้น้ำหนักของดินถมเป็นแรงต้านการเลื่อนไถลของแผ่นใยสังเคราะห์ซึ่งมีความเหนียว ทนทาน และเป็นวัสดุกรองน้ำที่ดี แสดงในรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.28 แสดงตัวอย่างการใช้งานจริง



รูปที่ 4.27 การใช้แผ่นใยสังเคราะห์เพื่อทำให้เชิงลาดมีเสถียรภาพ

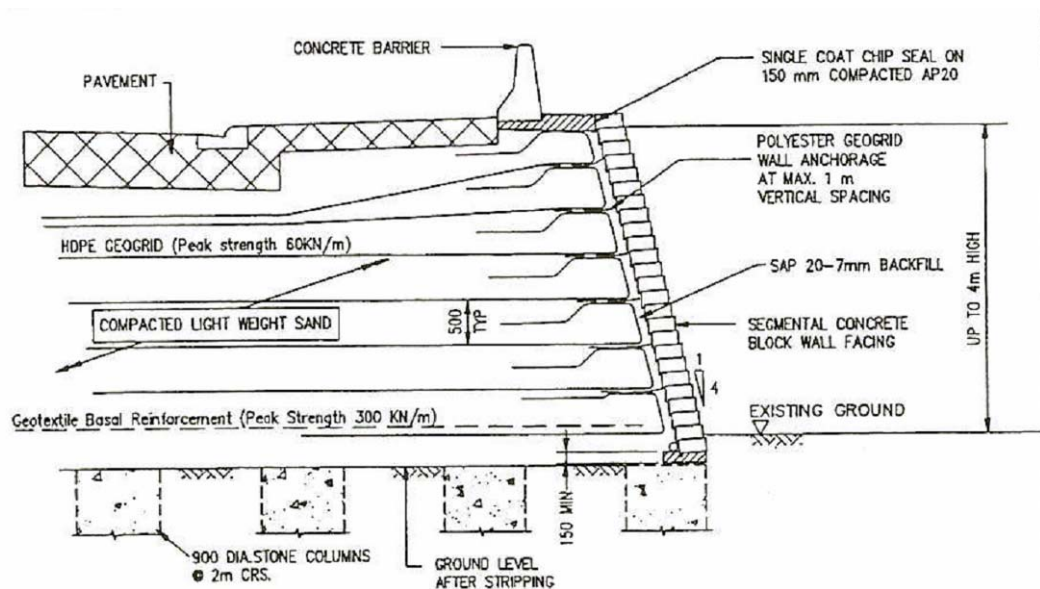


รูปที่ 4.28 การถมดินโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มเสถียรภาพ (Polyfelt)

ข้อสังเกต Otani and Palmeira (2005) ได้สรุปเกี่ยวกับการก่อสร้างคันทางบนดินอ่อน และเสริมเสถียรภาพด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ว่าสามารถลดการเคลื่อนตัวของดินคันทางเนื่องจาก

ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากที่น้อยลงได้ นอกจากนั้นยังสามารถป้องกันการพังทลายของลาดชันดินคันทางที่ก่อสร้างบนดินอ่อนอย่างได้ผล

Cheung (1998) ได้มีการใช้แผ่นเสริมแรงในคันทางบดอัดซึ่งดินฐานรากเป็นดินตะกอนอ่อนตัวหนา 22 เมตร โดยใช้แผ่นเสริมแรงสลับกับการบดอัดดินคันทางขึ้นไปเป็นชั้นๆ สามารถใช้ลาดชันด้านข้างของคันทางได้ชันถึง 4:1 (Vertical : Horizontal) และด้านล่างมีการใช้เสาหิน (Stone column) ช่วยรับแรงของคันทางกระจายลงสู่ดินฐานราก ดังแสดงในรูปที่ 4.29 การตรวจวัดการเคลื่อนตัวหลังการก่อสร้างพบการเคลื่อนตัวที่น้อยมากภายใน 6 เดือนหลังจากก่อสร้างเสร็จ ซึ่งตรงตามที่ไว้วิเคราะห์ทำนายไว้ ไม่มีพบการเกิดการพังทลายของลาดชันแต่อย่างใด และไม่มีผลกระทบของการเคลื่อนตัวต่อโครงสร้างอื่นรอบข้างภายในระยะ 10 เมตรจากขอบของคันทาง



รูปที่ 4.29 ภาพหน้าตัดมาตรฐานการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (Cheung, 1998)

วิชาญ ภูพัฒน์ (2523) ได้ทำการใช้แผ่นใยสังเคราะห์วางบนดินเดิมที่เป็นดินอ่อนรองใต้ดินถม ซึ่งสามารถเสริมกำลังของดินถมได้วิธีหนึ่ง เพราะแผ่นใยสังเคราะห์จะช่วยลดแรงดึงตามแนวนอนที่เกิดขึ้นในดินถมเนื่องจากการไหลตัวด้านข้างของดินเดิม โดยแผ่นใยสังเคราะห์นี้จะช่วยรับแรงดึงแทน การทดสอบได้กระทำที่สายทางสำโรง-บางปอ-คลองด่าน มีการวัดผลจริง ๆ ในสนาม ผลการทดลองปรากฏว่าแผ่นใยสังเคราะห์นี้มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มกำลังของดินถมบนดินเดิมที่เป็นดินอ่อนได้พอสมควร นอกจากจะช่วยรับแรงดึงตามแนวนอนแล้ว แผ่นรองนี้จะเป็นแผงกันไม่ให้ดินเลนทะลักเข้าไปในดินถม อีกทั้งยังช่วยการอัดตัวของดินเดิมที่ละเอียดเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่ดินเดิมเป็นดินเลน

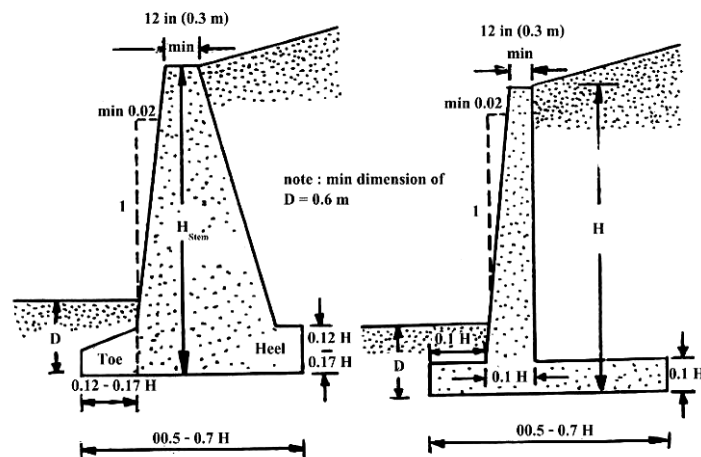
วิธีที่ 6 การใช้กำแพงกันดิน

หลักการ กำแพงกันดิน เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการรับแรงดันทางด้านข้าง (Lateral support for vertical or near vertical slopes of soil) ใช้ในกรณีที่งานดินตัดหรือดินถมไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการทำเชิงลาด มีความนิยมในการใช้งานในทุกสภาพดิน เนื่องจากง่ายต่อการทำงาน และออกแบบ ในกรณีที่เป็นชั้นดินอ่อน เช่น บริเวณภาคกลางหรือภาคใต้บางส่วน จะใช้โครงสร้างกำแพงกันดินที่เป็นเสาเข็มยาว และมีแผ่นกันดินปักลงไปฝังในดิน ในกรณีที่เป็นชั้นดินแข็งหรืองานดินตัดดินถม จะใช้ลักษณะโครงสร้างของกำแพงกันดินที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 4.30 เป็นการก่อสร้างกำแพงกันดินสำหรับงานถนนรูปแบบหนึ่ง

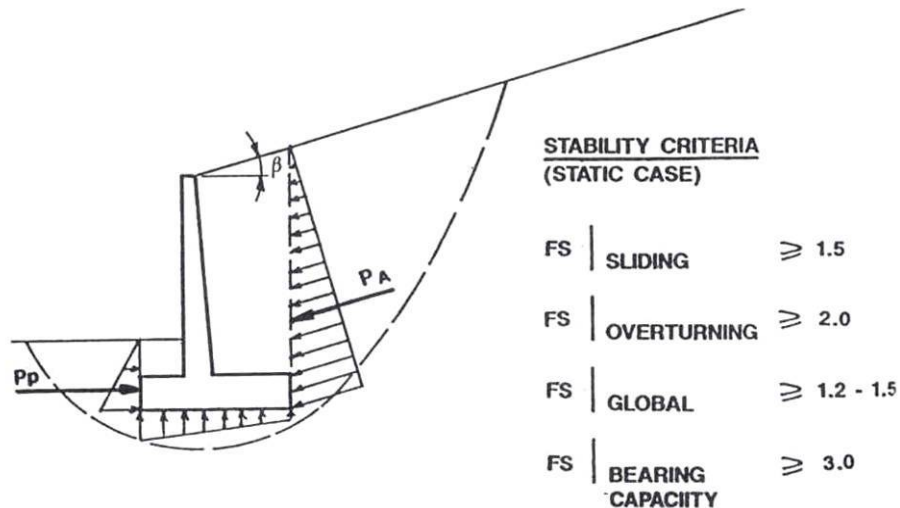


รูปที่ 4.30 แสดงการก่อสร้างกำแพงกันดินบริเวณลาดชันด้านข้างของถนน

การป้องกันการพังทลายของคันทางโดยใช้โครงสร้างกำแพงกันดินนั้น ปกติจะใช้รูปแบบของกำแพงกันดินแบบดั้งเดิม (Conventional retaining wall) ซึ่งใช้มานานแล้วลักษณะดังแสดงในรูป 4.31 ในปัจจุบันนิยมใช้กำแพงกันดินในลักษณะ Cantilever wall หรือกำแพงกันดินในลักษณะที่มีค้ำยันเป็นระยะ (Counterfort wall) เพราะไม่ต้องใช้คอนกรีตปริมาณมากในการก่อสร้าง โครงสร้างกำแพงกันดินส่วนที่รับแรงตัดสามารถใช้การเสริมเหล็กช่วยในการรับแรงตัดที่เกิดขึ้นได้ การออกแบบนั้น นอกจากจะต้องรับแรงดันแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการหมุนล้มลงด้วย ลักษณะของแรงกระทำต่อกำแพงกันดินแสดงดังในรูปที่ 4.32



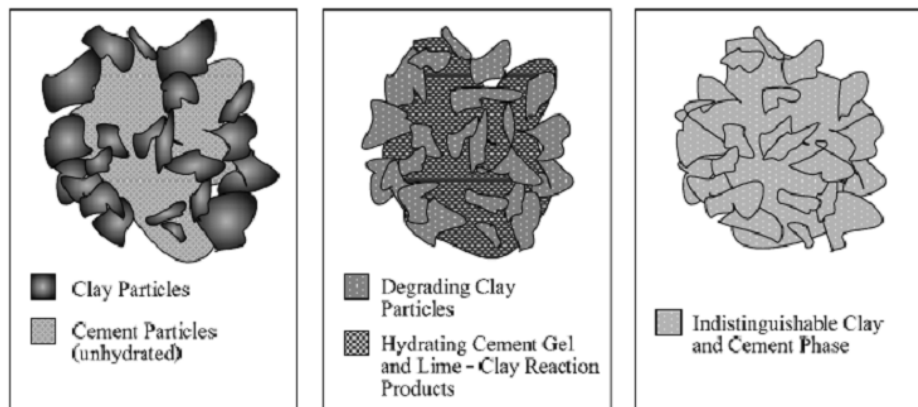
รูปที่ 4.31 กำแพงกันดินแบบ Gravity wall และ Cantilever wall



รูปที่ 4.32 แรงกระทำต่อกำแพงกันดินแบบดั้งเดิม (Abramson, Lee, Sharma and Boyce, 1996)

วิธีที่ 7 การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุอัด

หลักการ เป็นการแก้ไขการบีบตัวของลาดดินโดยการทำให้ดินมีความแข็งแรงสามารถรับแรงเฉือนเพื่อต้านทานการบีบตัวของลาดดินได้โดยวิธีการนี้จะทำให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเปลี่ยนไป โดยเป็นการนำดินในบริเวณก่อสร้างมาผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำกลับไปถม ในขณะบดอัดดินอนุภาคของปูนซีเมนต์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะผสมกับอนุภาคของดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.33ก. หลังจากนั้นภายใต้การบ่มระยะสั้น จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้เกิดซีเมนต์เจล แทรกไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินและแพร่กระจายไปตามอนุภาคของดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.33ข. หลังจากนั้นภายใต้การบ่มระยะยาวจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ทำให้ซีเมนต์เจลแทรกซึมกระจายไปทั่วดินซีเมนต์ ซึ่งทำให้กำลังของดินซีเมนต์สูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.33ค.



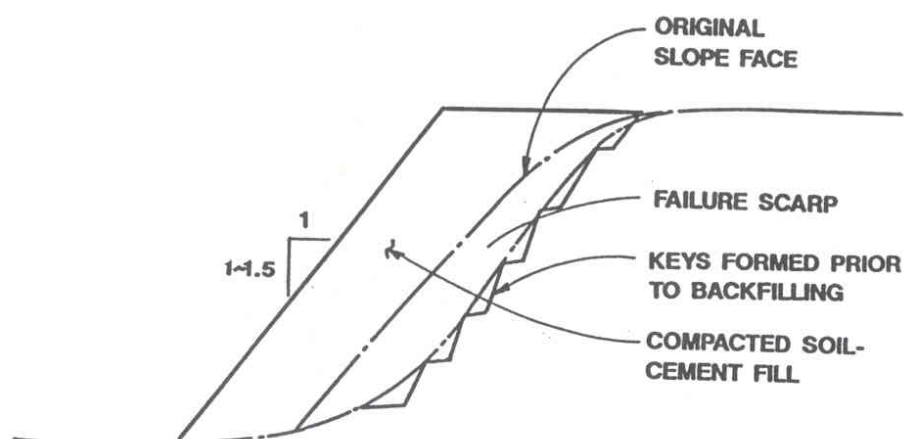
ก) หลังบดอัดเสร็จ

ข) หลังระยะบ่มสั้นๆ

ค) หลังระยะบ่มนานๆ

รูปที่ 4.33 แสดงโครงสร้างของดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (Mitchell and Jack, 1966)

ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงสูงมาก สามารถทำให้มีความลาดชันสูงได้ การใช้ดินซีเมนต์เป็นดินถมคันทางสามารถใช้งานได้ทั้งในกรณีที่ดินทางเกิดการพังทลายเกิดขึ้นแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.34 และทำการซ่อมแซมโดยใช้วัสดุดินผสมซีเมนต์ในส่วนที่ต้องมีการถมบดอัดซ่อมแซมใหม่ทั้งบริเวณไหล่ทางและบริเวณคันทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.35 หรือในกรณีที่มีการก่อสร้างคันทางบดอัดขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุดินผสมซีเมนต์เป็นวัสดุที่ใช้ในการบดอัดก่อสร้างคันทาง ส่วนผสมของดินกับปูนซีเมนต์ต้องอาศัยการทดลอง ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.34 การใช้ดินซีเมนต์ปรับปรุงคันทางที่พังทลาย (Abramson, Lee, Sharma and Boyce, 1996)



รูปที่ 4.35 การก่อสร้างคันทางบดอัดด้วยดินซีเมนต์

ดิเรก ลาวัณย์ศิริ (2540) ได้ทำการแบ่งประเภทของดินที่ปรับปรุงซีเมนต์ ซึ่งมักจะประกอบด้วยดิน ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และน้ำ ไว้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Soil-Cement การปรับปรุงด้วยวิธีนี้จะต้องมีปริมาณซีเมนต์ที่เพียงพอที่จะไปทำให้ดินแข็งและความชื้นต้องมีปริมาณที่เหมาะสมในการทำการบดอัดและเกิดปฏิกิริยากับซีเมนต์ Soil-Cement มักจะถูกนำไปใช้ทำเป็นชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางในบริเวณที่จอดรถ ถนนทางวิ่งเครื่องบิน และฐานรากของสิ่งก่อสร้างใหญ่ Soil-Cement นี้ไม่ใช่ทำเป็นผิวทางเพราะมีความต้านทานต่อการขีดสีน้อย จึงต้องมีวัสดุอื่นทับหน้าแทน เพื่อป้องกันการขีดสีของขูดยาน

2. Cement-Modified Soil ดินบางประเภทเมื่อทำการปรับปรุงด้วยซีเมนต์จะไม่เป็นการประหยัด เช่น ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ทำการปรับปรุงดินเหนียว ดังนั้นเพื่อจะให้เกิดการประหยัด จึงมักเติมซีเมนต์ในปริมาณเพียงพอที่ทำให้คุณสมบัติของดินที่จะทำเป็นชั้นรองพื้นทาง และก็เช่นเดียวกันกับกรณี Aggregate มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานและมีสภาพพลาสติกสูงและค่ากำลังรับแรงกดต่ำก็สามารถใช้ทำเป็นวัสดุก่อสร้างถนนได้ เมื่อมีการเติมซีเมนต์พอสมควรในการปรับปรุงคุณสมบัติของมัน ปริมาณซีเมนต์ที่เติมเข้าไปไม่เพียงพอที่จะทำให้ดินแข็งพอที่จะเป็น Soil-Cement แต่ซีเมนต์ที่เติมเข้าไป มีจุดประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน โดยทั่วไปดินที่ถูกเลือกไปใช้ในการปรับปรุงจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงและมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ง่าย เพราะว่าดินพวกนี้นำไปใช้งานได้ต่ำและเปลี่ยนสภาพพลาสติกไปตามสภาพอากาศ

3. Plastic Soil-Cement มีลักษณะคล้ายๆกับ Soil-Cement ตรงที่มีความสามารถในการรับความทนทานและความเสถียรภาพตามเกณฑ์กำหนดเหมือนกัน แต่แตกต่างตรงที่ Soil-Cement จะใช้ความชื้นที่เพียงพอต่อการบดอัดและการเกิดปฏิกิริยากับซีเมนต์ ในขณะที่น้ำที่ใช้ใน Plastic Soil-Cement จะต้องมีความมากกว่าเพื่อที่จะสามารถใช้เทลงในแบบหล่อสิ่งก่อสร้าง Plastic Soil-Cement มักจะนำไปใช้ทำวัสดุป้องกันการกัดกร่อนในเส้นทางที่ชัน ทำ

ผิวหน้าคลอง เขื่อน เป็นต้น โดยทั่วไป Plastic Soil-Cement จะต้องการซีเมนต์มากกว่า Soil-Cement ประมาณ 4% เพื่อให้ได้คุณสมบัติเหมือนกัน

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2539) กล่าวว่า การพัฒนา กำลังรับแรงอัดของ Soil-Cement เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration เป็นหลัก ปฏิกิริยา Cement Hydration ที่เกิดใน Soil-Cement ลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยา Cement Hydration ที่เกิดในคอนกรีต กล่าวคือเมื่ออนุภาคซีเมนต์สัมผัสกับน้ำ ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า Cement Hydration ผลของปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว จะก่อให้เกิดสาร Calcium Silicate Hydrate (CSH) Calcium Aluminates Hydrate (CAH) และ Calcium Hydroxide $[Ca(OH)_2]$ สาร CSH และ CAH จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึด โดยสามารถเกาะยึดมวลเม็ดดินเข้าด้วยกันทำให้รวมตัวกันเป็นมวลดินขนาดใหญ่ที่มีความแข็งแรงสูง

สำหรับหลักการออกแบบ Soil-Cement ในประเทศไทย กรมทางหลวงได้ยึดเอาค่า Unconfined Compressive Strength ของ Soil-Cement ที่อายุ 7 วัน จะต้องมามีค่าไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ประมาณ 18 ksc) ซึ่งเป็นข้อแนะนำของ Transport and Road Research Laboratory (TRRL)

ข้อสังเกต จุฑา สุนิตย์สกุลและคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมสำหรับวัสดุที่ใช้ในงานทางด้วยซีเมนต์ พบว่าความหนาแน่นของวัสดุผสมซีเมนต์มีอิทธิพลต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัดไม่มาก การทดสอบค่า CBR สามารถใช้ในการทำนายค่ากำลังต้านทานแรงอัดของวัสดุงานทางที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยซีเมนต์ได้ และค่าอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณซีเมนต์ส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดเช่นเดียวกับกับคอนกรีต และค่าอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณซีเมนต์ที่ต่ำเกินไปส่งผลให้กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าต่ำอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

วิธีที่ 8 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากคันทาง

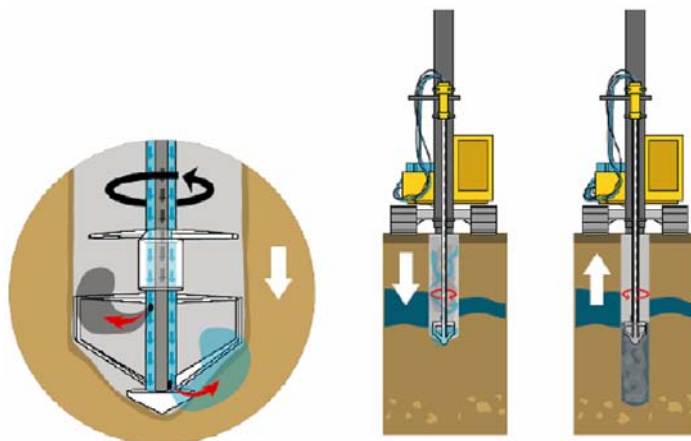
หลักการ เสาเข็มดินซีเมนต์ (Cement Column) ใช้หลักการเกิดปฏิกิริยาเคมีปรับปรุงคุณภาพดินเช่นเดียวกับการใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด แตกต่างที่จุดประสงค์การใช้งาน ลักษณะคล้ายคลึงกับเสาเข็มเพื่อช่วยรับน้ำหนักคันทางและน้ำหนักบรรทุก และกระจายลงสู่ชั้นดินแข็งด้านล่าง ซึ่งอาจผสมเต็มทั้งพื้นที่หรือผสมเป็นจุดๆ เหมือนกับการเจาะเสาเข็มคอนกรีต ปูพรม วัตถุประสงค์ของการทำเสาเข็มดินซีเมนต์รองรับคันทางถนน เพื่อลดปริมาณการทรุดตัว

และป้องกันปัญหาเสถียรภาพของคันทางบริเวณเชิงลาด การทำเสาเข็มดินซีเมนต์จะทำให้ดินฐานรากแข็งตัวและมีกำลังสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แสดงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเสาเข็มซีเมนต์

วิธีนี้ใช้สำหรับดินเหนียวและทรายแป้งไม่เหมาะสำหรับทราย คัดค้นขึ้นโดยวิศวกรชาวสวีเดน กระทำโดยใช้สว่านหมุนลงไปในดินและฉีดน้ำปูนลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.37 วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์หลังจากผสมกว่าจะรับน้ำหนักได้ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินอยู่ในช่วง 125-200 กก./ลบ.ม.ดิน ค่า Unconfined Compressive Strength ของเสาเข็มดินซีเมนต์จะอยู่ในช่วง 5-10 กก./ตร.ซม. ในการทำไม่ต้องใช้ทรายและหินผสมเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้กำลังรับแรงสูงเช่นคอนกรีต จึงลดปัญหาการขนส่งวัสดุ ราคาค่าก่อสร้าง และหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดจากเสาเข็มคอนกรีตแทงทะลุดินถมขึ้นมาในภายหลัง เนื่องจาก Modulus of Elasticity ไม่แข็งตัวเท่ากับเสาเข็มคอนกรีต



รูปที่ 4.37 การทำเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาด

วิธีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เสริมกำลังในดินฐานรากจะเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างคันทางบดอัดขึ้นใหม่ เพราะการปฏิบัติงานจะมีเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ใช้ในการผสมดินกับซีเมนต์ในดินฐานรากด้านล่าง ซึ่งหากใช้ในงานซ่อมแซมเป็นระยะทางสั้นๆ การขนย้ายเครื่องจักรขนาดใหญ่จะทำให้งบประมาณในการซ่อมแซมมีราคาสูงโดยไม่จำเป็น รายละเอียดของการปรับปรุงคุณภาพดินทั้งสองรูปแบบมีดังต่อไปนี้

วิธีการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์สามารถจำแนกออกได้ตามวิธีการก่อสร้างเป็น 2 แบบ คือ

1. แบบ Wet Mixing หรือ Rotary Mixing Low Pressure (ผสมเปียก)
2. แบบ Dry Mixing (ผสมแห้ง)

ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แบบ Wet Mixing หรือ Rotary Mixing Low Pressure (ผสมเปียก) วิธีนี้ใช้หลักการปรับปรุงคุณสมบัติดินอ่อนตลอดชั้นความหนา ด้วยการฉีดสารผสมซึ่งเป็นน้ำปูนซีเมนต์ลงไปผสมกับดินและทำการตีกวนผสมเพื่อให้ดินและปูนซีเมนต์เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องทำเสาเข็มเจาะเพื่อเจาะดินลงไปฉีดน้ำปูนและตีกวนผสมที่ความลึกต่างๆ ด้วยใบมีดที่มีลักษณะเฉพาะและขนาดช่องฉีดน้ำปูนที่เหมาะสม โดยไม่มีการเจาะดินขึ้นมาจากหลุมเหมือนงานเข็มเจาะ ดังแสดงในรูปที่ 4.38 และเครื่องอัดน้ำปูนในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.38 เครื่องจักรในการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ระบบเปียก



รูปที่ 4.39 เครื่องอัดน้ำปูนเพื่อลำเลียงเข้าไปผสมกับดิน

โดยการผสมจะผสมติกวณอยู่กับที่หลุมเจาะจึงไม่มีปัญหาพังทลายหรือคอดกั้ว ขนาดของเสาเข็มดินซีเมนต์จะเท่ากับขนาดความกว้างของไบมิดติกวณ Cement Slurry จากการผสมซีเมนต์ผงกับน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้มีสภาพความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการทำงานหากเข้มข้นเกินไปจะเกิดปัญหาอุดตันง่ายหรือเหลวเกินไปทำให้ได้กำลังต่ำ โดยปกติอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่ใช้คือ 0.6-1.0 การผสมน้ำปูนจะต้องทำอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เพียงพอสำหรับการเจาะทำเสาเข็มดินซีเมนต์แต่ละครั้งไม่ขาดตอนด้วยความดันที่ไม่สูงมาก (น้อยกว่า 5 บาร์)

ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีตามต้องการในการก่อสร้าง จึงต้องควบคุมตัวแปรหลัก ได้แก่ อัตราการฉีดน้ำปูน (ลิตรต่อนาที) สัดส่วนในการผสมน้ำปูน ความเร็วในการเจาะขึ้นและเจาะลง (เมตรต่อนาที) ความเร็วในการหมุนของก้านเจาะ (น้อยกว่า 50 รอบต่อนาที) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมปริมาณสารผสมที่ฉีดลงในดิน และจำนวนครั้งของการติกวณดินในแต่ละชั้นความลึก ดังนั้นในการเจาะทำเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีความลึกหนึ่ง ๆ ระยะเวลาที่ใช้จะกำหนดโดยความเร็วในการเคลื่อนก้านเจาะขึ้นลงและความเร็วรอบในการหมุนของไบมิดติกวณดินที่เหมาะสม เพื่อให้การผสมเข้ากันดี (โดยเฉลี่ยประมาณ 0.5-1.0 เมตรต่อนาที)

2. แบบ Dry Mix (ผสมแห้ง) วิธีนี้ต่างกับแบบผสมเปียกที่สถานะของสารผสมคือใช้ผงซีเมนต์ลงไปผสมกับชั้นดินที่ต้องการปรับปรุง ฉีดพ่นด้วยความดันสูงประมาณ 5 บาร์ และผสมติกวณให้เข้ากันด้วยไบมิดผสมที่ได้ออกแบบมาโดยเฉพาะ เทคนิคนี้เหมาะสำหรับดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำ มีปริมาณน้ำในมวลดินสูง เครื่องจักรในการทำระบบผสมแห้งแสดงในรูปที่ 4.40

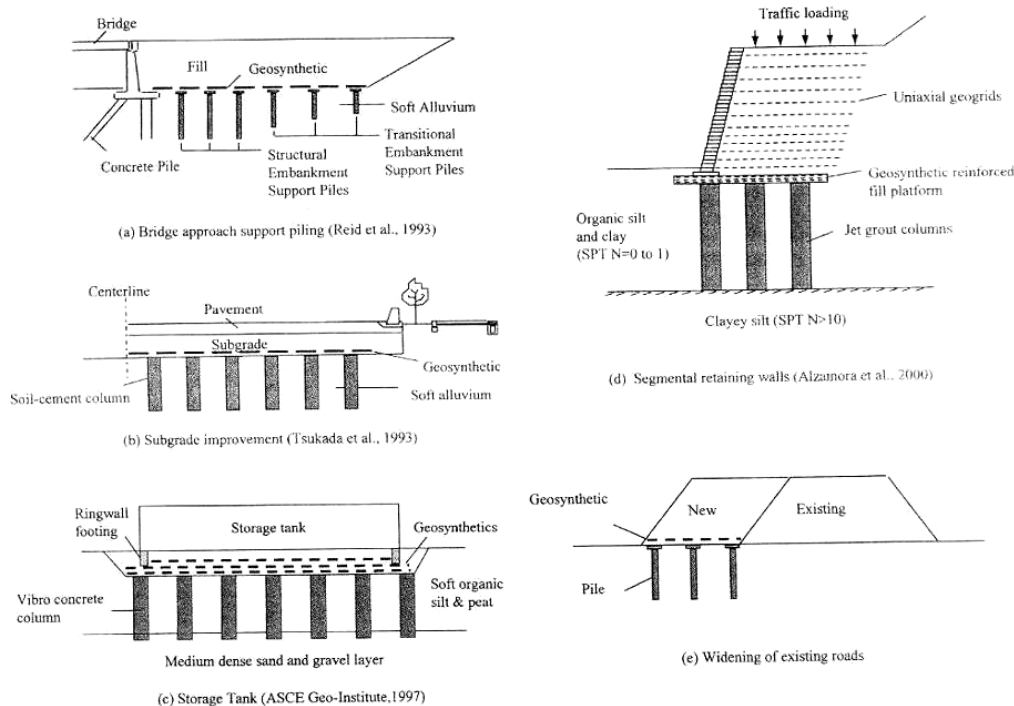


รูปที่ 4.40 เครื่องจักรในการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ระบบผสมแห้ง

การควบคุมคุณภาพของเสาเข็มดินซีเมนต์ให้มีคุณภาพมาตรฐาน ควรจะมีการพิจารณาองค์ประกอบบางประการต่อไปนี้

1. ชนิดของดินที่ทำการปรับปรุง แร่ธาตุ องค์ประกอบในดิน ความชื้น และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในการเลือกสารผสม
2. ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้จะต้องสัมพันธ์กับระบบการปรับปรุงดิน และชนิดของดิน
3. ชนิดของใบกวนผสมต้องเหมาะสมที่จะผสมดินให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับซีเมนต์
4. การหมุนและอัตราการดึงขึ้นของหัวเจาะที่เหมาะสม
5. แรงดันของสารละลายซีเมนต์หรือผงซีเมนต์

การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพฐานรากของคันทางสำหรับรับคันทางถนน ทางรถไฟ หรือในงานดินซุด เริ่มต้นในประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ในประเทศญี่ปุ่น ก็มีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ซึ่งเรียกว่า DMM (Deep Mixing Method) อย่างแพร่หลาย แต่ใช้ในลักษณะของการเพิ่มเสถียรภาพของคันดินเป็นส่วนใหญ่ เสาเข็มดินซีเมนต์เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการผสมน้ำปูน หรือปูนซีเมนต์ผงเข้ากับดิน ทำให้ดินแข็งขึ้นเกิดเป็นรูปของเสา (Column) มีลักษณะเช่นเดียวกับเสาเข็ม ทำหน้าที่ช่วยรับน้ำหนักของคันทาง ช่วยลดการทรุดตัวของคันทางและช่วยเสริมความแข็งแรงของลาดคันทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.41 ซึ่งเป็นการเสริมเสถียรภาพของลาดดินด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์

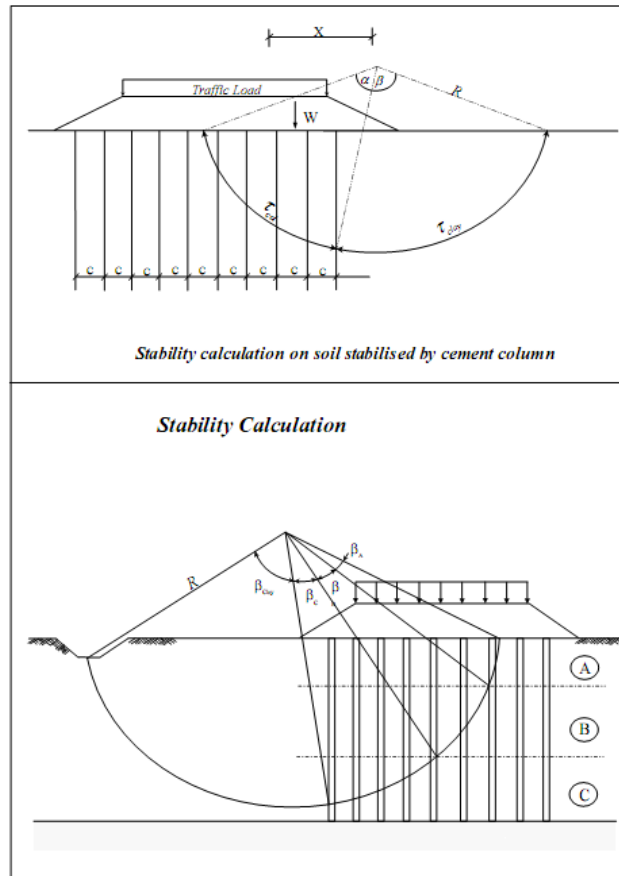


รูปที่ 4.41 การปรับปรุงคุณภาพดินโดยเสาะเข็มดินซีเมนต์

การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดคันทางที่รองรับด้วยเสาะเข็มดินซีเมนต์มีข้อสมมุติฐานว่า ไม่มีการเคลื่อนตัวของดินและเสาะเข็มดินซีเมนต์ ดินและเสาะเข็มดินซีเมนต์จะรับแรงเฉือนร่วมกันโดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงเฉือนของดิน และเสาะเข็มดินซีเมนต์ตามสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดของเสาะเข็มดินซีเมนต์ต่อพื้นที่ทั้งหมด (Area ratio) ดังแสดงในรูปที่ 4.42

ข้อสังเกต สติชัยพงษ์ อภิเมธีธำรงและคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของถนนบนดินอ่อนในระหว่างการก่อสร้าง ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเสาะเข็มดินซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 3117 คลองด่าน – บางบ่อ ได้ใช้เสาะเข็มดินซีเมนต์ ที่ กม.3+200 – 3+800 และ กม. 5+700 – 6+950 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ระยะห่าง 1.50 เมตร ยาว 14.00 เมตร คันทางสูง 1.50 เมตรจากระดับดินเดิมเสาะเข็มดินซีเมนต์ช่วยในการเสริมเสถียรภาพของคันทาง และในขณะเดียวกันก็ช่วยลดการทรุดตัวของคันทาง และการออกแบบเสาะเข็มดินซีเมนต์ในปัจจุบัน แม้ว่าการวิเคราะห์คำนวณจะบ่งบอกได้ว่าคันทางปลอดภัยจากการพังทลาย แต่ในการก่อสร้างจริง บางโครงการกลับเกิดความเสียหายจากการพังทลายของคันดิน สาเหตุประการหนึ่งเนื่องจากเกิดการพังทลายในลักษณะ Progressive Failure ซึ่งเกิดจากเสาะเข็มดินซีเมนต์มีค่า Failure Strain ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวอ่อนที่อยู่โดยรอบที่มีค่า Failure Strain สูง

กว่าทำให้ค่า Mobilize Peak Strength ของเสาเข็มดินซีเมนต์และดินเหนียว เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน



รูปที่ 4.42 การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดคันทางในกรณีที่มีเสาเข็มดินซีเมนต์

4.2. การรักษาเสถียรภาพของเชิงลาด

เชิงลาดที่ถูกตากแดดเป็นเวลานานผิวลาดดินจะเกิดการแห้งแตกกระแหว่ง ง่ายต่อการถูกน้ำไหลกัดเซาะ ความเสี่ยงต่อการพังทลายจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในแต่ละปี ดังนั้นมาตรการที่สำคัญในการดูแลรักษาเสถียรภาพของลาดดินที่ควรมี 7 มาตรการ คือ

1. ทำการตัดปรับปรุงลาดดินให้ได้ตามเกณฑ์กำหนดตั้งแต่เริ่มแรก
2. ลดปริมาณการแตกกระแหว่งของผิวดินและการกัดเซาะของน้ำ ด้วยการปลูกหญ้าหรือใช้ตาข่ายหรือแผ่นวัสดุสังเคราะห์คลุม
3. จัดทำระบบควบคุมน้ำหลากจากพื้นที่ข้างเคียงลงบ่อ เพื่อป้องกันน้ำหลากในช่วงฝนตกหนักไหลกัดเซาะผิวลาดดินเป็นช่องลึก อันอาจนำไปสู่การพังทลายของลาดดิน
4. จัดสร้างระบบสกัดและระบายน้ำ เพื่อรักษาลาดดินให้แห้งอยู่ตลอดเวลา โดยวางท่อระบายน้ำเพื่อใช้เป็นทางระบายน้ำออกจากลาดดิน ท่อระบายน้ำนี้ต้องออกแบบและก่อสร้าง

อย่างระมัดระวังให้เป็นระบบที่ไม่มีน้ำรั่ว เพราะไม่เช่นนั้นจุดที่น้ำรั่วจะเป็นอันตรายกับลาดดินได้ จุดของท่อระบายน้ำควรห่างลาดดินให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ยิ่งเข้าใกล้ลาดดินความเสี่ยงต่อการพังทลายของลาดดินในกรณีน้ำรั่วก็จะเพิ่มมากขึ้น

5. รักษาระดับน้ำฝั่งลาดดินให้สูงไว้เสมอ

6. ควบคุมตำแหน่งการกองของหรือวัสดุ และการใช้เครื่องจักรหนัก บริเวณใกล้ลาดดินอย่างเคร่งครัดตลอดเวลา

7. หมั่นตรวจหารอยแตกตามแนวยาวบนผิวบดอย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาก่อนหน้าและระหว่างฤดูฝน เมื่อพบต้องทำการแก้ไข (ถมดินและปิดหน้าด้วยวัสดุเหมือนผิวเดิม) เพื่อป้องกันมิให้น้ำไหลซึมลงไป ทำให้เกิดแรงผลักและดินอ่อนตัวหรือไม่ก็ทำการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธีอื่น รอยแตกตามแนวยาวเกิดเมื่อลาดดินมีเสถียรภาพต่ำจึงเกิดเคลื่อนตัว เป็นตัวบ่งถึงปัญหาเสถียรภาพที่กำลังจะเกิดขึ้น

การวิเคราะห์ความรุนแรงและรูปแบบการแก้ไขปัญห (ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์)

เนื้อหาในบทนี้จะพูดถึง หลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ เพื่อจะนำไปสู่การวิเคราะห์ความรุนแรงและรูปแบบการแก้ไขปัญหของคันทางที่ก่อสร้างเสียบคันคลอง โดยการใช้ออฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์และวิธีการเตรียมข้อมูล รวมทั้งตัวอย่างการคำนวณสำหรับวิธีการแก้ไขปัญหทั้ง 8 วิธี

การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางควรคำนึงถึง 2 ประเด็น ได้แก่

1. เสถียรภาพของคันทาง

เป็นการวิเคราะห์ถึงค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of safety) ของคันทางในลักษณะของการวิบัติแบบต่าง ๆ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ในปัจจุบันมีหลายวิธี อาทิเช่น Limit Equilibrium, Finite Element และ Limit Analysis เป็นต้น

2. การเสีรูปของคันทาง

ในการก่อสร้างคันทางบนดินอ่อนนั้นสิ่งที่มีความจำเป็นไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าเสถียรภาพของคันทางคือการวิเคราะห์การเสีรูปของคันทาง คันทางจะต้องมีการเสีรูปไม่มากเกินไปจนไม่สามารถใช้งานได้ (Servicibility of embankment)

การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง จะมีวิธีการวิเคราะห์อยู่ 2 วิธี คือ

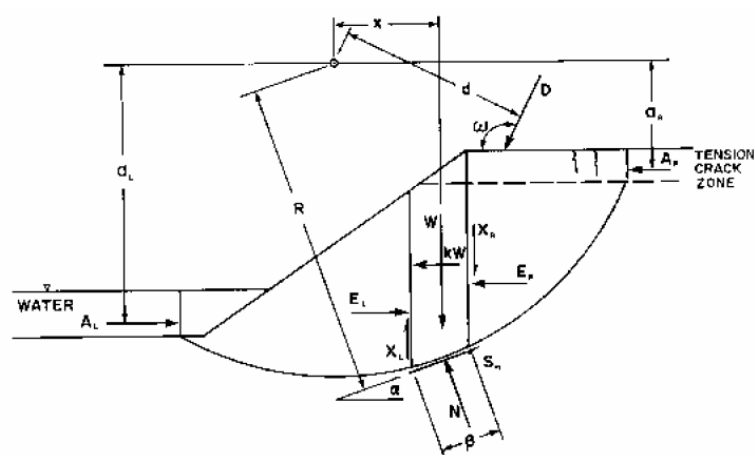
1. วิธี Limit Equilibrium

2. วิธีไฟไนท์อีลิเมนต์

ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วิธี Limit Equilibrium

เป็นวิธีที่มีการตั้งสมมุติฐานรูปร่างของการวิบัติ อาทิเช่น การวิบัติเป็นรูปวงกลม (Circular failure) แบบเป็นก้อน (Block Failure) ดังนั้นในการวิเคราะห์จะต้องคำนึงถึงลักษณะของการวิบัติให้ครบถ้วน การหาอัตราส่วนความปลอดภัยของวิธี Limit Equilibrium ในปัจจุบันมีหลายวิธีโดยจะพิจารณาอัตราส่วนความปลอดภัยใน 2 กรณีคือ อัตราส่วนความปลอดภัยทางด้านโมเมนต์ (Moment) อัตราส่วนความปลอดภัยในด้านสมดุลย์แรง (Force Equilibrium) โดยมีสมมุติฐานของการคำนวณหาแรงเฉือน (Interslice Shear, X) และแรงตั้งฉาก (Interslice Normal, E) ระหว่างส่วนของดินที่มีการแบ่งดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงหลักการของวิธี Limit Equilibrium

ในแต่ละวิธีวิเคราะห์จะมีการตั้งสมมุติฐานแตกต่างกันไปดังนั้นจึงควรใช้วิธีในการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงในทุกๆ ส่วน เช่นควรจะเป็นวิธีที่คำนวณหาอัตราส่วนความปลอดภัยทั้งด้านโมเมนต์และการสมดุลแรง โดยคำนึงถึงทั้งแรงกระทำในแต่ละชั้นส่วนที่แบ่ง เช่นวิธีของ Mogenstern-Price เป็นต้น การหาอัตราส่วนความปลอดภัยจะต้องใช้วิธีที่แตกต่างกันอย่างน้อยสองวิธีเพื่อเปรียบเทียบกันและใช้อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำที่สุดในการออกแบบ วิธีต่างๆในการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Limit Equilibrium แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงสรุปวิธีการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Limit Equilibrium (Krahn, 2003)

Method	Moment equilibrium	Horizontal force equilibrium	Interslice normal (E)	Interslice shear (X)	Inclination of X/E resultant
Ordinary or Fellenius	Yes	No	No	No	No force
Bishop's simplified	Yes	No	Yes	No	Horizontal
Janbu's simplified	No	Yes	Yes	No	Horizontal
Spencer	Yes	Yes	Yes	Yes	Constant
Morgenstern-Price	Yes	Yes	Yes	Yes	Variable
Corps of Engineers - 1	No	Yes	Yes	Yes	Inclination of a line from crest to toe
Corps of Engineers - 2	No	Yes	Yes	Yes	Slice top ground surface inclination
Lowe-Karafiath	No	Yes	Yes	Yes	Average of ground surface slope and slice base inclination

2. วิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ (Griffiths and Lane, 2001)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่มีข้อจำกัดของการสมมุติลักษณะของการวิบัติ (Mode of failure) เหมือนการวิเคราะห์ด้วยวิธี Limit Equilibrium วิธีดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยจากการใช้วิธีการลดลงของพารามิเตอร์ที่กำหนดค่าของจุดคราก (Reduction of yield function) ถ้าหากใช้แบบจำลองที่ใช้การกำหนดฟังก์ชันคราก (Yield Function) โดยใช้ Mohr Coulomb Failure Criterion จะใช้การลดลงของค่า C และ ϕ ดังสมการด้านล่าง

$$c_n = \frac{c}{FS}$$

$$\phi_n = \text{Arc tan} \frac{(\tan \phi)}{FS}$$

เมื่อ C_n และ ϕ_n คือค่าที่ใช้ในการคำนวณ

การวิเคราะห์จะค่อยๆเพิ่มค่าอัตราส่วนความปลอดภัยขึ้น จนกระทั่งมีการเสียรูปที่สูงมากจนกำหนดเป็นจุดที่วิบัติ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยค่าดังกล่าวจะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงเสถียรภาพของคันทาง

5.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เป็นวิธีการหาคำตอบเชิงตัวเลขที่ใช้หาผลลัพธ์โดยประมาณ โดยการแบ่งรูปร่างของขอบเขตปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆที่เรียกว่า อีลิเมนต์ (Element) แล้วสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของแต่ละอีลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้น อีลิเมนต์ต่างๆจะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาค่าตัวแปรตามที่ต้องการ

สมการสมดุลตามวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ เขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

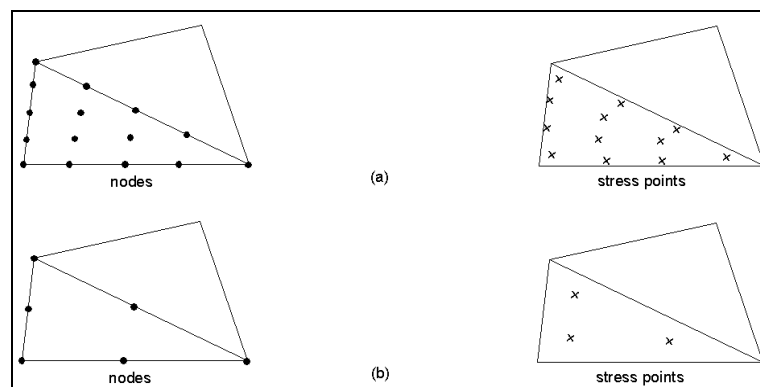
$$\{\sigma'_n\} = [M]\{\mathcal{E}\}$$

โดยที่ σ'_n = ความเค้นที่กระทำ

M = Stiffness Matrix

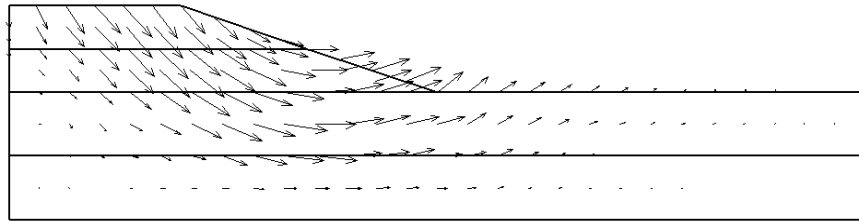
$\mathcal{E}$ = Vector ของความเครียด

ลักษณะของอีลิเมนต์มีทั้งที่เป็นสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม สำหรับในโครงการศึกษานี้ใช้อีลิเมนต์ที่เป็นรูปสามเหลี่ยมในการวิเคราะห์ โดยมีจำนวนจุดต่อ 15 จุด ใน 1 อีลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.2

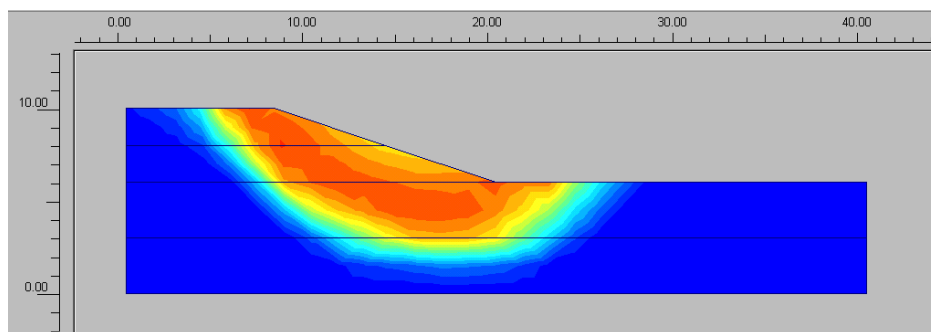


รูปที่ 5.2 อีลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมที่ใช้ในการวิเคราะห์ (a) 15 จุด (b) 6 จุด

ผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์สามารถแสดงในรูปของปริมาณและทิศทางการเคลื่อนตัวของถนนดินถมในแต่ละรูปแบบของน้ำหนักระทำที่ต้องการวิเคราะห์ หรือแสดงในรูปของบริเวณที่มีแนวโน้มที่จะมีการเคลื่อนพังและค่าเสถียรภาพของถนนดินถมที่ได้ทำการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูป 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 ปริมาณและทิศทางการเคลื่อนตัวของถนนที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 5.4 บริเวณที่มีแนวโน้มจะเกิดการเคลื่อนพัง

5.2 หลักการการวิเคราะห์ถนนเลียบคันคลองด้วยโปรแกรม PLAXIS

ในขั้นตอนของการสร้างรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนการวิเคราะห์ผล ที่ปรึกษาใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PLAXIS เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element) ที่ใช้จำลองและวิเคราะห์ปัญหาทางธรณีเทคนิคที่เป็นที่นิยมใช้กันและยอมรับในปัจจุบัน สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินถมและดินฐานรากที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลาดชันและน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำ โดยการจำลองรูปแบบของปัญหาและให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วกำหนดน้ำหนักที่กระทำต่อแบบจำลอง จากนั้นก็จะให้โปรแกรมทำการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยสามารถแสดงเป็นตารางและกราฟฟิกของแรง การทรุดตัว การเคลื่อนตัวของดิน และสามารถเลือกพิจารณาแนวแรงได้ตามต้องการ

สำหรับปัญหาเสถียรภาพของถนนเลียบคันคลองและถนนที่มีความลาดชันมากกว่าปกติในเขตพื้นที่ดินอ่อนที่ทำการศึกษานี้ รูปแบบของปัญหาทำการจำลองในลักษณะของแบบจำลองสองมิติ ขอบเขตของแบบจำลองทางด้านข้างกำหนดให้กว้างพอโดยไม่มีผลกระทบต่อขอบเขตการพังทลายที่เป็นไปได้และความลึกของชั้นดินต้องมีความลึกมากกว่าชั้นดินอ่อน ซึ่งการพังทลายจะไม่เลยชั้นดินอ่อนลงไป ทางด้านคุณสมบัติของชั้นดินใช้ลักษณะแบบ Mohr-Coulomb เพื่อให้ง่ายต่อการนำคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินด้วยวิธีที่ไม่ยุ่งยากนัก และกำหนดคุณสมบัติของดินเป็นแบบไม่ระบายน้ำเพื่อจำลองพฤติกรรมจริงของดินเหนียวและคันทางบดอัดที่มีคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านมีค่าต่ำ ผลการวิเคราะห์แสดงถึงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของถนนรวมถึงการเคลื่อนตัวของถนนเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำและระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์จะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นเป็นหลัก หากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่ามากกว่า 1.5 แสดงว่าคันทางหรือถนนที่กำลังพิจารณามีความปลอดภัยเพียงพอ และหากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่า 1.5 จะต้องมีการพิจารณาเลือกวิธีการในการปรับปรุงเสถียรภาพด้วยวิธีการต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยใหม่จนกว่าจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่มากกว่า 1.5

ลักษณะและความสามารถโดยทั่วไปของโปรแกรม PLAXIS (ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง) มีดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบไฟไนต์อีลิเมนต์
2. สามารถกำหนดชั้นดินที่แตกต่างกันได้หลายชั้น (Multi-layered soil)
3. สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของความดันน้ำ ได้ โดยกำหนดให้อยู่ในรูปของ Pore Water Pressure Ratio(r_u) และ Phreatic Surface
4. สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากแผ่นดินไหวในแนวตั้งและแนวนอนได้ (Vertical and Horizontal seismic acceleration)
5. สามารถหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยได้โดยอัตโนมัติ
6. สามารถหาปริมาณการเคลื่อนตัวของคันทางทั้งในแนวตั้งและแนวนอน
7. สามารถหาค่าแรงดันน้ำในมวลดินที่เกิดขึ้น
8. มี User Interface ที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน
9. สามารถใช้งานได้บนหลายๆ Platform เช่น Windows 98, Windows xp

การพังทลายของเชิงลาดส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Rotational Failure รอยเลื่อนเกิดตามแนวเส้นโค้ง ซึ่งประมาณใกล้เคียงกับโค้งวงกลม วิธีวิเคราะห์มีอยู่หลายวิธีแล้วแต่จะเลือกตามความเหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถช่วยการคำนวณให้รวดเร็ว ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ผลของแรงกระทำภายนอกอื่นๆต่อเสถียรภาพของลาดดินกำลังของดินในการวิเคราะห์ ปกติจะใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear

Strength) ที่ได้จากการเจาะสำรวจคุณสมบัติของชั้นดินและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ หรือ การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Test) ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินอ่อน โดยปกติกำหนดที่ 1.5 เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ของดินซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายได้เช่นกัน หรือเพิ่มขึ้นตามความเหมาะสมการใช้งานและวัตถุประสงค์การใช้งาน คันทางบดอัดจะมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำในลำคลองด้านข้างมีระดับสูง ดังนั้นถนนคันทางจึงมีแรงต้านจากระดับน้ำดังกล่าว แต่ในทางกลับกันถ้าระดับน้ำในลำคลองด้านข้างมีระดับต่ำลงมาก เสถียรภาพลาดดินก็จะน้อยลงและอาจก่อให้เกิดปัญหาตามมาได้

หลักการการวิเคราะห์เสถียรภาพของถนนเลียบคันคลองโดยโปรแกรม PLAXIS มีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การสร้างแบบจำลอง
2. การกำหนดค่าการวิเคราะห์ หรือค่าพารามิเตอร์
3. การแปลผลการวิเคราะห์

5.2.1 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลอง เป็นการจำลองสภาพหน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้างรวมถึงคุณสมบัติของดินคันทาง และชั้นดินจากข้อมูลทำการสำรวจเข้าไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามรูปแบบและวิธีการเพื่อเป็นข้อมูลให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์สภาพปัญหา

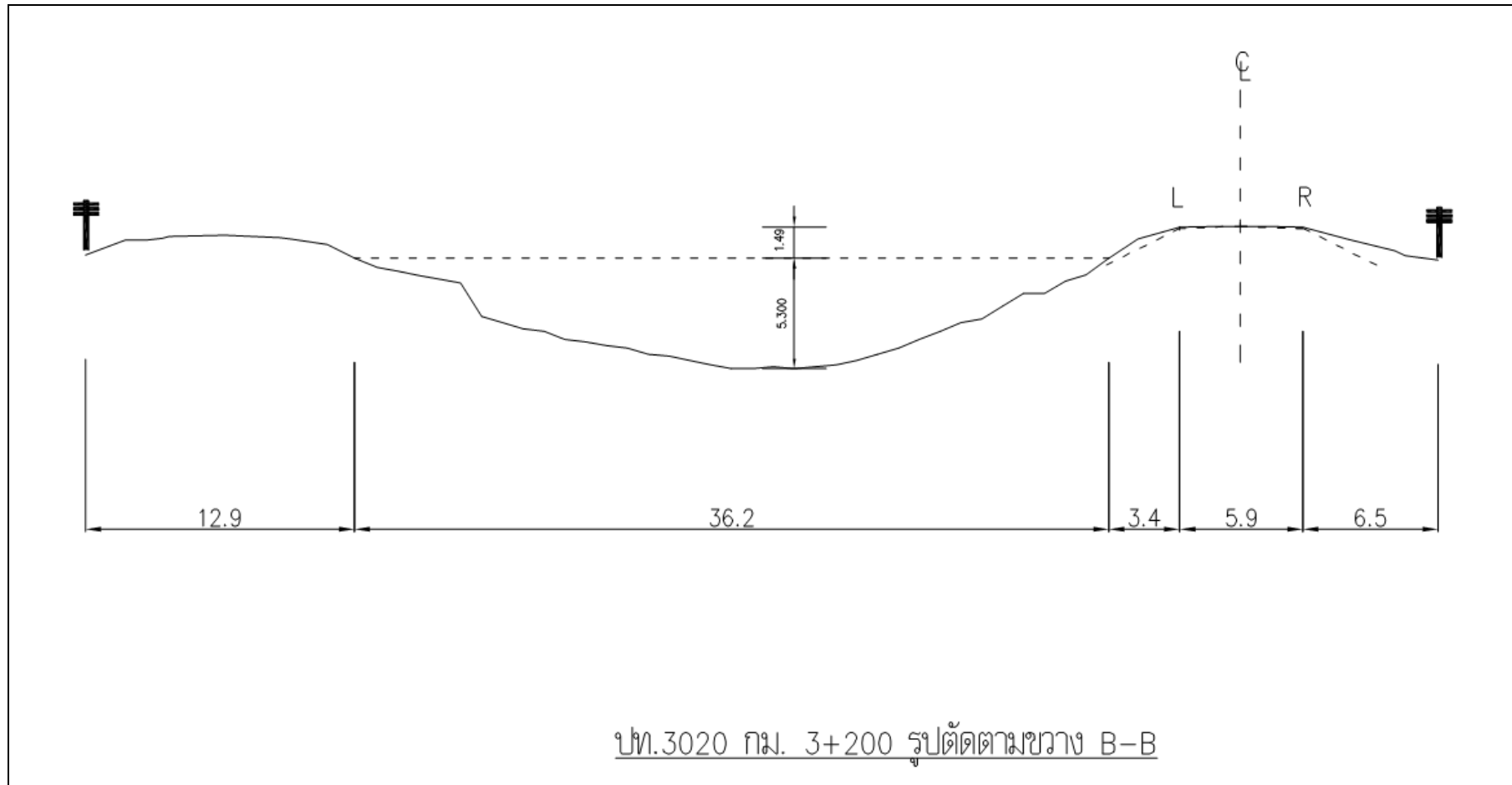
สำหรับโปรแกรม PLAXIS การสร้างแบบจำลองเริ่มด้วยการนำหน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้างมากำหนดพิกัดในระบบแกน X และแกน Y (XY Coordination) ซึ่งเป็นระบบแบบจำลองสองมิติ (Two Dimensional Model) ดังแสดงในรูปที่ 5.5 ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยอีก 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1 การกำหนดพิกัดในหน้าตัดคันทาง
- 2 การใส่คุณสมบัติชั้นดิน
- 3 การแบ่งชั้นดินเป็นอีลิเมนต์ย่อยๆ
- 4 การสร้างสภาพชั้นดินก่อนการวิเคราะห์

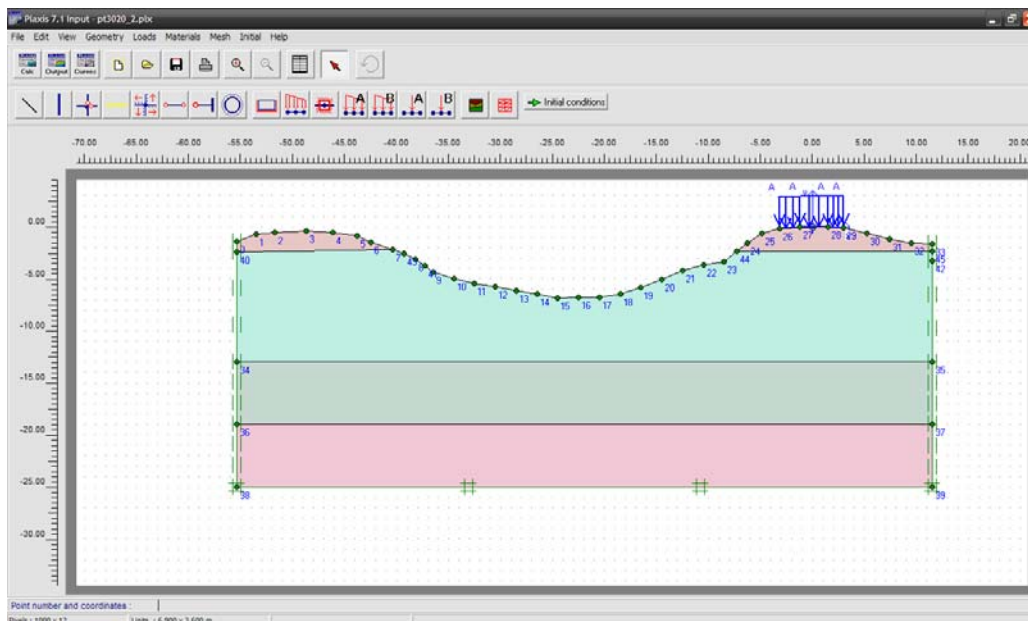
1. การกำหนดพิกัดในหน้าตัดคันทาง

แบบจำลองจะมีลักษณะเป็นสองมิติมีขนาดความกว้างตามแนวแกน X และความลึกตามแนวแกน Y การวาดเส้นรูปร่างในแบบจำลองโดยใช้คำสั่ง Geometry Line วาดตามข้อมูลหน้าตัดคันทางและลำน้ำด้านข้าง หรือใช้การป้อนข้อมูลพิกัดแกน XY ในตารางลักษณะของขอบเขตการวิเคราะห์ (Boundary Condition) สามารถตั้งค่าได้โดยคำสั่ง Standard Fixities ดังแสดงในรูปที่ 5.6 โดยปกติโปรแกรมจะกำหนดขอบเขตทางด้านซ้ายและขวาของ

แบบจำลองให้สามารถเคลื่อนตัวได้ในแนวดิ่งและไม่ให้มีการเคลื่อนตัวในแนวราบ ส่วนด้านล่างสุดของแบบจำลองจะกำหนดไม่ให้มีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นไม่ว่าในแนวใดๆ



รูปที่ 5.5 การกำหนดขนาดในหน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้าง



รูปที่ 5.6 การวาดแบบจำลองหน้าตัดและขอบเขตการวิเคราะห์

2. การใส่คุณสมบัติชั้นดิน

ข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินและแบบจำลองพฤติกรรมของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ ควรจะเป็นแบบจำลองที่มีพฤติกรรมเดียวกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในชั้นดินหรือใกล้เคียงที่สุด และสามารถนำข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินมาใช้ในการทดสอบที่ไม่ยุ่งยากมากนัก แบบจำลองพฤติกรรมของดินที่เหมาะสมในการใช้งานได้แก่ แบบจำลองดินแบบมอร์-คูลอมบ์ (Mohr-Coulomb Model) เนื่องจากเมื่อน้ำหนักกระทำและความเค้น-ความเครียดเกิดขึ้นในช่วงที่ยังไม่ถึงจุดวิบัติ พฤติกรรมของดินจะเป็นลักษณะของวัสดุยืดหยุ่น (Elastic) เมื่อเอาน้ำหนักกระทำออก ความเครียดที่เกิดขึ้นก็จะหมดไป ในขณะที่เมื่อกราฟความเค้น-ความเครียดผ่านจุดวิบัติไปแล้ว น้ำหนักที่กระทำออก ก็จะทำให้เกิดการเสียรูปแบบถาวรปริมาณหนึ่งที่ไม่สามารถคืนสถานะเดิมได้ (Plastic) และข้อมูลคุณสมบัติที่ต้องนำมาพิจารณาสามารถได้จากการทดสอบที่ไม่ยุ่งยากนัก คุณสมบัติของดินที่ต้องใช้แสดงในตารางที่ 5.2

ค่าหน่วยน้ำหนักของดินหรือความหนาแน่น ค่ากำลังรับแรงเฉือน และมุมเสียดทาน สามารถหาค่าได้จากผลการเจาะสำรวจชั้นดิน ดังได้กล่าวถึงในบทที่ 2 หัวข้อการหาข้อมูลทางด้านวิศวกรรม

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์

คุณสมบัติของดิน	สัญลักษณ์	หน่วย
Material model	<i>Model</i>	-
Type of behaviour	<i>Type</i>	-
Dry soil weight	γ_{dry}	kN/m ³
Wet soil weight	γ_{wet}	kN/m ³
Horizontal permeability	k_x	m/day
Vertical permeability	k_y	m/day
Young's modulus	E_{ref}	kN/m ²
Poisson's ratio	ν	-
Cohesion	c_{ref}	kN/m ²
Friction angle	ϕ	°

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินสามารถดูจากชนิดของดินและใช้ค่าทั่วไปสำหรับดินแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, k (cm/s)	การซึมผ่าน
กรวด	$>10^{-1}$	สูง
ทรายหยาบ	$10^{-1} - 10^{-3}$	ปานกลาง
ทรายละเอียด, ทรายปนโคลน	$10^{-3} - 10^{-5}$	ต่ำ
โคลน,ดินตะกอน	$10^{-5} - 10^{-7}$	ต่ำมาก
ดินเหนียว	$<10^{-7}$	ที่บ้น้ำ

ค่า Young's modulus สำหรับชั้นดินเป็นการยากที่จะทำการทดสอบเพื่อหาค่า ดังนั้นจึงใช้ค่าสำหรับดินทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า Young's modulus ของดินทั่วไป

Soil	E (MPa)
Clay	
Very soft	2 – 15
Soft	5 – 25
Medium	15 – 50
Hard	50 – 100
Sandy	25 – 250
Sand	
Silty	10 – 150
Loose	150 – 720
Dense	500 – 1440
Silt	2 - 20

ค่า Poisson's ratio สำหรับดินเหนียวอ่อนในกรณีการวิเคราะห์แบบไม่ระบายน้ำ ใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับ 0.5 เช่น 0.495 เพราะหากป้อนค่า 0.5 จะเกิดความผิดพลาดทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ

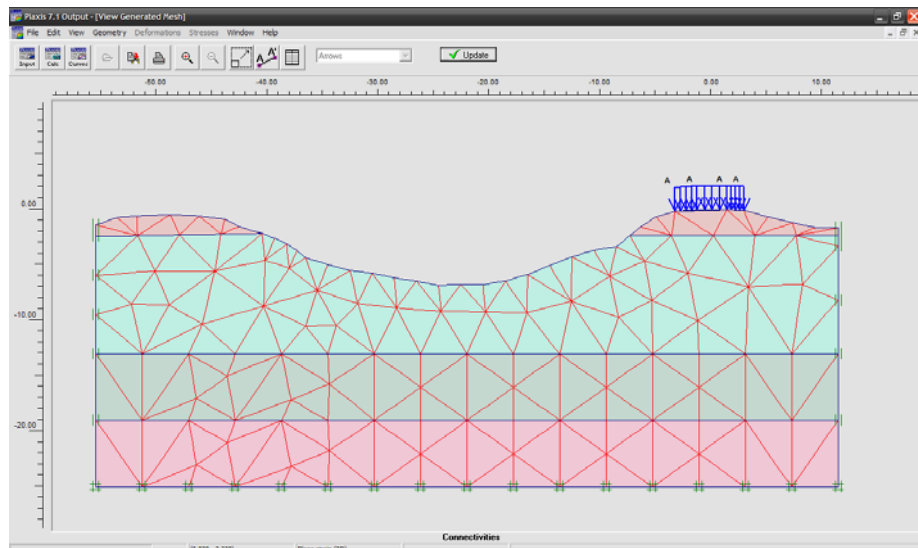
3. การแบ่งชั้นดินเป็นอีลิเมนต์ย่อย ๆ (Mesh generation)

การสร้างอีลิเมนต์ของชั้นดินนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดขนาดของอีลิเมนต์ที่เหมาะสมได้ ควรกำหนดบริเวณที่ให้ความสนใจเป็นพิเศษมีอีลิเมนต์ขนาดเล็กเพื่อความละเอียดในการวิเคราะห์ ส่วนบริเวณที่ไม่ต้องการรายละเอียดมากนักควรกำหนดขนาดอีลิเมนต์ให้ใหญ่กว่าเพื่อความรวดเร็วในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ การแบ่งชั้นดินออกเป็นอีลิเมนต์ย่อยๆดังแสดงในรูปที่ 5.7

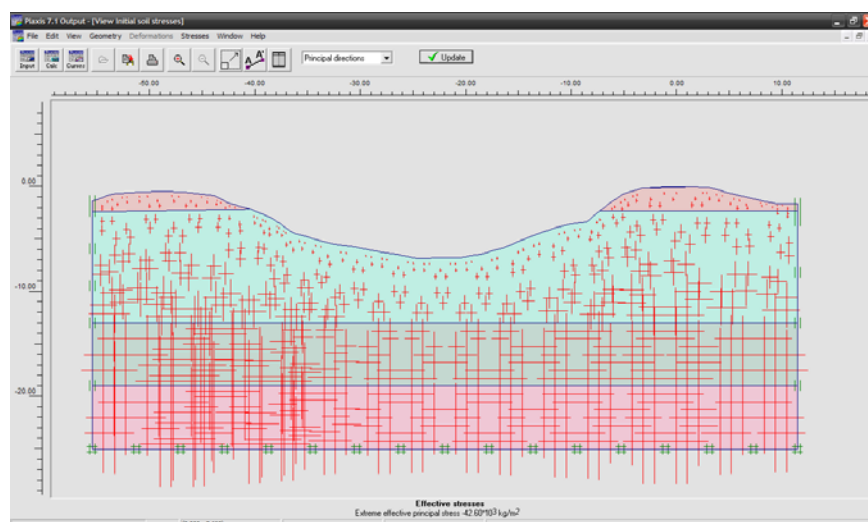
4. การสร้างสภาพชั้นดินก่อนการวิเคราะห์ (Initial Condition)

ก่อนเริ่มการวิเคราะห์จำเป็นต้องทำให้โปรแกรมรู้ถึงสภาพความเค้นในมวลดินในปัจจุบันจากอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก เช่น น้ำหนักของดินที่ความลึกระดับต่างๆ แรงดันดินด้านข้าง แรงดันน้ำที่มีอยู่ การยอมให้เคลื่อนตัวในแนวต่างๆที่ขอบเขตของปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 5.8 เครื่องหมายกากบาทสีแดงจะหมายถึงแรงดันชั้นดินในบริเวณนั้นโดยความยาวของเครื่องหมายจะสัมพันธ์กับขนาดของแรงดันที่เกิดขึ้น บริเวณด้านบนที่ใกล้กับผิวดินเป็นบริเวณ

ที่มีแรงดันดินกระทำน้อยเนื่องจากอยู่ในระดับไม่ลึกดังนั้นเครื่องหมายกากบาทสีแดงก็จะมีขนาดสั้น ในทางกลับกันในระดับลึกลงไปแรงดันดินที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นดังนั้นเครื่องหมายกากบาทสีแดงก็จะมีขนาดยาวขึ้น ส่วนแรงดันน้ำในแบบจำลองจะแสดงด้วยเครื่องหมายกากบาทสีน้ำเงินลักษณะเดียวกับแรงดันดิน



รูปที่ 5.7 การแบ่งชั้นดินออกเป็นอีลิเมนต์ย่อยๆ



รูปที่ 5.8 แสดงสภาพแรงดันดินที่มีอยู่ก่อนการวิเคราะห์

5.2.2 การกำหนดค่าการวิเคราะห์

การกำหนดค่าการวิเคราะห์เป็นการเซตค่าในโปรแกรมให้ทำการวิเคราะห์อย่างเหมาะสมและถูกต้อง การวิเคราะห์ปัญหาถนนเลียบคันคลองโดยโปรแกรม PLAXIS ที่ใช้ในโครงการนี้นั้นสามารถทำการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของคันทางและวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของคันทางได้ ซึ่งในโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพทั่วไปจะวิเคราะห์ได้เพียงเสถียรภาพของคันทางในรูปของอัตราส่วนความปลอดภัยเท่านั้น การกำหนดค่าการวิเคราะห์ทั้ง 2 รูปแบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1 การวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัย
- 2 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของคันทาง

1. การวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัย

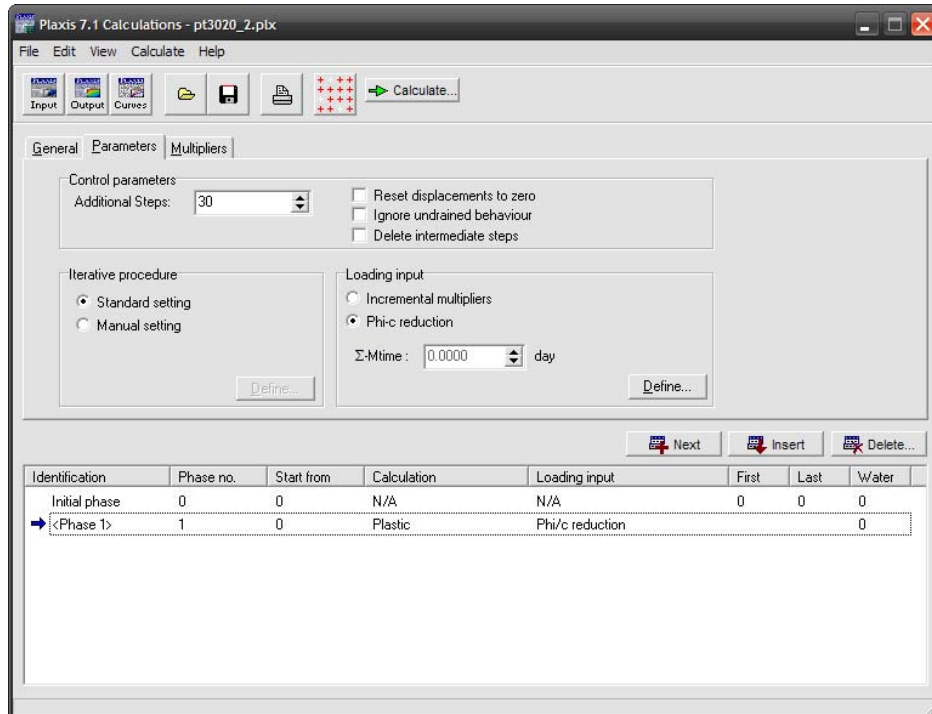
การวิเคราะห์ความมั่นคงของคันทางโดยโปรแกรม PLAXIS นั้น จะใช้การคำนวณแบบ Phi-c-reduction เพื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของสภาพปัญหาที่ได้ทำการสร้างแบบจำลอง จากสมการ

$$\text{Safety factor} = \frac{c + \sigma_n \tan \varphi}{c_r + \sigma_n \tan \varphi_r}$$

$$\text{และ} \quad \frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \sum Msf$$

โดย c and φ = the input strength parameters
 σ_n = the normal stress
 c_r and φ_r = the reduced strength parameters

ค่าพารามิเตอร์ c_r และ φ_r จะถูกควบคุมโดยค่า $\sum Msf$ ซึ่งในการคำนวณจะเริ่มตั้งแต่ 0.1 และเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และค่า c_r และ φ_r จะเป็นค่าที่สูงพอที่จะทำให้เกิดสถานะสมดุลย์ในแบบจำลอง รูปที่ 5.9 แสดงการกำหนดให้โปรแกรม PLAXIS ทำการคำนวณแบบ Phi-c-reduction

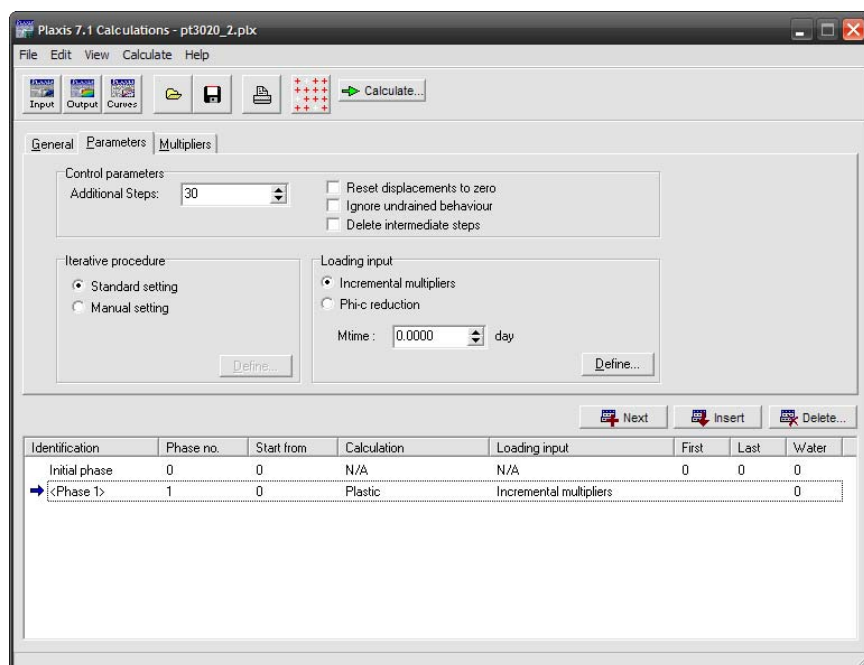


รูปที่ 5.9 แสดงการกำหนดให้โปรแกรม PLAXIS ทำการคำนวณแบบ Phi-c-reduction

จำนวนรอบของการคำนวณ (Additional steps) ในการวิเคราะห์แบบตัวเลขนั้น ควรจะมากพอที่จะทำให้ค่าผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มากเกินไปเพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของคันทาง

การคำนวณเพื่อหาปริมาณการเคลื่อนตัวของคันทางและดินฐานรากโดยโปรแกรม PLAXIS นั้น จะใช้จำนวนรอบของการคำนวณเท่ากับในการวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัย เพราะค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้นั้นจะเป็นสถานะที่แบบจำลองเกิดความสมดุลย์กันทั้งหมด โดยจะกำหนดให้โปรแกรมใช้วิธีการคำนวณ (Loading input) แบบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Incremental multipliers) จนเข้าสู่สภาพสมดุลย์ ดังแสดงในรูปที่ 5.10

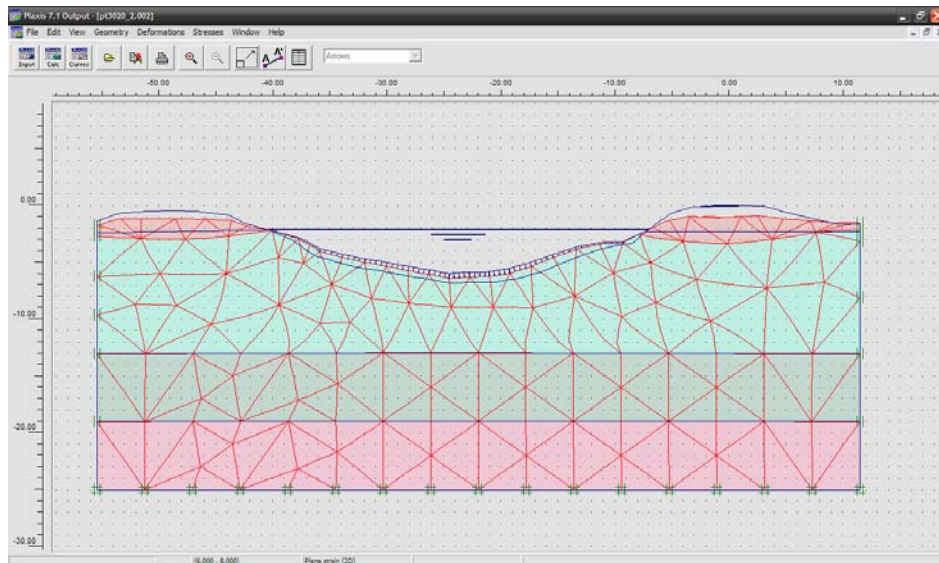


รูปที่ 5.10 แสดงการกำหนดให้โปรแกรม PLAXIS ทำการคำนวณแบบ Incremental multipliers

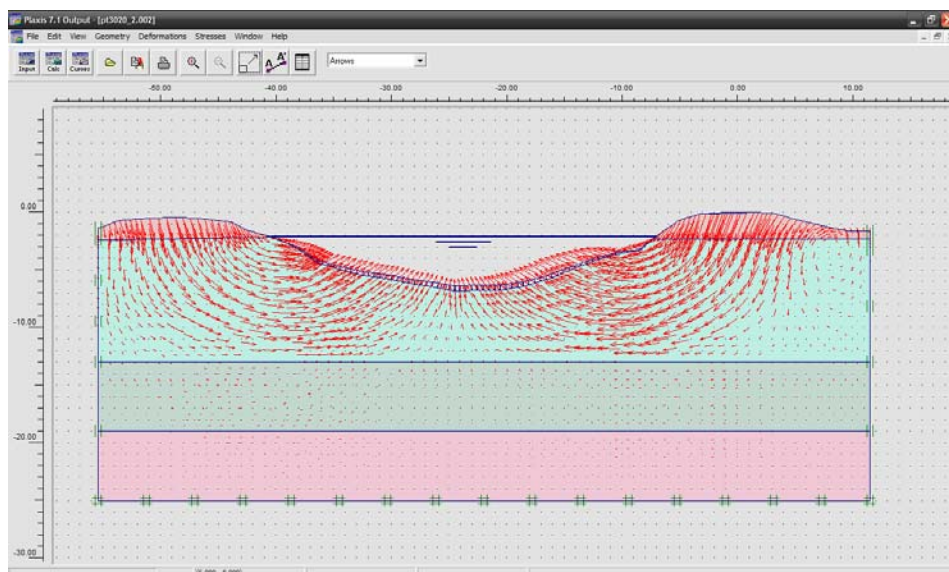
การคำนวณจะเริ่มทำการคำนวณต่อจาก Initial phase ที่ได้ทำการจำลองน้ำหนักและแรงดันต่างๆที่เกิดขึ้นในแบบจำลองจนกว่าแรงทั้งหมดในแบบจำลองเข้าสู่สภาพสมดุลย์

5.2.3 ผลการวิเคราะห์

เมื่อโปรแกรมทำการคำนวณเสร็จ ผลของการวิเคราะห์สามารถเรียกดูได้จากส่วนที่เป็น Output Program การแสดงผลการวิเคราะห์สามารถแสดงการเคลื่อนตัวและความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง รูปที่ 5.11 แสดงการเคลื่อนตัวของคันทางที่เกิดขึ้น โดยจะแสดงตำแหน่งของคันทางก่อนและหลังเกิดการเคลื่อนตัวเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ รูปที่ 5.12 แสดงแนวการเคลื่อนตัวของอิลิเมนต์ต่างๆแบบเวกเตอร์

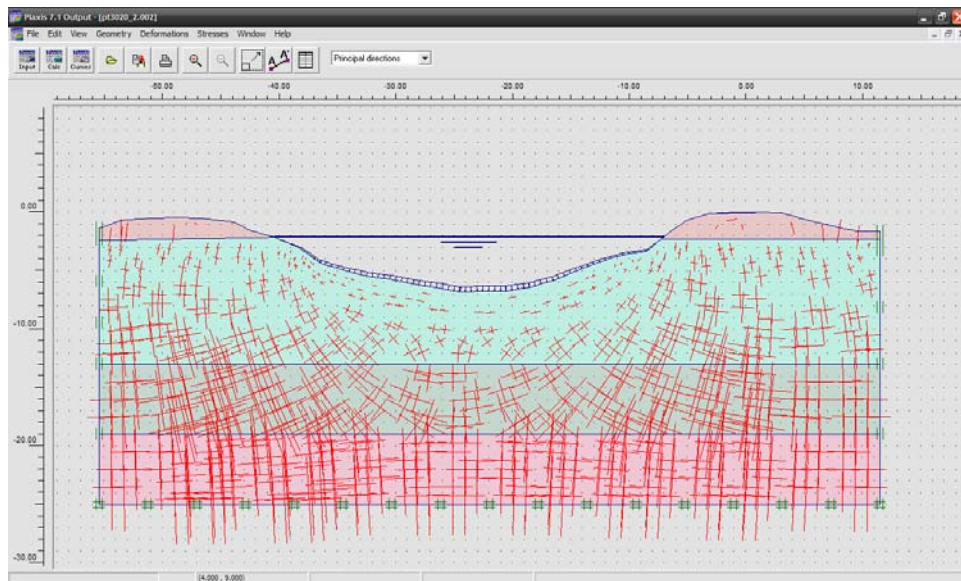


รูปที่ 5.11 แสดงการเคลื่อนตัวของคันทาง



รูปที่ 5.12 แสดงเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของอีลิเมนต์ต่างๆ

รูปที่ 5.13 แสดงความเค้นทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในมวลดิน โดยขีดที่ยาวกว่าแสดงถึงแนวของความเค้นในแกนหลัก (Major principal stress) และขีดสั้นกว่าแสดงถึงความเค้นในแกนรอง (Minor principal stress)



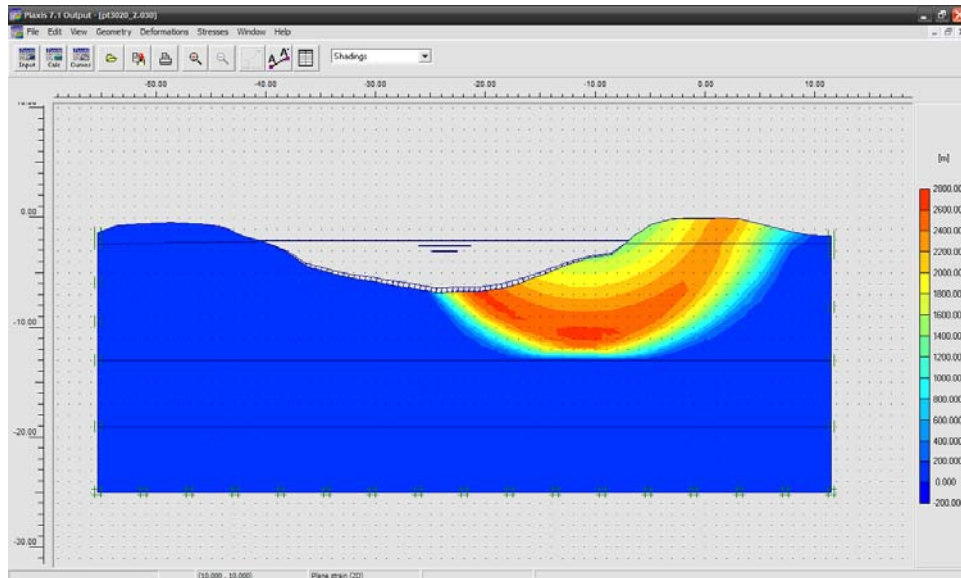
รูปที่ 5.13 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นในมวลดิน

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง สามารถดูได้จากหน้าต่าง Calculation Information ที่ค่าของอัตราส่วนความปลอดภัย หรือค่า Σ -Msf ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ซึ่งจากตัวอย่างแสดงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.068

Calculation information			
Multipliers Additional Info Step Info			
Step info			
Step : 30 of 30		Extrapolation factor :	2.000
PLASTIC STEP		Relative stiffness :	0.000
Multipliers			
	Incremental Multipliers		Total Multipliers
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp: 0.000
Contraction tunnel A	McontrA:	0.000	Σ -McontrA: 0.000
Contraction tunnel B	McontrB:	0.000	Σ -McontrB: 0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA: 0.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB: 0.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight: 1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel: 0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.001	Σ -Msf: 1.068
Time	Mtime:	0.000	Σ -Mtime: 0.000

รูปที่ 5.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์

ส่วนแนวของผิวการเคลื่อนพังที่อาจจะเกิดขึ้น สามารถแสดงได้โดยเรียกดูค่าการเคลื่อนที่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในคันทางและดินฐานราก และให้แสดงรูปแบบระบายสี (Shading) สีแดงหมายถึงบริเวณที่จะเป็นผิวการเคลื่อนพังเมื่อคันทางเกิดการพังทลายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 แสดงแนวของผิวการเคลื่อนพังที่เกิดขึ้น

5.2.4 พารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้อง

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของถนนเลียบคันคลองด้วยโปรแกรม PLAXIS ตัวแปรที่มีผลกระทบโดยตรงอย่างยิ่งต่ออัตราส่วนความปลอดภัยและปริมาณการเคลื่อนตัวของถนนเลียบคันคลองที่สำคัญมี 3 ตัวแปร ได้แก่

- 1 หน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้าง
- 2 ความหนาชั้นดินอ่อน
- 3 กำลังรับแรงเฉือนของดิน

1. หน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้าง

ความกว้าง ความสูงและลาดชันด้านข้างของคันทางที่ทำการวิเคราะห์ รวมถึงความลึกของลำน้ำด้านข้างและระยะห่างของคันทางกับลำน้ำ เป็นตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของคันทาง หากมีการก่อสร้างคันทางที่มีความสูงมากโดยใช้ความชันด้านข้างที่ค่อนข้างมากแล้วเสถียรภาพของคันทางก็จะมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับคันทางที่มีความชันด้านข้างที่ราบเรียบกว่า ความลึกของลำน้ำด้านข้างและระยะห่างของคันทางกับลำน้ำก็มีส่วน

สำคัญเช่นเดียวกัน หากลำน้ำมีความลึกและอยู่ใกล้กับคันทางแล้วก็จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของคันทางเช่นเดียวกัน โดยหน้าตัดของคันทางและลำน้ำด้านข้างเป็นข้อมูลลำดับแรกๆที่ทำการสำรวจตรวจสอบเมื่อมีการพิจารณาวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพของคันทาง การได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำได้โดยทำการสำรวจระดับความสูงของหน้าตัดคันทางและความลึกของลำน้ำที่ต้องการ และใช้แบบก่อสร้างหน้าตัดของคันทางเข้าร่วมด้วยเพื่อความถูกต้อง

2. ความหนาชั้นดินอ่อน

การเจาะสำรวจชั้นดินเพื่อตรวจสอบประเภทของดินฐานรากด้านล่าง และความหนาของชั้นดิน เป็นข้อมูลที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของคันทางโดยตรง การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง ควรมีการเจาะสำรวจข้อมูลชั้นดินด้านล่าง หากบริเวณดังกล่าวไม่มีข้อมูลชั้นดินมาก่อน หรือเป็นบริเวณที่ชั้นดินมีความแปรปรวนสูง เพื่อนำมาประกอบเป็นข้อมูลพิจารณาเพราะเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของปัญหาการก่อสร้างคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อน เช่นกรณีที่ทำการศึกษาอยู่นี้ขอบเขตของความเสียหายในชั้นดินด้านล่างจะถูกกำหนดโดยความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน โดยแนวของการพังทลายในดินฐานรากจะเกิดขึ้นที่รอยต่อของชั้นดินเหนียวอ่อนกับชั้นดินเหนียวแข็งกว่าด้านล่าง ดังนั้นการเจาะสำรวจชั้นดินควรใช้ความละเอียดในการพิจารณาจำแนกชั้นดินเหนียวอ่อนกับชั้นดินถัดไป เพราะจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตของความเสียหายที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์

3. กำลังรับแรงเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดิน กำลังรับแรงเฉือนของดินจะเป็นแรงที่ใช้ในการต้านทานน้ำหนักของโครงสร้างคันทางและน้ำหนักภายนอก ไม่ให้คันทางเกิดการเคลื่อนตัวและพังทลาย กำลังที่ใช้ในการต้านทานจะมีทั้งในส่วนที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างคันทางเองและส่วนที่เป็นดินฐานราก หากในการวิเคราะห์กำหนดให้โครงสร้างคันทางสามารถเกิดรอยแตกด้านบนได้ (Tension Crack) กำลังต้านทานในส่วนที่เกิดจากคันทางก็จะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากลักษณะการเกิดการพังทลายของคันทางส่วนใหญ่จะเป็นการเกิดแบบรวดเร็ว ทันทีทันใด ดังนั้นในการวิเคราะห์จะถือว่าเป็นสภาพที่เกิดโดยไม่มีการระบายน้ำเกิดขึ้น (Undrain Condition)

กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrain Shear Strength) ซึ่งมีความไวตัว (Sensitivity) ต่อการถูกรบกวนกระเทือน (Disturb) ในขั้นตอนการเจาะเก็บตัวอย่าง การรักษาสภาพความชื้น และระหว่างการทดสอบค่อนข้างมาก จึงควรเพิ่มความระมัดระวังในระหว่างขั้นตอนดังกล่าว หรือใช้การทดสอบหาแรงเฉือนของดินในสนามแทน

5.3 การวิเคราะห์การแก้ไขปัญหานอนเหลียบคั่นคลองโดยวิธีต่าง ๆ

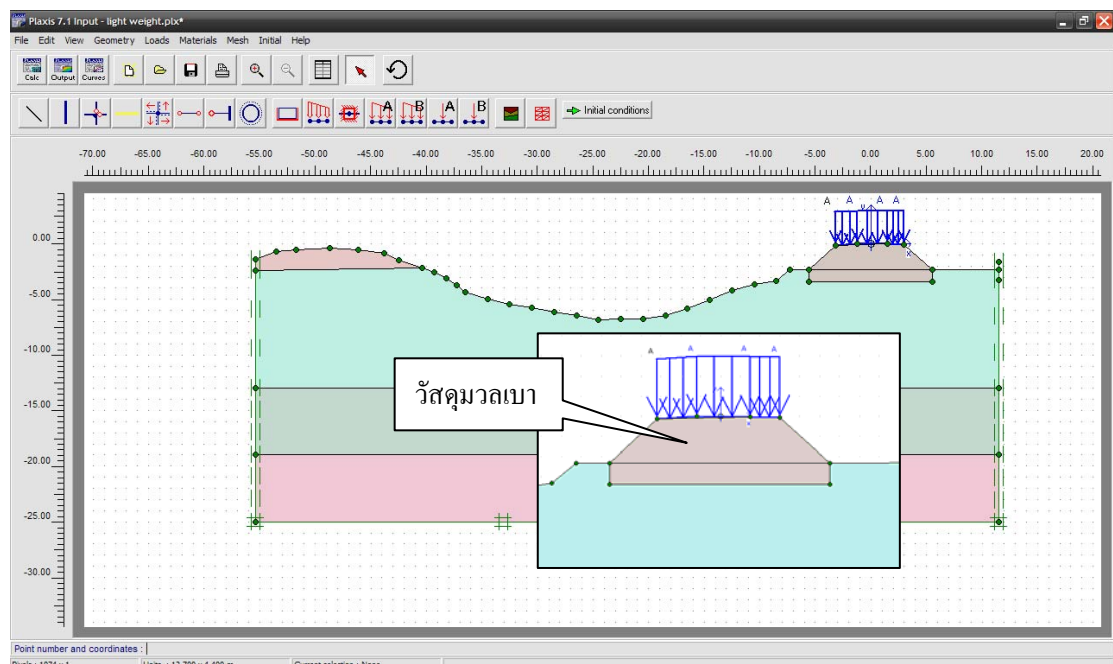
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ถนอนเหลียบคั่นคลองหลังจากที่มีการแก้ไขปัญหาโดยวิธีต่าง ๆ ตามที่ได้เสนอในบทที่ 4 โดยกล่าวถึงลักษณะของแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมถึงพารามิเตอร์ที่เพิ่มเติมสำหรับการแก้ไขในแต่ละวิธี

วิธีที่ 1 การลดน้ำหนักโดยการใช่วัสดุมวลเบา

หลักการวัสดุมวลเบาเป็นการลดแรงกระทำที่ทำต่อลาดดินโดยใช่วัสดุมวลเบามาทำการบดอัดกรณีทำการก่อสร้างใหม่ หรือขุดดินออกกรณีทำการซ่อมแซมบริเวณที่เกิดความเสียหาย แล้วเอาวัสดุมวลเบาเข้ามาถมแทนเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดดิน ดังนั้นน้ำหนักที่กระทำกับชั้นดินจะมีค่าน้อยลง ผลการวิเคราะห์จะแสดงเสถียรภาพที่ดีขึ้นและการเคลื่อนตัวของคันทางที่น้อยลง

การสร้างแบบจำลอง

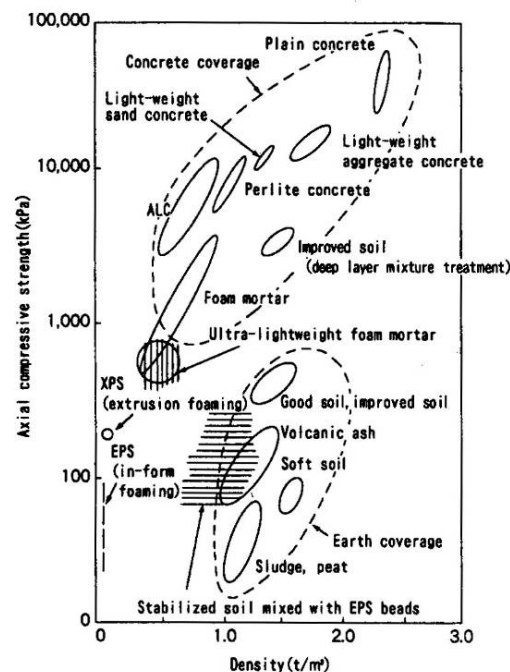
การสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์คันทางวัสดุมวลเบา สามารถสร้างได้ลักษณะเดียวกับแบบจำลองดินคันทางปกติ ต่างกันเพียงแค่คุณสมบัติของวัสดุและหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำคันทางเท่านั้น ลักษณะของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 5.16



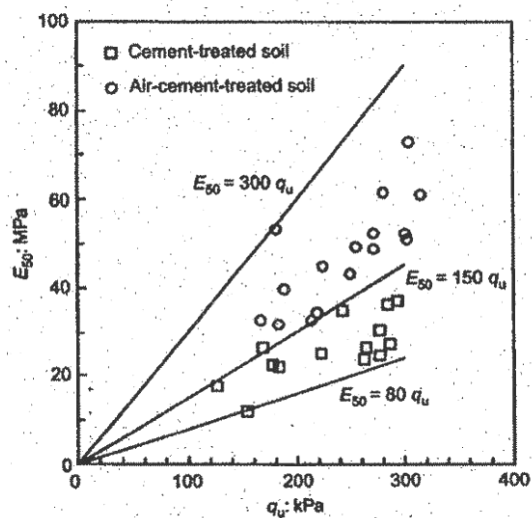
รูปที่ 5.16 แบบจำลองการใช่วัสดุมวลเบา

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์การใช้วัสดุมวลเบาเป็นคันทางคือค่าความแข็งแรงของวัสดุมวลเบา และค่าหน่วยน้ำหนักของวัสดุมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 5.17 เมื่อกำหนดความแข็งแรงและหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่จะใช้ได้แล้ว จึงเข้าไปเปลี่ยนคุณสมบัติของดินคันทางในโปรแกรม ค่า Young's modulus ของวัสดุมวลเบาสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการหดตัวกับกำลังรับแรงอัดของวัสดุมวลเบาดังแสดงในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.17 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของวัสดุมวลเบา



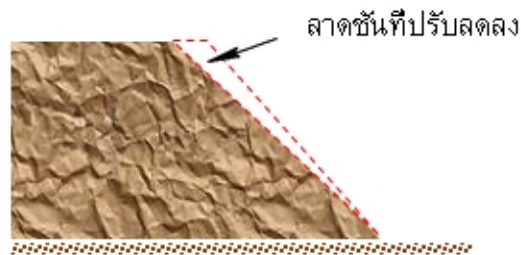
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Deformation และ Unconfined Compressive Strength

วิธีที่ 2 การปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสม

การสร้างแบบจำลองวิธีการแก้ไขโดยการปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสมนั้น สามารถปรับเปลี่ยนโดยการวาดหน้าตัดที่จะทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง โดยสามารถปรับเปลี่ยนโดยการลดความสูงของคันทาง การปรับลดความลาดชันหรือการตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.19 ถึง 5.21



รูปที่ 5.19 แสดงการปรับลดความสูงของคันทาง



รูปที่ 5.20 แสดงการปรับลดความลาดชัน



รูปที่ 5.21 แสดงการตัดส่วนบนแล้วนำมาถมส่วนล่าง

การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ใช้วิธีเดียวกันกับการสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ถนนเรียบคันคลองปกติ เพียงแต่ปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสมตามที่ต้องการ

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

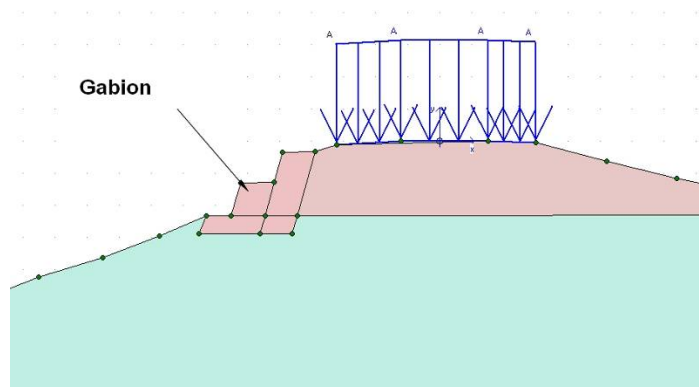
ในการวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาดินนเลียบคันคลองด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสมนั้น เป็นการแก้ไขที่ใช้วัสดุชนิดเดิมโดยไม่มีการนำวัสดุอื่นๆเข้ามาใช้ในการแก้ไข เพียงแต่แก้ไขโดยการปรับปรุงหน้าตัดไม่ให้เกิดการพังทลายเกิดขึ้น ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นพารามิเตอร์เดียวกันกับที่ใช้วิเคราะห์เสถียรภาพโดยไม่มีการแก้ไขปรับปรุง

วิธีที่ 3 การเพิ่มแรงต้านโดยใช้กล่องลวดตาข่าย (Gabion)

เป็นการทำค้ำยันให้กับลาดชันซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มแรงต้านทานให้กับบริเวณด้านล่างของลาดชัน ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันคือการใช้กล่องหินลวดตาข่าย (Gabion) และยัง สามารถป้องกันปัญหาด้านการกัดเซาะได้ ปัจจุบันมีการผลิตตาข่ายทำจากโลหะหรือพีวีซี ซึ่ง ทนต่อการผุพังกัดกร่อนได้ในระยะยาว และใช้ตาข่ายนี้ช่วยให้การใช้หินถมเป็นไปโดยมี ประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในด้านเสถียรภาพ

การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองการใช้กล่องหินลวดตาข่ายในการแก้ปัญหาดินนเลียบคันคลองแสดงในรูปที่ 5.22 โดยจำลองส่วนที่เป็นกล่องหินลวดตาข่ายด้วยชั้นดินอีกชนิดหนึ่ง ลักษณะการเรียงตัวของกล่องหินลวดตาข่ายสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ซึ่งอาจมี ระยะห่างจากคันคลองด้านข้างหรือความกว้างของขอบเขตทางแตกต่างกันไป



รูปที่ 5.22 แบบจำลองการใช้กล่องหินลวดตาข่าย

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

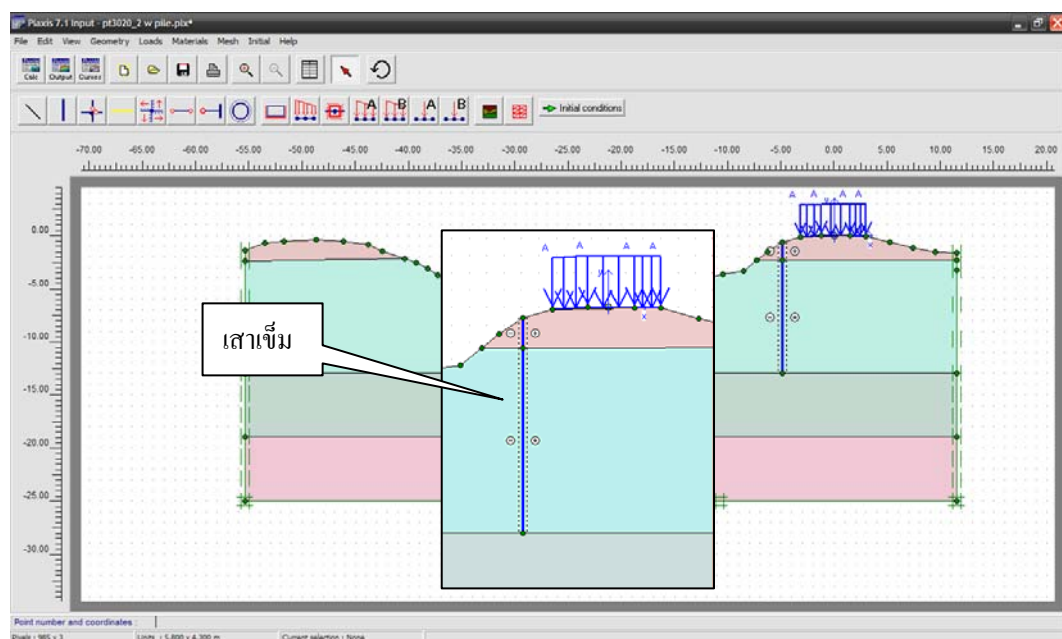
หน่วยน้ำหนักสำหรับวัสดุกล่องหินลวดตาข่ายสามารถหาได้ชนิดของหินหรือวัสดุที่นำมาบรรจุในกล่องลวด ความแข็งแรงของกล่องหินลวดตาข่ายขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงดึงของลวด หรือวัสดุที่นำมาสานเป็นกล่องและขนาดของช่องเปิดรวมถึงลวดที่นำมาผูกยึดแต่ละกล่องเข้าด้วยกัน

วิธีที่ 4 การใช้เสาเข็มป้องกันการเคลื่อนตัวของคันทาง

การเสริมเสถียรภาพของคันทางโดยใช้เสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ วัตถุประสงค์เพื่อให้เสาเข็มเข้าไปเพิ่มกำลังต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวนอน ของบริเวณที่เกิดการเคลื่อนพัง ความยาวของเสาเข็มที่ใช้จะทำให้แนวของการเคลื่อนพังที่อาจจะเกิดขึ้นมีความยาวเพิ่มมากขึ้น หรือลึกลง เมื่อแนวของการเคลื่อนพังยาวขึ้น พื้นที่ที่ใช้กำลังของดินในการต้านทานการพังทลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วยผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงแนวของการเคลื่อนพังที่จะเกิดขึ้น และสามารถเลือกใช้ความยาวเสาเข็มที่เหมาะสมให้มีความยาวเลยแนวการเคลื่อนพังลงไป

การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองการใช้เสาเข็มเสริมคันทางจะทำการเพิ่มแบบจำลองเสาเข็มโดยใช้คุณสมบัติวัสดุลักษณะแบบ Beam element ซึ่งสามารถรับแรงดัดและแรงอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของดินที่อยู่รอบๆได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยเสาเข็ม

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

พารามิเตอร์ที่สำคัญในการเสริมคันทางด้วยเสาเข็มคือขนาดของเสาเข็มทั้งพื้นที่หน้าตัดและความยาวเสาเข็ม และคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุเสาเข็ม รวมถึงค่ามอดูลัสของเสาเข็ม โดยหาจากสมการ

$$E = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ MPa}$$

โดย $f_c' =$ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (ksc)

คุณสมบัติของเสาเข็มที่ต้องใส่ในโปรแกรมคือค่า EA และ EI ของเสาเข็ม

โดย $A =$ พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม

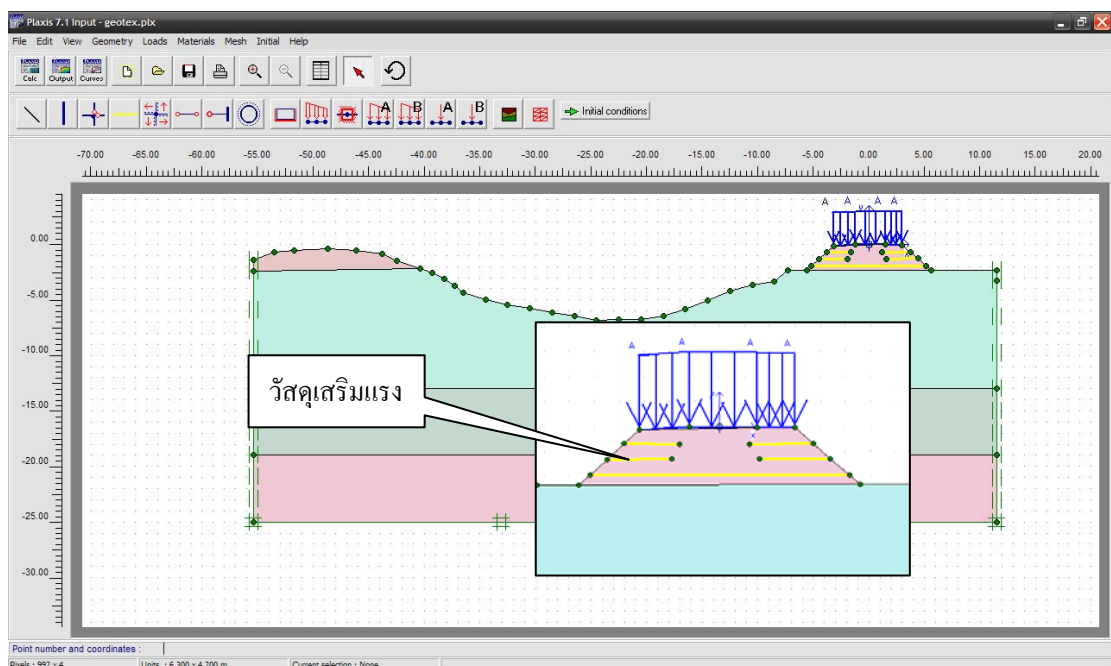
$I =$ Moment of inertia

วิธีที่ 5 การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง

หลักการของการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเสริมแรงเนื่องมาจากดินเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถรับแรงอัดได้แต่ไม่สามารถรับแรงดึงได้เลย การที่จะเอาชนะในจุดด้อยนี้ดินจะต้องมีการเสริมวัสดุเข้าไป เช่น การใช้แผ่นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเสริมแรง เพราะแผ่นใยสังเคราะห์จะช่วยลดแรงดึงตามแนวนอนที่เกิดขึ้นในดินถมเนื่องจากการไหลตัวด้านข้างของดินเดิม โดยแผ่นใยสังเคราะห์นี้จะช่วยรับแรงดึงแทน

การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองคันทางเสริมวัสดุเสริมแรง โปรแกรม PLAXIS จะมีคำสั่งให้เลือกใช้วัสดุประเภท Geotextile โดยทำการลากเส้นในบริเวณที่ต้องการจะใช้วัสดุเสริมแรงและจะปรากฏเป็นเส้นสีเหลืองในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.24 การเสริมด้วยวัสดุประเภทนี้อาจจะทำการเสริมได้หลายชั้นสลับกันการบอัดดินเป็นชั้นๆตามความเหมาะสมในการก่อสร้างจริง



รูปที่ 5.24 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยวัสดุเสริมแรง

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

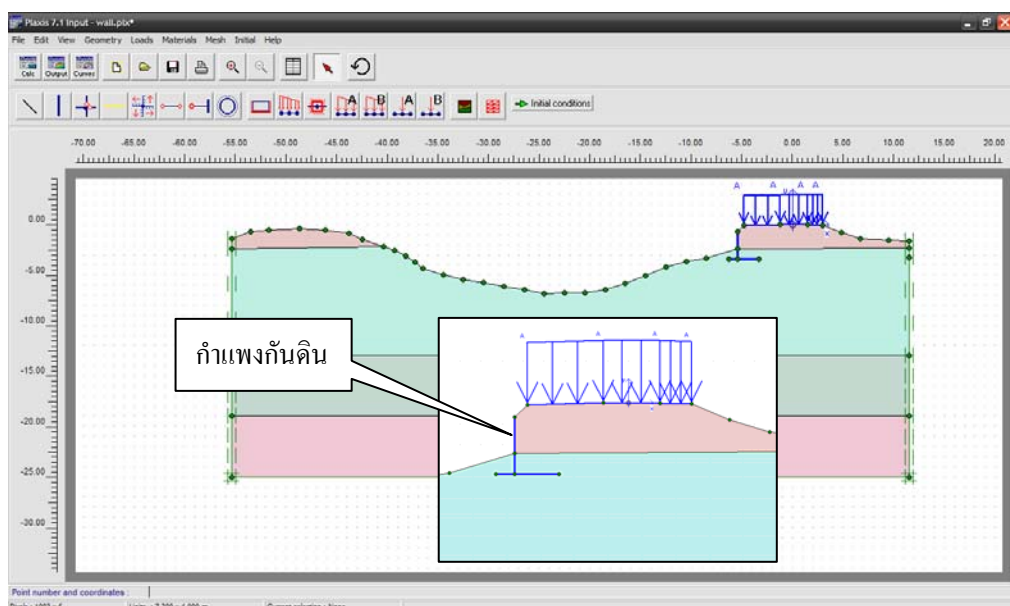
การเลือกใช้กำลังรับแรงดึงที่ยอมได้ของวัสดุจะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากการติดตั้ง ความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากสารเคมี ความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากสภาวะเคมีชีวภาพ และความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากยีสต์ หากจำเป็นก็ต้องพิจารณาความเสี่ยงต่อการความเสียหายเนื่องจากรอยต่อและรอยเย็บต่างๆ โดยทั่วไปแรงดึงที่ยอมได้ของวัสดุจะลดลงจากแรงดึงสูงสุด 7 เท่าเมื่อไม่มีผลการทดลองต่างๆ

วิธีที่ 6 การใช้กำแพงกันดิน

กำแพงกันดิน เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการรับแรงดันทางด้านข้าง (Lateral support) ใช้ในกรณีที่ไม่มีความเพียงพอสำหรับการทำเชิงลาดด้านข้าง สภาพชั้นดินด้านล่างต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนักที่พอเพียง การวิเคราะห์นั้นนอกจากจะต้องรับแรงดันแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการหมุนล้มลงด้วย

การสร้างแบบจำลอง

ลักษณะของกำแพงกันดินที่นิยมใช้นั้น เป็นกำแพงในลักษณะ Cantilever wall หรือ Counterfort wall เนื่องจากไม่ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตเป็นจำนวนมาก กำแพงมีน้ำหนักเบา และในส่วนที่มีแรงดันเกิดขึ้นสามารถใช้การเสริมเหล็กมาช่วยในการรับแรงที่เกิดขึ้น ลาดชันด้านข้างของคันทางที่ใช้กำแพงกันดินสามารถก่อสร้างได้เกือบจะเป็นแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยการใช้กำแพงกันดิน

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

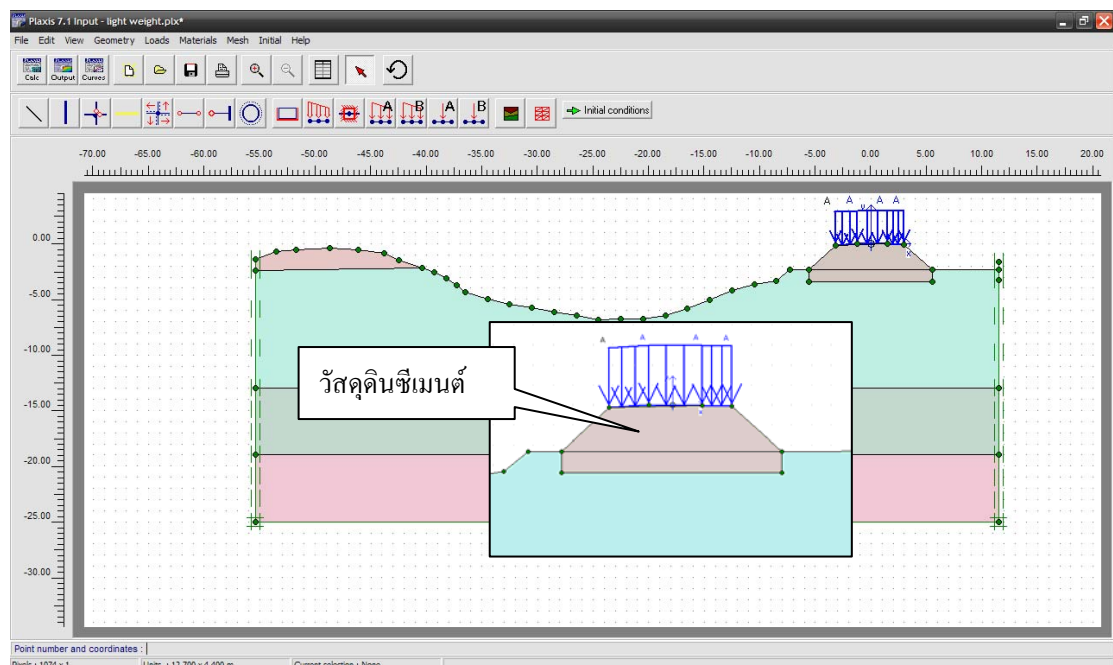
การจำลองกำแพงกันดินในโปรแกรม PLAXIS จะใช้การจำลองเป็นวัสดุประเภท Beam element คุณสมบัติที่ต้องใส่ในโปรแกรมคือค่า EA และ EI เช่นเดียวกับการเสริมคันทางด้วยเสาเข็ม ค่า E คือมอดูลัสยืดหยุ่นของคุณสมบัติคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วน A และ I ขึ้นอยู่กับหน้าตัดของกำแพงกันดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากหน้าตัดที่ใช้ในการต้านทานการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากดินถมด้านบน

วิธีที่ 7 การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุค้ำยันคันทาง

หลักการของการใช้วัสดุดินซีเมนต์มาบดอัดก่อสร้างเป็นคันทางเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุที่ทำเป็นถนนคันทางเพื่อให้สามารถก่อสร้างลาดชันด้านข้างได้ชันยิ่งขึ้น

การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์คันทางที่ทำด้วยวัสดุดินซีเมนต์ สามารถสร้างได้ลักษณะเดียวกับแบบจำลองคันทางที่ทำจากวัสดุมวลเบา ต่างกันเพียงแค่คุณสมบัติของวัสดุและหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำคันทางเท่านั้น ลักษณะของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 แบบจำลองการใช้วัสดุดินซีเมนต์เป็นดินคันทาง

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

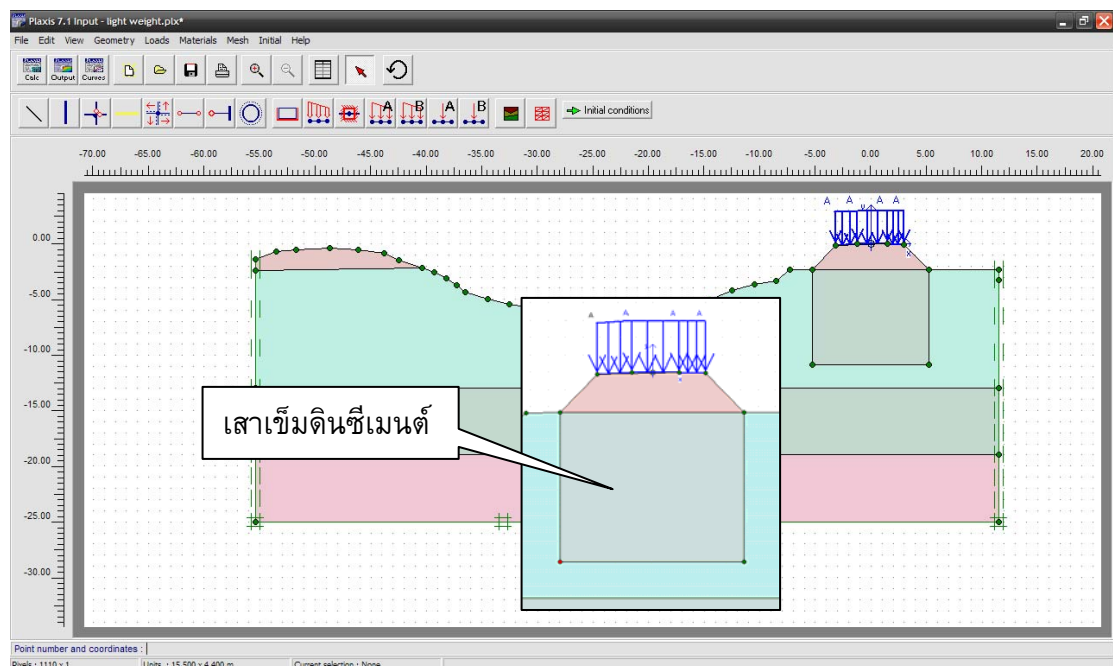
ข้อกำหนดของ Transport and Road Research Laboratory (TRRL) สำหรับหลักการออกแบบ Soil-Cement ค่า Unconfined Compressive Strength ของ Soil-Cement ที่อายุ 7 วัน จะต้องไม่ต่ำกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ประมาณ 18 ksc) Young's modulus มีค่าประมาณ 4 – 12 MPa

วิธีที่ 8 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากคันทาง

วัตถุประสงค์ของการทำเสาเข็มดินซีเมนต์รองรับคันทางถนน เพื่อลดปริมาณการทรุดตัวและป้องกันปัญหาเสถียรภาพของคันทางบริเวณเชิงลาด การทำเสาเข็มดินซีเมนต์จะทำให้ดินฐานรากแข็งตัวและมีกำลังสูงขึ้น

การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองเสาเข็มดินซีเมนต์จะพิจารณาดินใต้คันทางบริเวณที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นวัสดุเนื้อเดียวกันทั้งหมด ดินและเสาเข็มดินซีเมนต์จะรับแรงเฉือนร่วมกันโดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงเฉือนของดิน และเสาเข็มดินซีเมนต์ตามสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มดินซีเมนต์ต่อพื้นที่ทั้งหมด (Area ratio) ดังแสดงในรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 แบบจำลองการเสริมคันทางด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์

การกำหนดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์เพิ่มเติม

คุณสมบัติของเสาเข็มดินซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดิน ซึ่งอยู่ในช่วง 125-200 กก./ลบ.ม.ดิน ค่า Unconfined Compressive Strength ของ Cement Column จะอยู่ในช่วง 5-10 กก./ตร.ซม. เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้กำลังรับแรงสูงเช่นคอนกรีตในการทำไม่ต้องใช้ทรายและหินผสม ค่า Modulus of Elasticity จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตเพราะไม่แข็งตัวเท่ากับเสาเข็มคอนกรีต เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดจากเสาเข็มคอนกรีตแทงทะลุดินถมขึ้นมาในภายหลัง

แนวทางการแก้ไขปัญหาค่าความเสียหายของคันทาง

6.1. การแก้ไขปัญหาค่าการพังทลายของคันทาง

โครงสร้างลาดคันทางเกิดจากการนำวัสดุประเภทดินและหินมาบดอัดขึ้นเป็นโครงสร้างถนน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสภาพธรรมชาติโดยมนุษย์จึงส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของคันทางขึ้นได้ โดยเฉพาะเมื่อมีถนนเกิดขึ้นอัตราการขยายตัวของชุมชนและจำนวนประชากรก็จะเพิ่มขึ้นภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

ความเสียหายของคันทางจึงถือได้ว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและควรให้ความสนใจ เพราะการเกิดการพังทลายของโครงสร้างคันทางสามารถสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้เป็นจำนวนมาก การแก้ไขซ่อมแซมจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

การแก้ไขปัญหาค่าการพังทลายของถนนเลียบคันคลองต้องดูจากระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ในบทที่ 2 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

- 1 การแก้ไขปัญหาลาดแบบเร่งด่วน
- 2 การแก้ไขปัญหาลาดแบบปกติ

6.1.1. การแก้ไขปัญหาลาดแบบเร่งด่วน (ชั่วคราวหรือระยะสั้น) คือ การแก้ไขความเสียหายของคันทางเฉพาะหน้าและทำให้ถนนหรือสายทางสามารถเปิดใช้งานได้รวดเร็วที่สุดโดยปลอดภัย วิธีการนี้จะต้องพิจารณานำมาใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- เพื่อเปิดการจราจรให้เร็วที่สุดภายหลังจากเกิดความเสียหายต่อคันทาง
- เพื่อซ่อมแซมกรณีที่มีความเสียหายอาจจะขยายตัวลุกลามจนเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายขนาดใหญ่ตามมา
- ใช้กับลาดคันทางที่มีแนวโน้มจะเกิดการพังทลายในอนาคตอันใกล้

6.1.2. การแก้ไขปัญหาลาดแบบปกติ คือการแก้ไขความเสียหายของคันทางที่ทำให้ถนนหรือสายทางสามารถใช้งานได้ปกติ วิธีการนี้จะต้องพิจารณานำมาใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- หลังจากได้ทำการแก้ไขแบบเร่งด่วนไปแล้ว

- จุดที่เกิดความเสียหายเป็นสายทางที่มีการจราจรสูง เส้นทางเลี้ยวมีระยะทางไกล
- จุดที่เกิดความเสียหายส่งผลกระทบต่อประชาชนจำนวนมาก
- เป็นกรณีที่มีความเสียหายมีความซับซ้อน

ตารางที่ 6.1 แสดงการเลือกใช้วิธีการป้องกันหรือแก้ไข

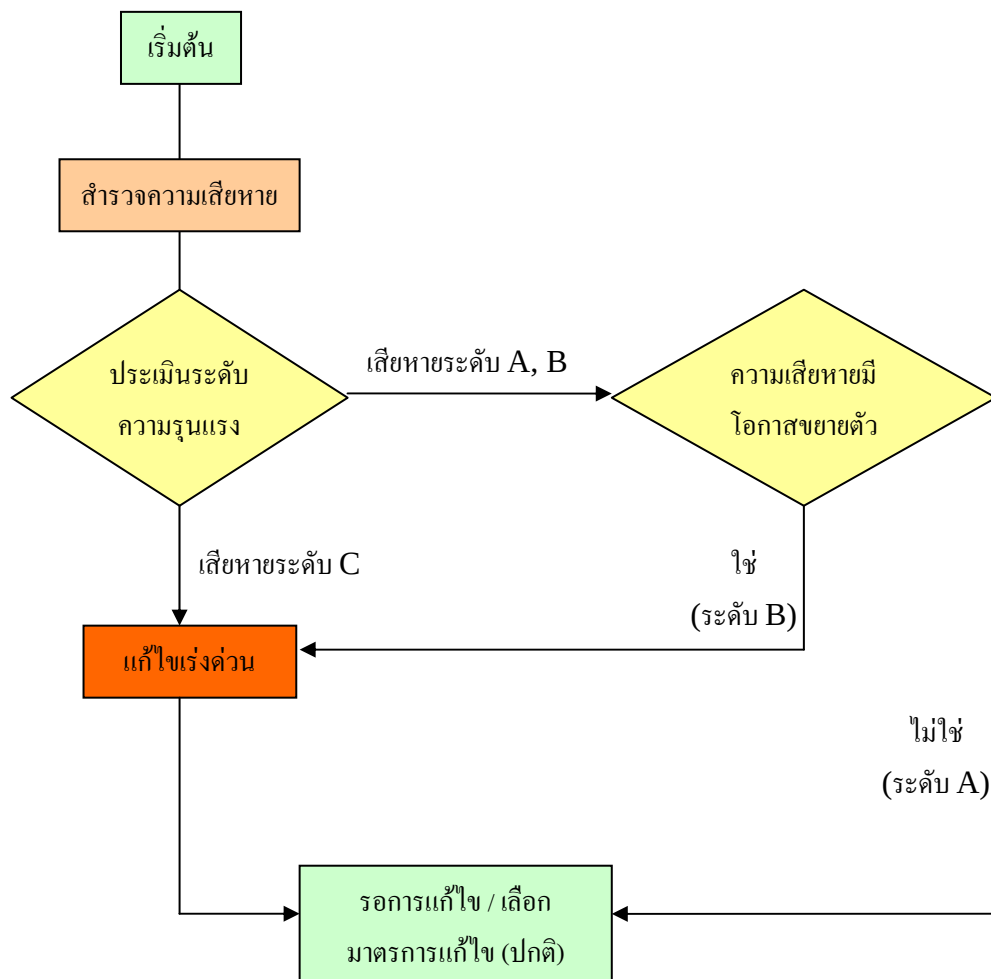
ปัญหา วิธีแก้ไข	กรณีถนนที่เกิดความเสียหายแล้ว		กรณีถนนที่ก่อสร้างใหม่
	เร่งด่วน	ปกติ	
1. การใช้วัสดุมวลเบา			●
2. การปรับเปลี่ยนหน้าตัด		●	●
3. การใช้กล่องลดตาข่าย		●	●
4. การใช้เสาเข็มฯ	●		
5. การใช้วัสดุรับแรงดึง		●	●
6. การใช้กำแพงกันดิน		●	●
7. การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด	●		●
8. การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ฯ			●

6.2. เกณฑ์การเลือกการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันแบบเร่งด่วนและปกติ

การแก้ไขปัญหแบบเร่งด่วน คือการเข้าปฏิบัติการในพื้นที่เสียหายอย่างรวดเร็วที่สุด หลังจากได้ทำการสำรวจความเสียหายและประเมินความเสียหายแล้ว เป็นการนำเทคนิควิธีการต่างๆที่มีความเหมาะสมกับประเภทของความเสียหายที่เกิดขึ้นเข้ามาดำเนินการ เพื่อยับยั้งความเสียหายที่อาจจะเกิดหรือเกิดแล้วไม่ให้ขยายตัวเป็นปัญหาใหญ่และใช้งบประมาณที่สูงขึ้น ตลอดจนการอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยด้านการจราจรแก่ผู้สัญจร เช่นการซ่อมแซมรอยแตกบนผิวทางโดยการอุดรอยแตกแล้วไม่ให้น้ำไหลลงสู่โครงสร้างชั้นทาง เพื่อชะลอการเคลื่อนตัวของคันทางเนื่องจากความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างชั้นทางจะลดลง หรือการติดตั้งป้ายเตือนชั่วคราวหากผิวจราจรเกิดความเสียหายและอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง

การแก้ไขปัญหแบบปกติ คือการเข้าปฏิบัติการแก้ไขซ่อมแซมปัญหาการพังทลายของคันทางที่ช่วยให้คันทางสามารถเปิดใช้งานได้ตามปกติ และจะนำมาพิจารณาก่อสร้างเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งานของคันทางที่ได้รับการแก้ไขเร่งด่วนแล้ว แต่ยังพบว่าคันทางดังกล่าวมีโอกาสพังทลายได้อีกในอนาคตหรือจุดที่เกิดความเสียหายอยู่ในสายทางที่สำคัญ เส้นทางเสี่ยงอยู่ไกล หากเกิดความเสียหายจะเกิดผลกระทบต่อประชาชนเป็นอย่างมาก

หลักเกณฑ์การเลือกการปฏิบัติงานแก้ไขแบบเร่งด่วนหรือแบบปกตินั้นพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความเสียหายเบื้องต้น และนำมาประเมินความเสียหายถึงระดับความรุนแรง การขยายตัวของปัญหา และผลกระทบต่อการสัญจรไปมาของประชาชน ขั้นตอนในการพิจารณาดำเนินการแก้ไขความเสียหายสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การพิจารณาดำเนินการแก้ไขคันทางเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น

6.3. แนวทางการแก้ไขปัญหาค่าเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วน

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการแก้ไขปัญหาคันทางแบบเร่งด่วน คือการเข้าปฏิบัติการในพื้นที่เสียหายอย่างรวดเร็วที่สุด เพื่อยับยั้งความเสียหายที่อาจจะเกิดหรือเกิดแล้วไม่ให้ขยายตัวเป็นปัญหาใหญ่ ตลอดจนการอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยด้านการจราจรแก่ผู้สัญจร เช่น การซ่อมแซมรอยแตกบนผิวทาง หรือการติดตั้งป้ายเตือนชั่วคราวหากผิวจราจรเกิดความเสียหายและอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง ดังนั้นการแก้ไขปัญหาค่าเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วนเป็นภาระหน้าที่ที่จะต้องรีบดำเนินการยับยั้งปัญหาให้ได้มากที่สุดและเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อรอการวิเคราะห์แก้ไขแบบปกติ โดยผู้ที่เข้าไปปฏิบัติงานจะต้องทำการสำรวจความเสียหายเบื้องต้นเพื่อเก็บรายละเอียดของความเสียหายที่เกิดขึ้น และนำมาพิจารณาประเมินขนาด ระดับความรุนแรงและความซับซ้อนเพื่อหาวิธีการแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

การแก้ไขปัญหาค่าเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วน มีแนวทางและข้อที่ควรพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางดังนี้

- 1 เทคนิคการก่อสร้าง
- 2 ระยะเวลาดำเนินการ
- 3 งบประมาณในการก่อสร้าง
- 4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

6.3.1. เทคนิคการก่อสร้าง

เทคนิคการก่อสร้างหรือวิธีการก่อสร้างควรนำมาพิจารณาใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางแบบเร่งด่วน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือการเปิดการจราจรให้เร็วที่สุด เพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อประชาชน วิธีการแก้ไขต้องสามารถปฏิบัติได้ด้วยวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว ไม่ซับซ้อนมาก รวมถึงวัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุท้องถิ่นซึ่งไม่ต้องเสียระยะเวลาในการรอคอยวัสดุจากส่วนกลาง

6.3.2 ระยะเวลาดำเนินการ

เมื่อคันทางในสายทางเกิดการพังทลายหรือเกิดความเสียหาย ในขั้นแรกควรจัดการพื้นที่เพื่อให้เปิดใช้งานในส่วนที่เหลือโดยไม่กระทบต่อความปลอดภัยให้เร็วที่สุด ขณะเดียวกันต้องทำการสำรวจพื้นที่เพื่อนำข้อมูลมาประเมินความเสียหายและอำนวยความสะดวกแก่ประชาชนผู้สัญจรไปมา

6.3.3 งบประมาณในการก่อสร้าง

หน่วยงานที่รับผิดชอบต้องรับผิดชอบดำเนินการสำรวจพื้นที่คันทางที่ได้รับความเสียหายและประเมินระดับความรุนแรงเพื่อเบิกจ่ายงบประมาณสำหรับการแก้ไขปัญห ในกรณีที่ความเสียหายอยู่ในระดับไม่รุนแรง การแก้ไขหรือป้องกัน หน่วยงานในท้องถิ่นอาจดำเนินการเองได้ หากผลประเมินพบว่าความเสียหายอยู่ในระดับซับซ้อนรุนแรงและปรากฏพื้นที่เสียหาย

6.3.4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

วัสดุที่ใช้สำหรับการซ่อมแซมแก้ไขในกรณีเร่งด่วนควรเป็นวัสดุที่มีแหล่งอยู่ในท้องถิ่น เพราะสามารถจัดหามาใช้ได้ในทันทีไม่ต้องเสียระยะเวลาในการรอคอยวัสดุที่ต้องทำการจัดซื้อหรือขนส่งมาจากต่างถิ่น นอกจากนี้ควรมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้ในการป้องกันความเสียหาย ซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้ความเสียหายเกิดขึ้นก่อนและยังประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซม

6.4 แนวทางการแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทางแบบปกติ

การแก้ไขปัญหาแบบปกติ คือการเข้าปฏิบัติการแก้ไขซ่อมแซมปัญหาการพังทลายของคันทางที่ช่วยให้คันทางมีอายุการใช้งานได้มั่นคงถาวร และจะนำมาพิจารณาก่อสร้างเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งานของคันทางที่ได้รับการแก้ไขเร่งด่วนแล้ว แต่ยังพบว่าคันทางดังกล่าวมีโอกาสพังทลายได้อีกในอนาคตหรือจุดที่เกิดความเสียหายอยู่ในสายทางที่สำคัญ เส้นทางเสี่ยงอยู่ไกล หากเกิดความเสียหายจะเกิดผลกระทบต่อประชาชนเป็นอย่างมาก

การแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทางแบบปกติจำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค การสำรวจชั้นดิน การทดสอบดินทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ เพื่อให้งานแก้ไขซ่อมแซมมีประสิทธิภาพ ควรมีข้อพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางแบบปกติดังนี้

- 1 เทคนิคการก่อสร้าง
- 2 ระยะเวลาดำเนินการ
- 3 งบประมาณในการก่อสร้าง
- 4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

6.4.1 เทคนิคก่อสร้าง

เทคนิคการก่อสร้างหรือวิธีการก่อสร้างที่นำมาพิจารณาใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางแบบปกติ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือการแก้ปัญหาการพังทลายของคันทางไม่ให้เกิดขึ้นอีกในระยะเวลาอันสั้น วิธีการแก้ไขต้องสามารถปฏิบัติได้ด้วยวิธีการที่ผ่านการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ อาจเป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือเครื่องจักรรวมถึงความสามารถของผู้รับจ้างค่อนข้างสูง

รวมถึงวัสดุที่ใช้อาจเป็นวัสดุท้องถิ่นสำหรับวัสดุทั่วไปและอาจจัดหาโดยผู้รับจ้างหากเป็นวัสดุที่ไม่ได้ใช้แพร่หลาย

6.4.2 ระยะเวลาดำเนินการ

เมื่อคันทางในสายทางเกิดการพังทลายหรือเกิดความเสียหาย หลังจากที่มีการซ่อมแซมแก้ไขแบบเร่งด่วนและเปิดใช้งานสายทางแล้ว หากมีความจำเป็นต้องทำการซ่อมแซมแบบปกติต่อ ควรทำการประชาสัมพันธ์ให้ผู้สัญจรไปมาทราบถึงระยะเวลาที่จะดำเนินการรวมถึงเส้นทางหลีกเลี่ยงที่ใกล้เคียง และควรมีการวางแผนการก่อสร้างให้รัดกุมไม่ให้เกิดความล่าช้าออกไป

6.4.3 งบประมาณในการก่อสร้าง

หน่วยงานที่รับผิดชอบต้องรีบดำเนินการสำรวจพื้นที่คันทางที่ได้รับความเสียหายและประเมินระดับความรุนแรงเพื่อเบิกจ่ายงบประมาณสำหรับการแก้ไขปัญหา ในกรณีที่ความเสียหายอยู่ในระดับรุนแรง การแก้ไขหรือป้องกัน หน่วยงานในท้องถิ่นอาจดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมให้สามารถเปิดใช้งานได้ก่อน พร้อมกับวางแผนการก่อสร้างและจัดหางบประมาณสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมแบบถาวรต่อไปด้วย

6.4.4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

การส่งเสริมให้ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่นยังคงต้องมีการส่งเสริมอยู่เพื่อลดการขนส่ง อาจมีการเก็บตัวอย่างในท้องถิ่นไปทดสอบประกอบการวิเคราะห์ออกแบบเพิ่มเติมจากการแก้ไขแบบเร่งด่วนภายหลัง

แนวทางการแก้ไขปัญหาค่าความเสียหายของคันทาง

6.1. การแก้ไขปัญหาค่าความเสียหายของคันทาง

โครงสร้างลาดคันทางเกิดจากการนำวัสดุประเภทดินและหินมาบดอัดขึ้นเป็นโครงสร้างถนน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสภาพธรรมชาติโดยมนุษย์จึงส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของคันทางขึ้นได้ โดยเฉพาะเมื่อมีถนนเกิดขึ้นอัตราการขยายตัวของชุมชนและจำนวนประชากรก็จะเพิ่มขึ้นภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

ความเสียหายของคันทางจึงถือได้ว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและควรให้ความสนใจ เพราะการเกิดการพังทลายของโครงสร้างคันทางสามารถสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้เป็นจำนวนมาก การแก้ไขซ่อมแซมจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

การแก้ไขปัญหาค่าความเสียหายของถนนเลียบคันคลองต้องดูจากระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ในบทที่ 2 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

- 1 การแก้ไขปัญหาลาดแบบเร่งด่วน
- 2 การแก้ไขปัญหาลาดแบบปกติ

6.1.1. การแก้ไขปัญหาลาดแบบเร่งด่วน (ชั่วคราวหรือระยะสั้น) คือ การแก้ไขความเสียหายของคันทางเฉพาะหน้าและทำให้ถนนหรือสายทางสามารถเปิดใช้งานได้รวดเร็วที่สุดโดยปลอดภัย วิธีการนี้จะต้องพิจารณานำมาใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- เพื่อเปิดการจราจรให้เร็วที่สุดภายหลังจากเกิดความเสียหายต่อคันทาง
- เพื่อซ่อมแซมกรณีที่มีความเสียหายอาจจะขยายตัวลุกลามจนเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายขนาดใหญ่ตามมา
- ใช้กับลาดคันทางที่มีแนวโน้มจะเกิดการพังทลายในอนาคตอันใกล้

6.1.2. การแก้ไขปัญหาลาดแบบปกติ คือการแก้ไขความเสียหายของคันทางที่ทำให้ถนนหรือสายทางสามารถใช้งานได้ปกติ วิธีการนี้จะต้องพิจารณานำมาใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- หลังจากได้ทำการแก้ไขแบบเร่งด่วนไปแล้ว

- จุดที่เกิดความเสียหายเป็นสายทางที่มีการจราจรสูง เส้นทางเลี้ยวมีระยะทางไกล
- จุดที่เกิดความเสียหายส่งผลกระทบต่อประชาชนจำนวนมาก
- เป็นกรณีที่มีความเสียหายมีความซับซ้อน

ตารางที่ 6.1 แสดงการเลือกใช้วิธีการป้องกันหรือแก้ไข

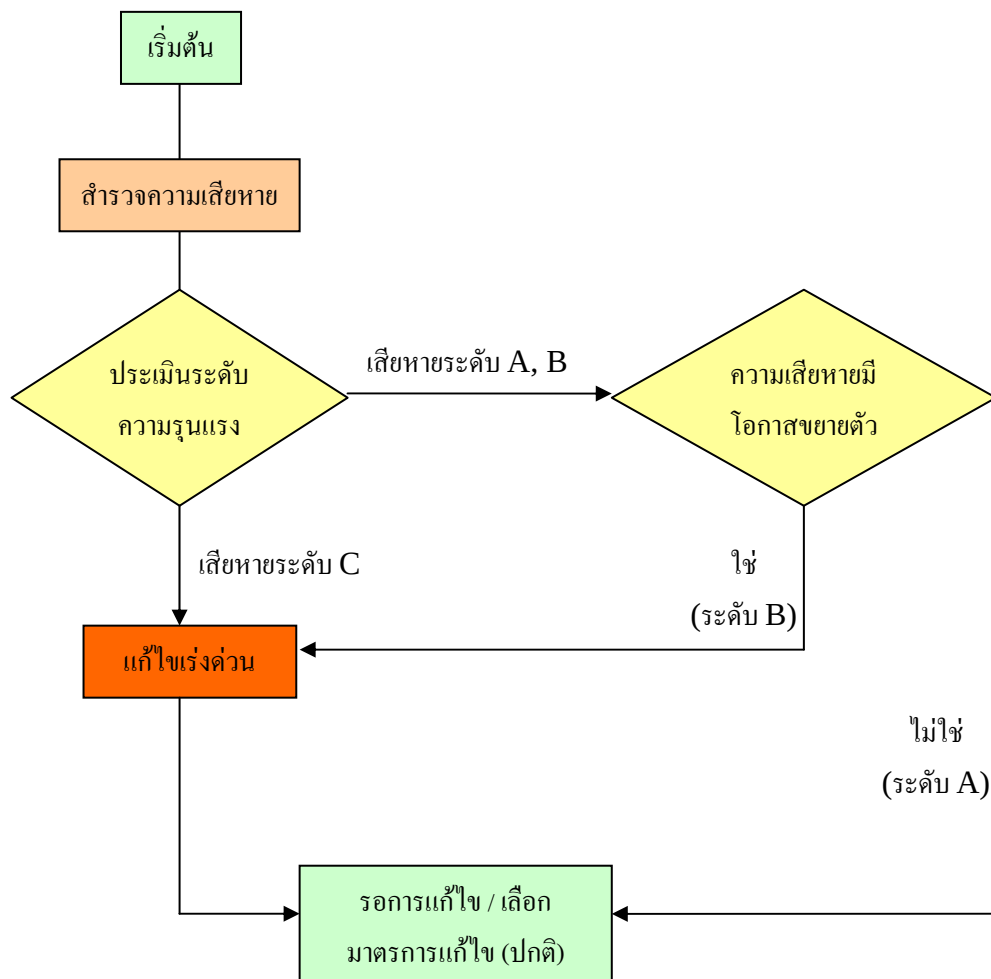
ปัญหา วิธีแก้ไข	กรณีถนนที่เกิดความเสียหายแล้ว		กรณีถนนที่ก่อสร้างใหม่
	เร่งด่วน	ปกติ	
1. การใช้วัสดุมูลเบา			●
2. การปรับเปลี่ยนหน้าตัด		●	●
3. การใช้กล่องลดตาข่าย		●	●
4. การใช้เสาเข็มฯ	●		
5. การใช้วัสดุรับแรงดึง		●	●
6. การใช้กำแพงกันดิน		●	●
7. การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด	●		●
8. การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ฯ			●

6.2. เกณฑ์การเลือกการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันแบบเร่งด่วนและปกติ

การแก้ไขปัญหแบบเร่งด่วน คือการเข้าปฏิบัติการในพื้นที่เสียหายอย่างรวดเร็วที่สุด หลังจากได้ทำการสำรวจความเสียหายและประเมินความเสียหายแล้ว เป็นการนำเทคนิควิธีการต่างๆที่มีความเหมาะสมกับประเภทของความเสียหายที่เกิดขึ้นเข้ามาดำเนินการ เพื่อยับยั้งความเสียหายที่อาจจะเกิดหรือเกิดแล้วไม่ให้ขยายตัวเป็นปัญหาใหญ่และใช้งบประมาณที่สูงขึ้น ตลอดจนการอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยด้านการจราจรแก่ผู้สัญจร เช่นการซ่อมแซมรอยแตกบนผิวทางโดยการอุดรอยแตกแล้วไม่ให้น้ำไหลลงสู่โครงสร้างชั้นทาง เพื่อชะลอการเคลื่อนตัวของคันทางเนื่องจากความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างชั้นทางจะลดลง หรือการติดตั้งป้ายเตือนชั่วคราวหากผิวจราจรเกิดความเสียหายและอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง

การแก้ไขปัญหแบบปกติ คือการเข้าปฏิบัติการแก้ไขซ่อมแซมปัญหาการพังทลายของคันทางที่ช่วยให้คันทางสามารถเปิดใช้งานได้ตามปกติ และจะนำมาพิจารณาก่อสร้างเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งานของคันทางที่ได้รับการแก้ไขเร่งด่วนแล้ว แต่ยังพบว่าคันทางดังกล่าวมีโอกาสพังทลายได้อีกในอนาคตหรือจุดที่เกิดความเสียหายอยู่ในสายทางที่สำคัญ เส้นทางเสี่ยงอยู่ไกล หากเกิดความเสียหายจะเกิดผลกระทบต่อประชาชนเป็นอย่างมาก

หลักเกณฑ์การเลือกการปฏิบัติงานแก้ไขแบบเร่งด่วนหรือแบบปกตินั้นพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความเสียหายเบื้องต้น และนำมาประเมินความเสียหายถึงระดับความรุนแรง การขยายตัวของปัญหา และผลกระทบต่อการสัญจรไปมาของประชาชน ขั้นตอนในการพิจารณาดำเนินการแก้ไขความเสียหายสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การพิจารณาดำเนินการแก้ไขคันทางเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น

6.3. แนวทางการแก้ไขปัญหาค่าเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วน

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการแก้ไขปัญหาคันทางแบบเร่งด่วน คือการเข้าปฏิบัติการในพื้นที่เสียหายอย่างรวดเร็วที่สุด เพื่อยับยั้งความเสียหายที่อาจจะเกิดหรือเกิดแล้วไม่ให้ขยายตัวเป็นปัญหาใหญ่ ตลอดจนการอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยด้านการจราจรแก่ผู้สัญจร เช่น การซ่อมแซมรอยแตกบนผิวทาง หรือการติดตั้งป้ายเตือนชั่วคราวหากผิวจราจรเกิดความเสียหายและอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง ดังนั้นการแก้ไขปัญหาค่าเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วนเป็นภาระหน้าที่ที่จะต้องรีบดำเนินการยับยั้งปัญหาให้ได้มากที่สุดและเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อรอการวิเคราะห์แก้ไขแบบปกติ โดยผู้ที่เข้าไปปฏิบัติงานจะต้องทำการสำรวจความเสียหายเบื้องต้นเพื่อเก็บรายละเอียดของความเสียหายที่เกิดขึ้น และนำมาพิจารณาประเมินขนาด ระดับความรุนแรงและความซับซ้อนเพื่อหาวิธีการแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

การแก้ไขปัญหาค่าเสียหายของคันทางแบบเร่งด่วน มีแนวทางและข้อที่ควรพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางดังนี้

- 1 เทคนิคการก่อสร้าง
- 2 ระยะเวลาดำเนินการ
- 3 งบประมาณในการก่อสร้าง
- 4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

6.3.1. เทคนิคการก่อสร้าง

เทคนิคการก่อสร้างหรือวิธีการก่อสร้างควรนำมาพิจารณาใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางแบบเร่งด่วน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือการเปิดการจราจรให้เร็วที่สุด เพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อประชาชน วิธีการแก้ไขต้องสามารถปฏิบัติได้ด้วยวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว ไม่ซับซ้อนมาก รวมถึงวัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุท้องถิ่นซึ่งไม่ต้องเสียระยะเวลาในการรอคอยวัสดุจากส่วนกลาง

6.3.2 ระยะเวลาดำเนินการ

เมื่อคันทางในสายทางเกิดการพังทลายหรือเกิดความเสียหาย ในขั้นแรกควรจัดการพื้นที่เพื่อให้เปิดใช้งานในส่วนที่เหลือโดยไม่กระทบต่อความปลอดภัยให้เร็วที่สุด ขณะเดียวกันต้องทำการสำรวจพื้นที่เพื่อนำข้อมูลมาประเมินความเสียหายและอำนวยความสะดวกแก่ประชาชนผู้สัญจรไปมา

6.3.3 งบประมาณในการก่อสร้าง

หน่วยงานที่รับผิดชอบต้องรับผิดชอบดำเนินการสำรวจพื้นที่คันทางที่ได้รับความเสียหายและประเมินระดับความรุนแรงเพื่อเบิกจ่ายงบประมาณสำหรับการแก้ไขปัญห ในกรณีที่ความเสียหายอยู่ในระดับไม่รุนแรง การแก้ไขหรือป้องกัน หน่วยงานในท้องถิ่นอาจดำเนินการเองได้ หากผลประเมินพบว่าความเสียหายอยู่ในระดับซับซ้อนรุนแรงและปรากฏพื้นที่เสียหาย

6.3.4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

วัสดุที่ใช้สำหรับการซ่อมแซมแก้ไขในกรณีเร่งด่วนควรเป็นวัสดุที่มีแหล่งอยู่ในท้องถิ่น เพราะสามารถจัดหามาใช้ได้ในทันทีไม่ต้องเสียระยะเวลาในการรอคอยวัสดุที่ต้องทำการจัดซื้อหรือขนส่งมาจากต่างถิ่น นอกจากนี้ควรมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้ในการป้องกันความเสียหาย ซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้ความเสียหายเกิดขึ้นก่อนและยังประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซม

6.4 แนวทางการแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทางแบบปกติ

การแก้ไขปัญหาแบบปกติ คือการเข้าปฏิบัติการแก้ไขซ่อมแซมปัญหาการพังทลายของคันทางที่ช่วยให้คันทางมีอายุการใช้งานได้มั่นคงถาวร และจะนำมาพิจารณาก่อสร้างเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งานของคันทางที่ได้รับการแก้ไขเร่งด่วนแล้ว แต่ยังพบว่าคันทางดังกล่าวมีโอกาสพังทลายได้อีกในอนาคตหรือจุดที่เกิดความเสียหายอยู่ในสายทางที่สำคัญ เส้นทางเสี่ยงอยู่ไกล หากเกิดความเสียหายจะเกิดผลกระทบต่อประชาชนเป็นอย่างมาก

การแก้ไขปัญหาความเสียหายของคันทางแบบปกติจำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค การสำรวจชั้นดิน การทดสอบดินทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ เพื่อให้งานแก้ไขซ่อมแซมมีประสิทธิภาพ ควรมีข้อพิจารณาในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางแบบปกติดังนี้

- 1 เทคนิคการก่อสร้าง
- 2 ระยะเวลาดำเนินการ
- 3 งบประมาณในการก่อสร้าง
- 4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

6.4.1 เทคนิคก่อสร้าง

เทคนิคการก่อสร้างหรือวิธีการก่อสร้างที่นำมาพิจารณาใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมคันทางแบบปกติ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือการแก้ปัญหาการพังทลายของคันทางไม่ให้เกิดขึ้นอีกในระยะเวลาอันสั้น วิธีการแก้ไขต้องสามารถปฏิบัติได้ด้วยวิธีการที่ผ่านการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ อาจเป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือเครื่องจักรรวมถึงความสามารถของผู้รับจ้างค่อนข้างสูง

รวมถึงวัสดุที่ใช้อาจเป็นวัสดุท้องถิ่นสำหรับวัสดุทั่วไปและอาจจัดหาโดยผู้รับจ้างหากเป็นวัสดุที่ไม่ได้ใช้แพร่หลาย

6.4.2 ระยะเวลาดำเนินการ

เมื่อค้นทางในสายทางเกิดการพังทลายหรือเกิดความเสียหาย หลังจากที่มีการซ่อมแซมแก้ไขแบบเร่งด่วนและเปิดใช้งานสายทางแล้ว หากมีความจำเป็นต้องทำการซ่อมแซมแบบปกติต่อ ควรทำการประชาสัมพันธ์ให้ผู้สัญจรไปมาทราบถึงระยะเวลาที่จะดำเนินการรวมถึงเส้นทางหลีกเลี่ยงที่ใกล้เคียง และควรมีการวางแผนการก่อสร้างให้รัดกุมไม่ให้เกิดความล่าช้าออกไป

6.4.3 งบประมาณในการก่อสร้าง

หน่วยงานที่รับผิดชอบต้องรีบดำเนินการสำรวจพื้นที่คันทางที่ได้รับความเสียหายและประเมินระดับความรุนแรงเพื่อเบิกจ่ายงบประมาณสำหรับการแก้ไขปัญหา ในกรณีที่ความเสียหายอยู่ในระดับรุนแรง การแก้ไขหรือป้องกัน หน่วยงานในท้องถิ่นอาจดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมให้สามารถเปิดใช้งานได้ก่อน พร้อมกับวางแผนการก่อสร้างและจัดหางบประมาณสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมแบบถาวรต่อไปด้วย

6.4.4 การประยุกต์ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

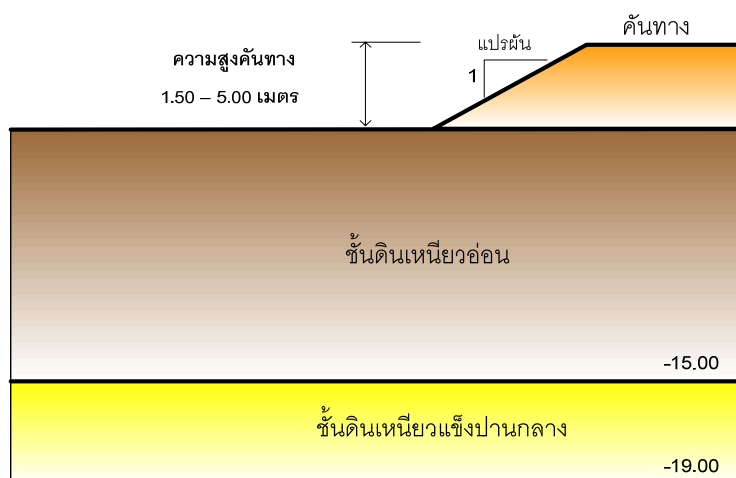
การส่งเสริมให้ใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่นยังคงต้องมีการส่งเสริมอยู่เพื่อลดการขนส่ง อาจมีการเก็บตัวอย่างในท้องถิ่นไปทดสอบประกอบการวิเคราะห์ออกแบบเพิ่มเติมจากการแก้ไขแบบเร่งด่วนภายหลัง

7.1 ความชันด้านข้างของลาดคันทาง

ความชันด้านข้างหรือลาดชันด้านข้างของคันทางตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน กรมทางหลวงชนบท พ.ศ. 2545 ได้กำหนดลาดชันด้านข้างไว้ที่แนวดิ่งต่อแนวนราบเท่ากับ 1:2 (V:H) การเพิ่มความลาดชันด้านข้างให้กับลาดคันทางคือการปรับปรุงให้ลาดชันด้านข้างมีความชันมากขึ้น เพื่อให้สามารถก่อสร้างหรือปรับปรุงความกว้างของผิวจราจรให้ได้ตามมาตรฐานในขณะที่มีฐานคันทางกว้างเท่าเดิม ซึ่งสามารถนำไปใช้ในบริเวณที่มีความกว้างของขอบเขตทางจำกัด หรือไม่สามารถขยายฐานของคันทางได้

7.2 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการเพิ่มความลาดชัน

ในการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย จากกรณีสมมุติของถนนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา กำหนดให้คุณสมบัติของดินเป็นไปตามมาตรฐานงานก่อสร้างของกรมทางหลวงชนบท ไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ความชันด้านข้างของคันทางเพิ่มจาก 1:2 (V:H) เป็น 1:1.75, 1:1.50, 1:1.25 และ 1:1 โดยเริ่มทำการวิเคราะห์ที่ความสูงของคันทางที่ 1.50 เมตร เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.50 เมตร จนถึงความสูงของคันทางที่ 5.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7.1

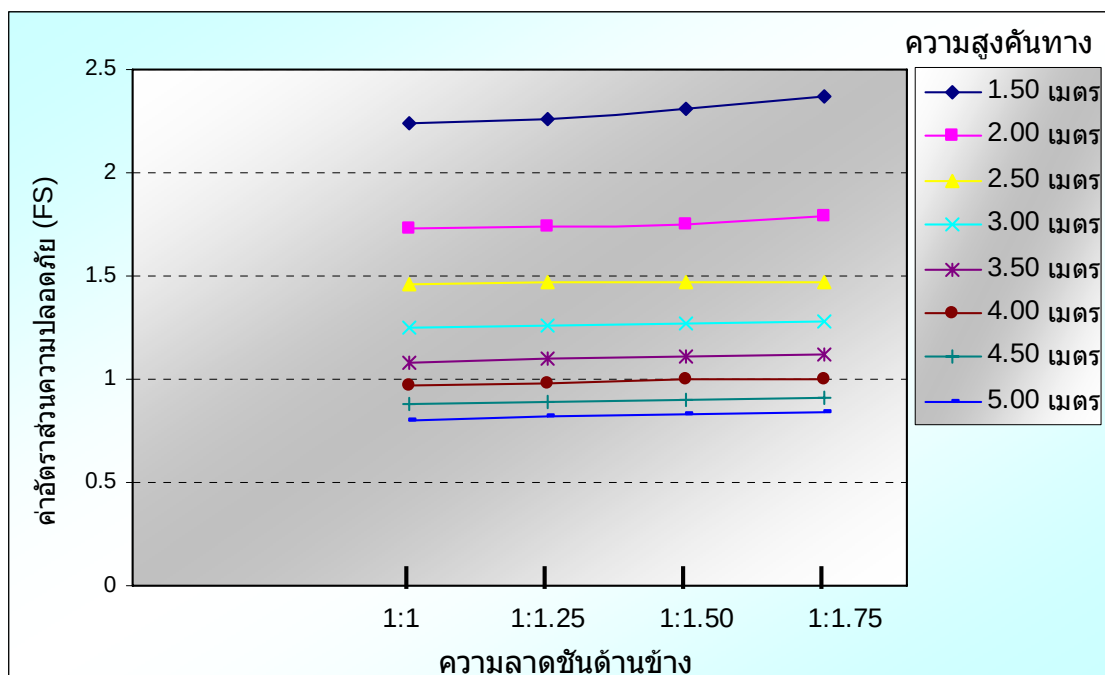


รูปที่ 7.1 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์การเพิ่มความสูงคันทางและเพิ่มความลาดชัน

จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของถนนที่เพิ่มความสูง และความชันด้านข้างของคันทางในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้ความชันด้านข้างที่อัตราส่วน 1:1.75, 1:1.50, 1:1.25 และ 1:1 พร้อมกับเพิ่มความสูงของถนนจาก 1.50 เมตร ไปจนถึง 5.00 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 7.1 และแสดงผลการวิเคราะห์แบบกราฟในรูปที่ 7.2

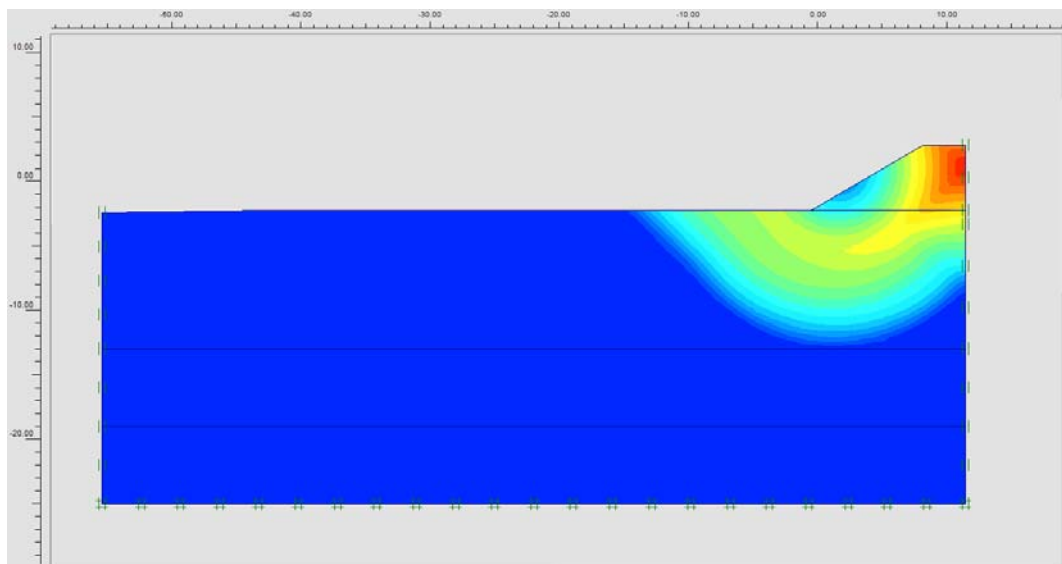
ตารางที่ 7.1 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของถนนจากการวิเคราะห์ เมื่อแปรผันความสูงและความลาดชันด้านข้างของคันทาง (ผลการวิเคราะห์ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา)

ความสูงคันทาง (เมตร)	ความลาดชันด้านข้าง (แนวตั้ง:แนวนอน)				
	1:1.75	1:1.50	1:1.25	1:1	
1.50	2.370	2.311	2.258	2.242	มีเสถียรภาพใช้งานได้ปกติ
2.00	1.789	1.754	1.743	1.733	
2.50	1.475	1.470	1.467	1.456	
3.00	1.280	1.266	1.257	1.246	มีความเสี่ยงควบคุมการใช้งาน
3.50	1.120	1.113	1.101	1.083	
4.00	1.002	0.996	0.984	0.972	หาวิธีป้องกันแก้ไขก่อนใช้งาน
4.50	0.915	0.904	0.890	0.883	
5.00	0.838	0.828	0.818	0.804	



รูปที่ 7.2 กราฟค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของถนนจากการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อความลาดชันด้านข้างของคันทางมีความชันมากขึ้น เสถียรภาพของคันทางก็จะมีค่าลดต่ำลงในทุกระดับความสูงของคันทาง และเมื่อเพิ่มความสูงของคันทางจาก 1.50 เมตรจนถึงระดับความสูง 5.00 เมตร เสถียรภาพของคันทางก็จะมีค่าลดต่ำลงในทุกระดับความลาดชันด้านข้างที่ใช้ในการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน ระดับความสูงของคันทางที่ 1.50 เมตรและ 2.00 เมตร จะทำให้คันทางมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่า 1.50 ในทุกระดับความลาดชันด้านข้างที่วิเคราะห์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบถนนทั่วไป และระดับความสูงของคันทางที่ 2.50 เมตรถึง 3.50 เมตร คันทางจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.00 ถึง 1.50 ซึ่งสามารถใช้งานได้บางกรณีโดยไม่ทำให้คันทางเกิดความเสียหายขึ้น เช่น เปิดให้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลสามารถใช้งานได้ และห้ามรถบรรทุกขนาดใหญ่ผ่าน หรือคอยตรวจเช็คระดับความสูงของน้ำในลำคลองด้านข้างอย่างสม่ำเสมอไม่ให้ลดต่ำลงกว่านี้ ในขณะที่เดียวกันต้องหาวิธีการเพิ่มค่าอัตราส่วนความปลอดภัยให้สูงขึ้นและทำการวิเคราะห์เสถียรภาพอย่างต่อเนื่อง ส่วนที่ระดับความสูงของคันทางมากกว่า 3.50 เมตรขึ้นไปจะทำให้คันทางมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่า 1.00 ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่คันทางจะเกิดการพังทลาย ดังนั้นจึงควรหาวิธีป้องกันการเกิดการพังทลายด้วยวิธีการต่างๆ โดยการพังทลายที่เกิดขึ้นจะเป็นการพังทลายลงไปในดินฐานราก เนื่องจากน้ำหนักของคันทางที่เพิ่มมากขึ้นและลาดชันด้านข้างมีความชันมากกว่าปกติ ทำให้น้ำหนักค้ำยันบริเวณฐานของลาดชัน (Toe Slope) น้อยลงจึงเกิดการพังทลายเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7.3 และรายละเอียดผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.3 แสดงการเกิดการพังทลายของคันทางที่เกิดขึ้น

ดังนั้นหากต้องการก่อสร้างคันทางที่มีความลาดชันด้านข้างชันกว่าลาดชันปกติที่แบบมาตรฐานคือระยะแนวตั้งต่อแนวราบเท่ากับ 1:2 และมีความสูงของถนนมากกว่า 2.0 เมตร หากผลการวิเคราะห์แสดงว่าเสถียรภาพของคันทางดังกล่าวต่ำกว่า 1.50 แล้วจะต้องทำการเลือกพิจารณาวิธีการในการปรับปรุงลาดชันด้านข้างให้สามารถก่อสร้างด้วยความชันมากขึ้นได้

Multipliers			
	Incremental Multipliers		Total Multipliers
Step info			
Step : 30 of 30	Extrapolation factor :		1.000
PLASTIC STEP	Relative stiffness :		0.000
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp: 0.000
Contraction tunnel A	McontrA:	0.000	Σ -McontrA: 0.000
Contraction tunnel B	McontrB:	0.000	Σ -McontrB: 0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA: 0.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB: 0.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight: 1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel: 0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ -Msf: 1.266
Time	Mtime:	0.000	Σ -Mtime: 0.000

รูปที่ 7.4 รายละเอียดผลการวิเคราะห์

7.3 วิธีการปรับปรุงลาดชันด้านข้างของคันทาง

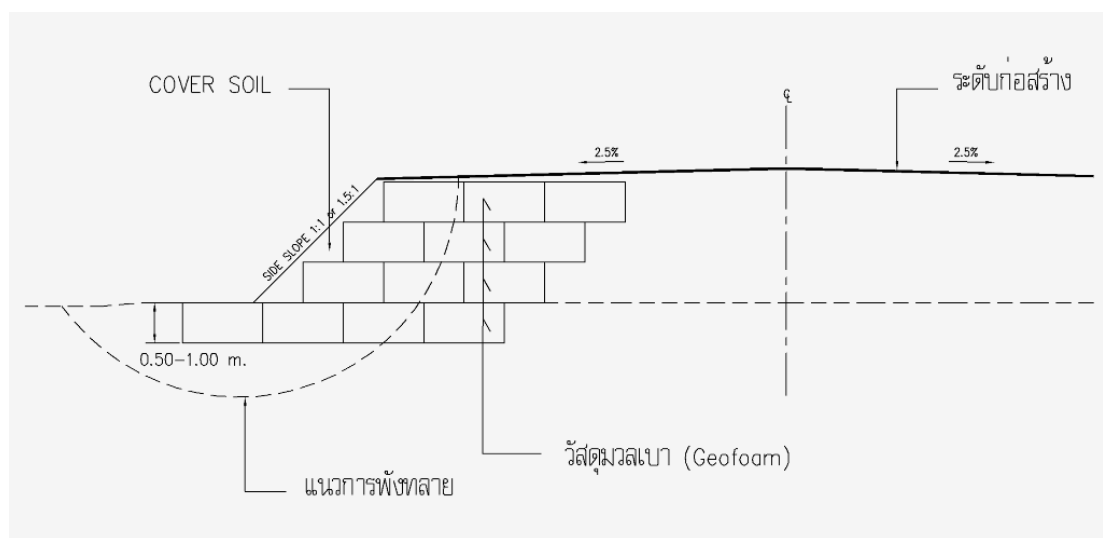
วิธีการในการปรับปรุงลาดชันด้านข้างให้สามารถก่อสร้างให้มีความชันมากขึ้นนั้น จากการพิจารณารูปแบบและวิธีการในการปรับปรุงเสถียรภาพของคันทางทั้งหมด ที่ปรึกษาได้เสนอวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขซ่อมแซมและก่อสร้างใหม่ไว้ทั้งหมด 6 วิธี ได้แก่

1. การลดน้ำหนักโดยใช้วัสดุมวลเบา
2. การเพิ่มแรงต้านโดยใช้กล่องลวดตาข่าย
3. การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง
4. การใช้กำแพงกันดิน
5. การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด
6. การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์

วิธีที่ 1 การลดน้ำหนักโดยใช้วัสดุมวลเบา

การนำวัสดุมวลเบามาใช้เป็นวัสดุคันทางเพื่อลดน้ำหนักที่กระทำและเพิ่มเสถียรภาพของคันทาง สามารถทำให้ก่อสร้างคันทางโดยมีความลาดชันด้านข้างเพิ่มขึ้นได้ วัสดุมวลเบาที่นิยมใช้ในการก่อสร้างเป็นคันทางมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ วัสดุ EPS Block หรือ Geofoam ทั่วไปผลิตเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีความกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และหนา 0.50 เมตร (ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร) และอีกชนิดหนึ่งคือ Air Foamed Stabilized Soil เป็นการนำดินมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยปูนซีเมนต์ผสมน้ำยาเคมี (Foaming agent) การพิจารณาเลือกใช้ชนิดใดขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ในการทำงานและปริมาณดินที่ต้องการปรับปรุง เพราะการใช้วัสดุมวลเบาชนิด Air Foamed Stabilized Soil จำเป็นต้องมีพื้นที่บริเวณหนึ่งสำหรับอุปกรณ์ในการผสมและเตรียมวัสดุ อีกทั้งปริมาณดินที่ปรับปรุงควรจะต้องมากพอที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าในการเคลื่อนย้ายและเตรียมเครื่องมือ ดังนั้นวัสดุมวลเบาชนิดนี้จึงเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างคันทางใหม่ที่มีปริมาณดินที่ปรับปรุงมากพอสมควร

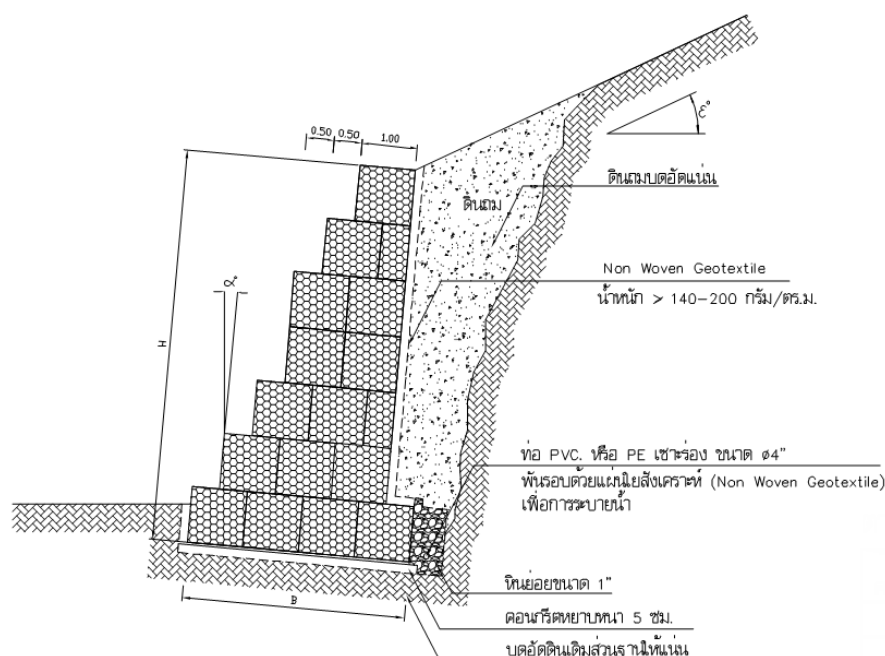
ส่วนวัสดุชนิด Geofoam สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขซ่อมแซมบริเวณที่เกิดความเสียหายบางส่วน ดังแสดงในแบบแนะนำรูปที่ 7.5 ข้อควรระวังสำหรับวิธีการปรับปรุงแก้ไขวิธีนี้คือในบริเวณที่ดินฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ปริมาณการทรุดตัวอาจจะมีปริมาณสูงอยู่เนื่องจากการบีบอัดตัวคายน้ำที่เกิดขึ้นในชั้นดินเอง และด้านราคาของสารเคมีจากต่างประเทศที่ยังมีราคาสูงอยู่ จึงควรมีการศึกษาโดยการนำสารเคมีที่มีอยู่ในประเทศไทยมาทำเป็นโฟม (Foaming agent) แทนสารเคมีจากต่างประเทศ



รูปที่ 7.5 แสดงแบบแนะนำในการแก้ไขซ่อมแซมด้วยวัสดุมวลเบา

วิธีที่ 2 การเพิ่มแรงต้านโดยใช้กล่องลวดตาข่าย (Gabion)

การใช้กล่องลวดตาข่ายบรรจุหิน (Gabion) เป็นการเพิ่มแรงต้านโดยใช้น้ำหนักของกล่องลวดตาข่ายที่เรียงซ้อนกัน ทำให้สามารถก่อสร้างคันทางโดยมีความลาดชันด้านข้างเพิ่มขึ้นได้โดยที่ลาดคันทางยังคงมีเสถียรภาพอยู่ และยังสามารถป้องกันปัญหาด้านการกัดเซาะจากกระแสน้ำในลำน้ำด้านข้างได้ วิธีการนี้เหมาะสมกับพื้นที่บริเวณที่มีดินฐานรากไม่ใช่ดินอ่อน เพราะหากดินฐานรากเป็นดินอ่อนการติดตั้งกล่องลวดตาข่ายบรรจุหินจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับคันทางทำให้มีเสถียรภาพต่ำและมีปริมาณทรุดตัวสูงในบริเวณที่ติดตั้งกล่องลวดตาข่ายเอง แต่หากจะใช้วิธีการแก้ปัญหาวิธีนี้ควรจะต้องพิจารณาปรับปรุงส่วนของดินฐานรากบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักกล่องลวดตาข่ายนี้เพิ่มเติม ดังแสดงในแบบแนะนำรูปที่ 7.6



α = มุมลาดเอียงของแนวกำแพง (ประมาณ 4°-6° องศา)

B = ความกว้างของฐานกำแพง Gabion (เมตร)

H = ความสูงของกำแพง Gabion (เมตร)

H/B = อัตราส่วนรูปทรงกำแพง

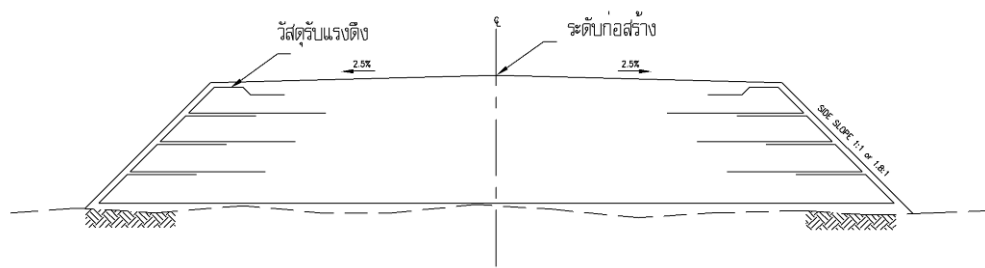
C = มุมลาดเอียงของเชิงลาด (องศา)

รูปที่ 7.6 แสดงตัวอย่างการใช้งานกล่องลวดตาข่ายในการเพิ่มความชันของคันทาง

วิธีที่ 3 การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง

การใช้วัสดุช่วยรับแรงดึงปูลงกับการบดอัดดินคันทางเป็นชั้นๆสลับกันไป ดังแสดงในรูปที่ 7.7 เพื่อช่วยให้สามารถทำการก่อสร้างถนนที่มีความลาดชันด้านข้างเพิ่มขึ้น โดยที่ไม่

เกิดการพังทลายในตัวของคันทางเอง วัสดุรับแรงดึงที่เสริมในคันทางจะเพิ่มแรงต้านทานในบริเวณที่อาจจะเกิดแนวของการพังทลาย และช่วยรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในตัวคันทาง การเลือกใช้วิธีปรับปรุงแก้ไขวิธีนี้จะต้องผ่านการวิเคราะห์แล้วว่าดินฐานรากจะต้องแข็งแรงพอที่จะไม่เกิดการพังทลายของคันทางขึ้นในชั้นดินฐานราก ไม่เช่นนั้นแล้วจะต้องพิจารณาการปรับปรุงแก้ไขวิธีอื่นร่วมด้วย เพื่อป้องกันการพังทลายที่อาจจะเกิดขึ้นในดินฐานราก



รูปที่ 7.7 แสดงการเสริมกำลังในคันทางโดยใช้วัสดุรับแรงดึง

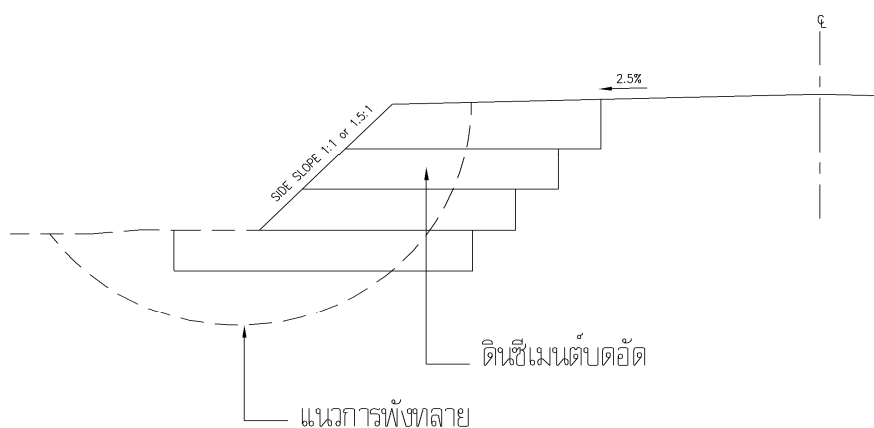
วิธีที่ 4 การใช้กำแพงกันดิน

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการรับแรงดันทางด้านข้าง ในที่นี้คือแรงดันทางด้านข้างที่เกิดจากการบดอัดดินคันทางสูงขึ้นไป โดยเฉพาะในกรณีที่ดินถมไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการทำเชิงลาด สามารถใช้ได้ ในกรณีที่ความลาดชันด้านข้างเกือบจะเป็นแนวตั้งนิยมใช้กำแพงกันดินในลักษณะ Cantilever wall หรือกำแพงกันดินในลักษณะที่มีค้ำยันเป็นระยะ (Counterfort wall) หรือกำแพงกันดินในลักษณะเสาเข็มตอกเสริมด้วยแผงกัน เพราะไม่ต้องใช้คอนกรีตปริมาณมากในการก่อสร้าง โครงสร้างกำแพงกันดินส่วนที่รับแรงอัดสามารถใช้การเสริมเหล็กช่วยในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ ข้อควรระวังสำหรับการออกแบบคือต้องคำนึงถึงการหมุนล้มของกำแพงเนื่องจากแรงดันด้านข้าง และการทรุดตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของกำแพงด้วย

วิธีที่ 5 การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด

การใช้ดินซีเมนต์เป็นดินถมคันทางเป็นการนำดินในบริเวณก่อสร้างมาผสมกับปูนซีเมนต์แล้วนำกลับไปถม ซึ่งดินซีเมนต์มีความแข็งแรงสูงมากสามารถทำให้มีความลาดชันสูงได้ วิธีปรับปรุงแก้ไขนี้สามารถใช้งานได้ทั้งในกรณีที่คันทางเกิดการพังทลายเกิดขึ้นแล้ว และทำการซ่อมแซมโดยใช้วัสดุดินผสมซีเมนต์ในส่วนที่ต้องมีการถมบดอัดซ่อมแซมใหม่ทั้งบริเวณไหล่ทางและบริเวณคันทาง หรือในกรณีที่มีการก่อสร้างคันทางบดอัดขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุดินผสม

ซีเมนต์เป็นวัสดุที่ใช้ในการบดอัดก่อสร้างคันทาง ข้อควรระมัดระวังในกรณีที่ใช้วิธีนี้สำหรับงานซ่อมแซมคือบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุดินซีเมนต์บดอัดกับวัสดุคันทางเดิม ควรทำการเตรียมบริเวณรอยต่อเป็นชั้นบันไดเพื่อให้เกิดการถ่ายน้ำหนักที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 7.8 หรือใช้แผ่นใยสังเคราะห์ชนิดที่รับแรงดึงเสริมบริเวณรอยต่อที่ทำการแก้ไขเพื่อป้องกันการเกิดรอยแตกเกิดขึ้น และการปรับปรุงแก้ไขวิธีนี้เป็นการปรับปรุงเฉพาะในตัวคันทางเอง ดังนั้นคุณสมบัติของดินฐานรากยังคงสภาพเดิมอยู่ หากเป็นบริเวณที่มีดินอ่อนเป็นดินฐานรากด้านล่างต้องพิจารณาเรื่องเสถียรภาพที่อาจจะเกิดขึ้นในดินฐานรากและปัญหาปริมาณการทรุดตัวที่เกิดจากการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินอ่อนเอง



รูปที่ 7.8 แสดงการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัด

วิธีที่ 6 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์

วิธีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เสริมกำลังในดินฐานรากจะเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างคันทางขึ้นใหม่ เพราะการปฏิบัติงานจะมีเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ใช้ในการผสมดินกับซีเมนต์ในดินฐานรากด้านล่าง ซึ่งในงานซ่อมแซมเป็นระยะทางสั้นๆ การขนย้ายเครื่องจักรขนาดใหญ่จะทำให้งบประมาณในการซ่อมแซมมีราคาสูงโดยไม่จำเป็น และการใช้งานเสาเข็มดินซีเมนต์ต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์หลังจากผสมกว่าจะรับน้ำหนักได้ ประโยชน์ของเสาเข็มดินซีเมนต์หากเป็นไปได้แนะนำให้ใช้การผสมแบบเปียก เพราะความสม่ำเสมอของเสาเข็มดินซีเมนต์จะมีความสม่ำเสมอดีกว่าการผสมแบบแห้ง และควรตรวจสอบขนาดของเสาเข็มดินซีเมนต์ให้มีขนาดตามที่กำหนด ไม่มีขนาดเล็กไปหรือใหญ่ไปจากข้อกำหนด หากมีขนาดเล็กไปพื้นที่ที่ได้รับการปรับปรุงจะมีขนาดน้อยลง แต่หากเสาเข็มดินซีเมนต์มีขนาดใหญ่ไปความเข้มข้นของปริมาณซีเมนต์ในเสาเข็มต้นดังกล่าวจะน้อยลงเช่นเดียวกัน การปรับปรุงแก้ไขวิธีนี้จะทำให้เสถียรภาพของคันทางเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจะน้อยลงเนื่องจากการปรับปรุงในดินฐานรากซึ่งเป็นดินอ่อน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประมาณราคาและการคำนวณราคากลางงานซ่อมแซมงานทาง โดยใช้แบบขั้นตอนและวิธีการซ่อมแซมงานทางมาประกอบเพื่อประมาณราคา และการคำนวณราคากลางงานซ่อมแซมงานทาง องค์ประกอบที่สำคัญในการประมาณราคามีดังนี้

1. การหาปริมาณวัสดุ พร้อมเผื่อความสูญเสีย
2. ราคาวัสดุ
3. แหล่งวัสดุ
4. ค่าแรงงาน
5. Factor ต่างๆ

สำหรับการจัดทำหลักเกณฑ์การประมาณราคามีส่วนรายละเอียดประกอบด้วย ดังนี้

1. แบบฟอร์มการประมาณราคา
2. การถอดแบบคำนวณปริมาณงาน
3. การกำหนดแหล่งและราคาวัสดุ
4. การคำนวณราคาต่อหน่วย

8.1 แบบฟอร์มการประมาณราคา

เพื่อเป็นการอำนวยความสะดวก และให้ผู้มีหน้าที่คำนวณราคากลางได้มีแบบฟอร์มเพื่อสรุปการประเมินราคาหรือการคำนวณราคากลางสำหรับงานซ่อมแซมงานทาง ประกอบด้วย

ช่อง	ลำดับ	หมายถึง	ลำดับที่ของกลุ่มงานและรายการก่อสร้าง
ช่อง	รายการ	หมายถึง	ใช้แสดงกลุ่มงานและรายการก่อสร้างต่างๆ
ช่อง	หน่วย	หมายถึง	ใช้แสดงหน่วยวัดสำหรับรายการก่อสร้างแต่ละรายการ
ช่อง	จำนวน	หมายถึง	ใช้แสดงจำนวนหน่วย (ปริมาณงาน) ของแต่ละรายการ ก่อสร้าง
ช่อง	ราคาต่อหน่วย	หมายถึง	ค่างานต้นทุนต่อหน่วยหรือราคาต่อหน่วยของแต่ละรายการก่อสร้าง
ช่อง	ราคาทุน	หมายถึง	ค่างานต้นทุนของแต่ละรายการก่อสร้าง ซึ่งมี ค่า = ช่องจำนวน × ราคาต่อหน่วย

ช่อง F_N หมายถึง ค่า Factor F สำหรับรายการก่อสร้างแต่ละรายการตามระเบียบกรมบัญชีกลาง

ทั้งนี้ แบบฟอร์มประเมินราคางานซ่อมแซมงานทาง มีรายละเอียดตามแบบฟอร์ม สำหรับรูปแบบและรายการต่างๆที่ปรากฏในแบบฟอร์มดังกล่าว ผู้มีหน้าที่ประมาณราคาสามารถเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงได้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องตามข้อเท็จจริงสำหรับงานซ่อมแซมงานทางจริง ดังแสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 แบบฟอร์มสำหรับการประเมินราคาสำหรับงานซ่อมแซมสะพาน

ลำดับ	รายการ	หน่วย (A)	จำนวน (B)	ราคาต่อ หน่วย (C)	ราคาทุน (D)=(B)*(C)
	รวมค่างานต้นทุนงานซ่อม สะพาน				
	FACTOR F (เปิดตาราง)				
	เป็นเงิน				
	รวมเป็นเงินค่าก่อสร้างทั้งสิ้น				

8.2 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานทาง

สำหรับการถอดแบบเพื่อคำนวณปริมาณงานทาง มีชนิดของงานที่เกี่ยวข้องอยู่ด้วยกัน 19 ชนิด ได้แก่

1. งานกรุยทาง
2. งานปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดคันทางเดิม

3. งาน Benching (ลบ.ม.) คิดปริมาณงานทุกๆ ระยะ 25 เมตร
4. งานดินตัด
5. งานดินถม
6. งานวัสดุคัดเลือก
7. งานรองพื้นทาง
8. งานพื้นทาง
9. งาน Prime Coat
10. งาน ผิวทาง
11. งานไหล่ทาง
12. งานดินตัด
13. งานดินถม
14. งานวัสดุคัดเลือก
15. งานรองพื้นทาง
16. งานพื้นทาง
17. งาน Prime Coat
18. งาน ผิวทาง
19. งานไหล่ทาง

ซึ่งงานแต่ละชนิดมีการคำนวณปริมาณงาน ดังต่อไปนี้

1. งานกรุยทาง (หน่วย ตร.ม.) แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1.1 กรณีไม่มีคันทางเดิม

1.2 กรณีมีคันทางเดิม

แต่ละกรณีมีการคำนวณดังนี้

1.1 กรณีไม่มีคันทางเดิม

$$\text{พ.ท.} = \Sigma w \times 25 \quad (\text{ตร.ม.})$$

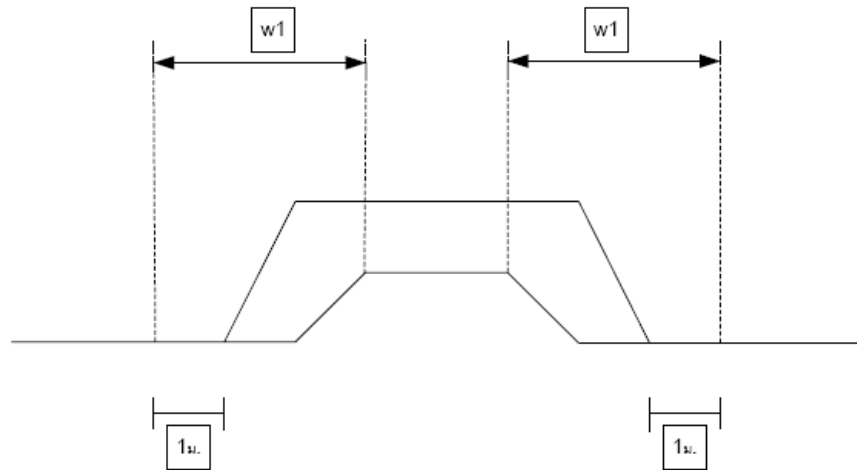
$$W = (\text{ความกว้างถนนเดิม} + 2.00 \text{ ม.}) \text{ ทุกๆ ระยะ } 25 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ กรณีที่มีเขตทางชัดเจน

$$\text{พ.ท.} = \text{เขตทาง (ม.)} \times L \quad (\text{ตร.ม.})$$

$$[L = \text{ระยะทางทั้งสิ้น (ม.)}]$$

1.2 กรณีมีคันทางเดิม



รูปที่ 8.1 หน้าตัดคันทางกรณีมีคันทางเดิม

$$\text{พ.ท.} = \Sigma(W_1 + W_2) \times 25 \quad (\text{ตร.ม.})$$

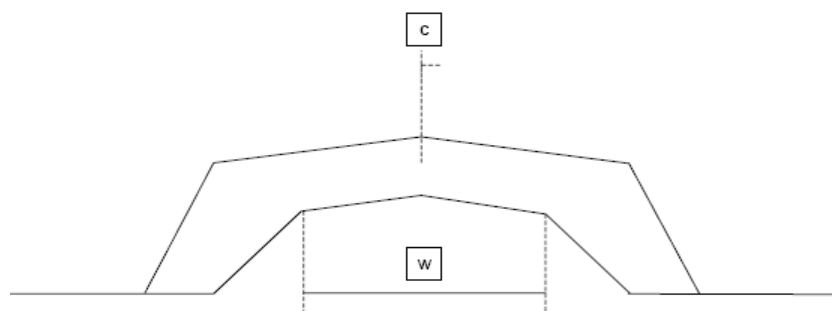
หมายเหตุ กรณีที่มีเขตทางชัดเจน

$$\text{พ.ท.} = \Sigma w \times 25 \quad (\text{ตร.ม.})$$

W = (เขตทาง – ความกว้างถนนเดิม) ทุกๆระยะ 25 เมตร

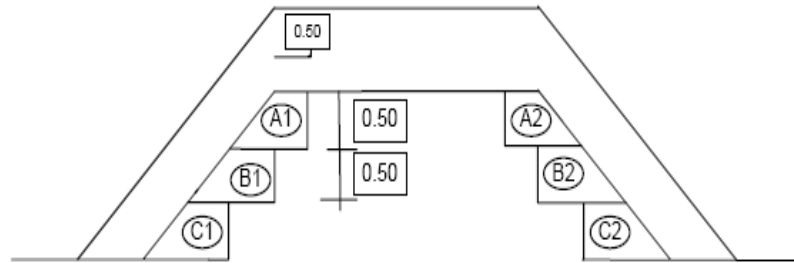
2. งานปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดคันทางเดิม (หน่วย ตร.ม.)

$$\text{พ.ท.} = \Sigma w \times 25$$



รูปที่ 8.2 หน้าตัดถนนสำหรับงานปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดคันทางเดิม

3. งาน Benching (ลบ.ม.) คัดปริมาณงานทุก ๆ ระยะ 25 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3 หน้าตัดถนนสำหรับงาน Benching

พ.ท.หน้าตัด Benching = พ.ท. $A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2 + \dots$

ปริมาตร = $\Sigma(A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2 + \dots) \times 25$ (ลบ.ม.)

หมายเหตุ ให้คิด Benching จากขอบบนของถนนดิน ลีกลงมาชั้นละ 0.50 ม. และ
คิดตัดเข้าไปในคันทางเดิมประมาณ 0.50 ม. และกรณีงานถมเขาให้คิดเป็นกรณีพิเศษ
และดูตามแบบที่กำหนดไว้

4. งานดินตัด (หน่วย ลบ.ม.)

ปริมาณงานดินตัด = $\Sigma A \times 25$ (ลบ.ม.)

(A = พ.ท. หน้าตัด (ดินตัด) ทุก ๆ ระยะ 25 ม.)

5. งานดินถม (หน่วย ลบ.ม.)

ปริมาณงานดินถม = $\Sigma A \times 25$ (ลบ.ม.)

(A = พ.ท. หน้าตัด (ดินถม) ทุก ๆ ระยะ 25 ม.)

6. งานวัสดุคัดเลือก (หน่วย ลบ.ม.)

6.1 กรณีความหนาเท่ากันตลอดสายทาง

ปริมาณงานวัสดุคัดเลือก = (พ.ท.รูปทางเรขาคณิต $\times L$) + ปริมาณของ

Widening + ทางเชื่อม + ทางแยก

(L = ระยะทางทั้งสิ้น (ม.))

6.2 กรณีความหนาไม่เท่ากันตลอดสายทาง

$$\text{ปริมาณงานวัสดุตัดเลือก} = (\Sigma A \times 25) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \text{ทางแยก}$$

(A = พ.ท. หน้าตัดของวัสดุตัดเลือก ทุกๆระยะ 25 ม.)

7. งานรองพื้นทาง (หน่วย ลบ.ม.)

7.1 กรณีความหนาเท่ากันตลอดสายทาง

$$\text{ปริมาณงานรองพื้นทาง} = (\text{พ.ท.รูปทางเรขาคณิต} \times L) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \text{ทางแยก}$$

(L = ระยะทางทั้งสิ้น (ม.))

7.2 กรณีความหนาไม่เท่ากันตลอดสายทาง

$$\text{ปริมาณงานรองพื้นทาง} = (\Sigma A \times 25) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \text{ทางแยก}$$

(A = พ.ท.หน้าตัดของรองพื้นทาง ทุกๆระยะ 25 ม.)

8. งานพื้นทาง (หน่วย ลบ.ม.)

8.1 กรณีความหนาเท่ากันตลอดสายทาง

$$\text{ปริมาณงานพื้นทาง} = (\text{พ.ท.รูปทางเรขาคณิต} \times L) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \text{ทางแยก}$$

(L = ระยะทางทั้งสิ้น (ม.))

8.2 กรณีความหนาไม่เท่ากันตลอดสายทาง

$$\text{ปริมาณงานพื้นทาง} = (\Sigma A_1 \times 25) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \text{ทางแยก}$$

(A = พ.ท.หน้าตัดของรองพื้นทาง ทุกๆระยะ 25 ม.)

9. งาน Prime Coat (หน่วย ตร.ม.)

$$\text{ปริมาณงาน Prime Coat} = \text{พ.ท.ของผิวจราจร} + \text{พ.ท.ของไหล่ทาง} + \text{พ.ท.ของ Widening} + \text{พ.ท.ทางเชื่อม} + \text{พ.ท.ทางแยก}$$

10. งาน ผิวทาง (หน่วย ตร.ม.)

$$\text{ปริมาณงาน ผิวทาง} = \text{พ.ท.ของผิวจราจร} + \text{พ.ท.ของ Widening} + \text{พ.ท.ทางเชื่อม}$$

+ พ.ท.ทาง แยก

11. งานไหล่ทาง (หน่วย ตร.ม.)

ปริมาณงานไหล่ทาง = พ.ท.ไหล่ทาง

หมายเหตุ การคิดปริมาณงาน ตั้งแต่รายการที่ 1-11 ให้คำนึงถึงปริมาณที่ต้องหักออก หากมีการก่อสร้างสะพานและท่อลอดเหลี่ยมในสายทางด้วย

12. งานดินตัด (หน่วย ลบ.ม.)

ปริมาณงานดินตัด = $\Sigma A \times 25$ (ลบ.ม.)
(A = พ.ท. หน้าตัด (ดินตัด) ทุกๆระยะ 25 ม.)

13. งานดินถม (หน่วย ลบ.ม.)

ปริมาณงานดินถม = $\Sigma A \times 25$ (ลบ.ม.)
(A = พ.ท. หน้าตัด (ดินถม) ทุกๆระยะ 25 ม.)

14. งานวัสดุตัดเลือก (หน่วย ลบ.ม.)

14.1 กรณีความหนาเท่ากันตลอดสายทาง

ปริมาณงานวัสดุตัดเลือก = (พ.ท.รูปทางเรขาคณิต $\times L$) + ปริมาณของ
Widening + ทางเชื่อม + ทางแยก
(L = ระยะทางทั้งสิ้น (ม.))

14.2 กรณีความหนาไม่เท่ากันตลอดสายทาง

ปริมาณงานวัสดุตัดเลือก = $(\Sigma A \times 25)$ + ปริมาณของ Widening + ทางเชื่อม +
ทางแยก
(A = พ.ท. หน้าตัดของวัสดุตัดเลือก ทุกๆระยะ 25 ม.)

15. งานรองพื้นทาง (หน่วย ลบ.ม.)

15.1 กรณีความหนาเท่ากันตลอดสายทาง

ปริมาณงานรองพื้นทาง = (พ.ท.รูปทางเรขาคณิต $\times L$) + ปริมาณของ
Widening + ทางเชื่อม + ทางแยก
(L = ระยะทางทั้งสิ้น (ม.))

15.2 กรณีความหนาไม่เท่ากันตลอดสายทาง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณงานรองพื้นทาง} &= (\Sigma A \times 25) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \\ &\quad \text{ทางแยก} \\ &\quad (A = \text{พ.ท.หน้าตัดของรองพื้นทาง ทุกๆระยะ 25 ม.}) \end{aligned}$$

16. งานพื้นทาง (หน่วย ลบ.ม.)

16.1 กรณีความหนาเท่ากันตลอดสายทาง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณงานพื้นทาง} &= (\text{พ.ท.รูปทางเรขาคณิต} \times L) + \text{ปริมาณของ Widening} + \\ &\quad \text{ทางเชื่อม} + \text{ทางแยก} \\ &\quad (L = \text{ระยะทางทั้งสิ้น (ม.)}) \end{aligned}$$

16.2 กรณีความหนาไม่เท่ากันตลอดสายทาง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณงานพื้นทาง} &= (\Sigma A_i \times 25) + \text{ปริมาณของ Widening} + \text{ทางเชื่อม} + \text{ทาง} \\ &\quad \text{แยก} \\ &\quad (A = \text{พ.ท.หน้าตัดของรองพื้นทาง ทุกๆระยะ 25 ม.}) \end{aligned}$$

17. งาน Prime Coat (หน่วย ตร.ม.)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณงาน Prime Coat} &= \text{พ.ท.ของผิวจราจร} + \text{พ.ท.ของไหล่ทาง} + \text{พ.ท.ของ} \\ &\quad \text{Widening} + \text{พ.ท.ทางเชื่อม} + \text{พ.ท.ทางแยก} \end{aligned}$$

18. งาน ผิวทาง (หน่วย ตร.ม.)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณงาน ผิวทาง} &= \text{พ.ท.ของผิวจราจร} + \text{พ.ท.ของ Widening} + \text{พ.ท.ทางเชื่อม} \\ &\quad + \text{พ.ท.ทางแยก} \end{aligned}$$

19. งานไหล่ทาง (หน่วย ตร.ม.)

$$\text{ปริมาณงานไหล่ทาง} = \text{พ.ท.ไหล่ทาง}$$

หมายเหตุ การคิดปริมาณงาน ตั้งแต่รายการที่ 1-11 ให้คำนึงถึงปริมาณที่ต้องหักออก หากมีการก่อสร้างสะพานและท่อลอดเหลี่ยมในสายทางด้วย

ในการคำนวณหาปริมาณ ให้คิดตามรูปแบบตบปริมาณที่ได้จะเป็นปริมาณงาน(แน่น) แต่จะมี Factor ใช้ประกอบเพิ่มเติมในส่วนของการขยายตัว และส่วนยุบตัวเมื่อบดทับ (Bank Volume and Compacted Factor) เพื่อใช้ประกอบในการคิดราคาต่อหน่วย ตามตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ส่วนขยายตัวและส่วนยุบตัวเมื่ออัดทับ (Bank Volume and Compacted Factor)

ชนิดวัสดุ	ส่วนขยายตัว	ส่วนยุบตัว
ทรายถมคันทาง แนวเก่า	1.15	1.40
ทรายถมคันทาง แนวใหม่	1.15	1.45
ดินถมคันทาง ดินปนทราย แนวเก่า	1.25	1.60
ดินถมคันทาง ดินเหนียว แนวใหม่	1.25	1.70
ดินเหนียว แนวเก่า	1.25	1.85
ดินเหนียว แนวใหม่	1.25	1.90
หินผุ	1.60	-
หินแข็ง หรือ คอนกรีตที่ทุบรื้อออก	1.70	-
วัสดุคัดเลือก ลูกรัง	-	1.60
รองพื้นทาง ลูกรัง	-	1.60
พื้นทาง หินคลุก ปูเต็ม	-	1.50
พื้นทาง หินคลุก มีไหล่ทาง	-	1.50
ไหล่ทาง ลูกรัง	-	1.75
ไหล่ทาง หินคลุก	-	1.60

ในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของชุดปฏิบัติงานบำรุงรักษาทาง ใช้
 ตารางที่ 8.3 ในการคำนวณถึงอัตราการทำงานของชุดเครื่องจักรก่อสร้างทาง

ตารางที่ 8.3 อัตราการทำงานของชุดเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ผลงานต่อวัน
1	งานตัดคันทาง		
	ดิน	ลบ.ม.	520
	หินผุ	ลบ.ม.	1,050
	หินแข็ง	ลบ.ม.	286
2	งานดินถมคันทาง	ลบ.ม. (แน่น)	600
3	งานวัสดุคัดเลือก รองพื้นทางลูกรัง	ลบ.ม. (แน่น)	460
4	งานพื้นทาง หินคลุก	ลบ.ม. (แน่น)	265
5	งานไหล่ทาง ลูกรัง หินคลุก	ลบ.ม. (แน่น)	280

ในการคำนวณราคาของงานแต่ละชนิดในการบำรุงรักษาซ่อมแซมงานทาง ในคู่มือนี้ใช้
ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ตารางที่ 8.4 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมงานทาง

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	งานกรูยทาง	ตร.ม.	1.00	5.00	5.00	
2	งานปรับเกลี่ยแต่งและ บดอัดคันทางเดิม	ตร.ม.	1.00	10.00	10.00	
3	งาน Benching	ลบ.ม. (แน่น)	1.00	800.00	800.00	
4	งานดินตัด	ลบ.ม. (ธรรมชาติ)	1.00	30.00	30.00	
5	งานดินถม(จากการ ขนส่ง)	ลบ.ม. (แน่น)	1.00	16.00	16.00	ระยะขนส่ง 1 กม.
6	งานดินถม(จากงานดิน ตัด)	ลบ.ม. (แน่น)	1.00	1,200.00	1,200.00	ระยะขนส่ง 1 กม.
7	งานรองพื้นทาง	ลบ.ม. (แน่น)	1.00	1,400.00	1,400.00	ระยะขนส่ง 5 กม.
8	งานพื้นทาง	ลบ.ม. (แน่น)	1.00	8,350.00	8,350.00	ระยะขนส่ง 30 กม.
9	งานลาดยาง PRIME COAT	ตร.ม.	1.00	400.00	400.00	
10	งานผิวทาง 10.1 ชนิด Cape Seal	ตร.ม.	1.00	450.00	450.00	ระยะขนส่ง 30 กม.
11	งานคอนกรีต					
	กำลังคอนกรีต 180 ksc	ลบ.ม.	1.00	2,430.00	2,430.00	
	กำลังคอนกรีต 240 ksc	ลบ.ม.	1.00	2,510.00	2,470.00	
	กำลังคอนกรีต 280 ksc	ลบ.ม.	1.00	2,630.00	2,550.00	
	กำลังคอนกรีต 400 ksc	ลบ.ม.	1.00	2,810.00	2,810.00	
	ปูนถุง ประเภท 1 ตรา ช้าง	ถุง	1.00	145.00	145.00	
12	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
13	หินย่อย					
	หินย่อย เบอร์ 1	ตัน	1.00	455.71	482.00	
	หินย่อย เบอร์ 2	ตัน	1.00	455.71	482.00	

* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ตารางที่ 8.4 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมงานทาง(ต่อ)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
14	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1	320.00	320.00	
15	งานเหล็กเสริม					
	RB 6 SR-24	ตัน	1.00	19,840.00	19,840.00	
	RB 9 SR-24	ตัน	1.00	18,880.00	18,880.00	
	DB 12 SD-30	ตัน	1.00	17,960.00	17,960.00	
	DB 16 SD-30	ตัน	1.00	17,720.00	17,720.00	
	DB 20 SD-30	ตัน	1.00	17,720.00	17,720.00	
	DB 28 SD-30	ตัน	1.00	17,720.00	17,720.00	
16	ลวดผูกเหล็ก	กก.	1.00	26.35	26.35	
17	ไม้แบบ	ลบ.ม.	1.00	4,285.00	4,285.00	
18	ไม้เคร้ายึดแบบ	ลบ.ม.	1.00	4,000.00	4,000.00	
19	ไม้ค้ำยันโครงสร้าง	ลบ.ม.	1.00	4,000.00	4,000.00	
20	งาน Sheet Pile	ตัน	1.00	367.50	367.50	
21	งานนั่งร้าน	ตร.ม.	1.00	1,000.00	1,000.00	
22	เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง					
	ขนาด 15 ซม. ยาว 4 เมตร	ตัน	1.00	270.00	270.00	
	ขนาด 15 ซม. ยาว 5 เมตร	ตัน	1.00	337.50	337.50	
	ขนาด 15 ซม. ยาว 6 เมตร	ตัน	1.00	405.00	405.00	
23	ยางมะตอย					
	ชนิดเอซี เกรด AC - 60/70	ตัน	1.00	18,725.00	18,725.00	
	ชนิดเออีแข็งตัวช้า เกรด CSS-1	ตัน	1.00	17,700.00	17,700.00	
	ชนิดเออีแข็งตัวช้า เกรด CSS-1h	ตัน	1.00	17,700.00	17,700.00	
	ชนิดเออีแข็งตัวเร็ว เกรด CRS-2	ตัน	1.00	16,700.00	16,700.00	
	ชนิดเออีแข็งตัวเร็วปานกลาง เกรด CMS-2h	ตัน	1.00	17,500.00	17,500.00	
	ชนิดคัทแบ็คแข็งตัวเร็วปานกลาง เกรด MC-70	ตัน	1.00	27,000.00	27,000.00	

* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ตัวอย่างการคำนวณราคาต่อหน่วย (ราคาน้ำมันโซล่า 30 บาท/ลิตร)พื้นที่ปกติ

1. งานดินตัด

ค่าขุดตัด	=	11.36 บาท/ลบ.ม.(ธรรมชาติ)
ค่าขนส่ง ระยะทาง 2 ก.ม.	=	7.14 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
รวมค่างานต้นทุน	=	18.50 บาท/ลบ.ม.(ธรรมชาติ)

2. งานดินถม

ค่าวัสดุที่แหล่ง	=	6.00 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขุดตัด	=	11.41 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขนส่งวัสดุ ระยะทาง 5 ก.ม.	=	11.01 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
รวม	=	28.42 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
อัตราการยุบตัว	=	1.60
รวม	=	45.47 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคางานบดทับ	=	20.79 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
รวมค่างานต้นทุน	=	66.26 บาท/ลบ.ม.(แน่น)

3. งานวัสดุคัดเลือก

ค่าวัสดุที่แหล่ง	=	10.00 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขุดตัด	=	16.35 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขนส่งวัสดุ ระยะทาง 30 ก.ม.	=	54.55 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
รวม	=	80.90 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
อัตราการยุบตัว	=	1.60
รวม	=	129.44 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคางานบดทับ	=	27.11 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
รวมค่างานต้นทุน	=	156.55 บาท/ลบ.ม.(แน่น)

4. งานรองพื้นทาง

ค่าวัสดุที่แหล่ง	=	15.00 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขุดตัด	=	16.35 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขนส่งวัสดุ ระยะทาง 50 ก.ม.	=	90.31 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
รวม	=	121.66 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
อัตราการยุบตัว	=	1.60
รวม	=	194.66 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคางานบดทับ	=	27.11 บาท/ลบ.ม.(แน่น)

รวมค่างานต้นทุน = 221.77 บาท/ลบ.ม.(แน่น)

5. งานชั้นพื้นทาง

ค่าวัสดุที่แหล่ง	=	180.00 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
ค่าขนส่งวัสดุ ระยะทาง 60 กม.	=	108.19 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
รวม	=	288.19 บาท/ลบ.ม.(หลวม)
อัตราการยุบตัว	=	1.50
รวม	=	432.29 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคางานบดทับ	=	54.90 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
รวมค่างานต้นทุน	=	487.19 บาท/ลบ.ม.(แน่น)

ราคาวัสดุแอสฟัลท์

ค่าขนส่งยางแอสฟัลท์จากแหล่งขายไปที่หน้าร้าน	=	200.00 บาท/ตัน
ค่ายางแอสฟัลท์ CSS – 1h ที่โรงงาน	=	7,810.00 บาท/ตัน
ค่ายางแอสฟัลท์ CSS – 1 ที่โรงงาน	=	6,350.00 บาท/ตัน
ค่ายางแอสฟัลท์ CSS – 2 ที่โรงงาน	=	8,010.00 บาท/ตัน
ค่ายางแอสฟัลท์ CSS – 1h รวมค่าขนส่ง (Ys)	=	8,168.50 บาท/ตัน
ค่ายางแอสฟัลท์ CSS – 1 รวมค่าขนส่ง (Yp)	=	6,708.50 บาท/ตัน
ค่ายางแอสฟัลท์ CSS – 2 รวมค่าขนส่ง (Y)	=	8,368.50 บาท/ตัน

ราคาวัสดุ AGGREGATE

หินขนส่งจากแหล่งไปหน้างาน ระยะทาง	=	60.00 กิโลเมตร
ค่าขนส่งหินจากแหล่งไปหน้างาน	=	108.19 บาท/ลบ.ม.
ค่าหิน 1/2" ที่แหล่ง	=	250.00 บาท/ลบ.ม.
ค่าหินฝุ่น ที่แหล่ง	=	250.00 บาท/ลบ.ม.
ค่าหิน 1/2" รวมค่าขนส่ง (X)	=	358.19 บาท/ลบ.ม.
ค่าหินฝุ่น รวมค่าขนส่ง (Xs)	=	358.19 บาท/ลบ.ม.

6. งานลาดยาง PRIME COAT

ค่ายาง CSS-1	=	7.38 บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา	=	3.34 บาท/ตร.ม.
รวมค่างานต้นทุน	=	10.72 บาท/ตร.ม.

7. งานผิวทาง

งานลาดยางแบบ CAPE SEAL

ระยะทางที่ปู L	=	8.000 กิโลเมตร
ระยะขนส่งใช้ 1 ใน 4 ของระยะทางที่ปู(L/4)ใช้	=	2 กิโลเมตร
ค่าขนส่งงานทำ CHIP SEAL ระยะ L/4 (D)	=	7.14 กิโลเมตร
ค่าขนส่งวัสดุผสม Slurry Seal ระยะทาง L4 กม.(P)	=	7.14 กิโลเมตร
ค่างานต้นทุน CHIP SEAL = ค่าดำเนินการค่าเสื่อมราคา+ค่าหิน+ค่ายาง+ค่าขนส่ง		

$$6.23 + 0.01286 X + 0.00123y - 0.01222d = 21.22 \text{ บาท/ตร.ม.}$$

ค่างานต้นทุน FOG SPRAY = ค่าดำเนินการค่าเสื่อมราคา+ค่ายาง

$$2.09 + 0.00031 Ys = 4.62 \text{ บาท/ตร.ม.}$$

ค่างานต้นทุน SLURRY SEAL = ค่าดำเนินการค่าเสื่อมราคา+ค่าหิน+ค่ายาง+ค่าขนส่ง

$$5.71 + (527.70 + 1.21550 Xs + 0.25779 Ys \times 1/185) = 22.37 \text{ บาท/ตร.ม.}$$

ค่างานต้นทุน CAPE SEAL = 48.21 บาท/ตร.ม.

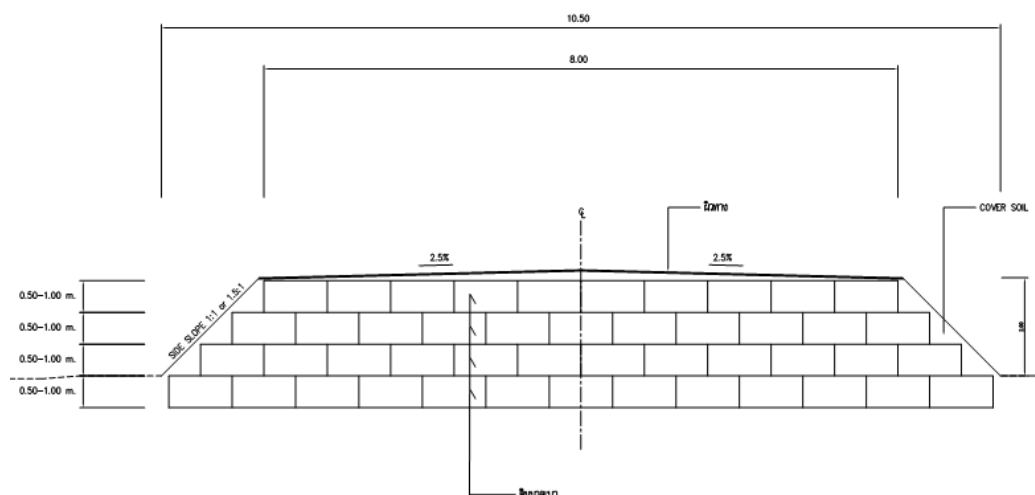
รวมค่างานต้นทุน = 48.21 บาท/ตร.ม.

8.3 การถอดแบบคำนวณปริมาณงานปรับปรุงแก้ไขคันทาง

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณงานและราคาการปรับปรุงแก้ไขคันทางโดยวิธีต่างๆ โดยคำนวณต่อความยาวของถนน 1 เมตร รายละเอียดสำหรับการปรับปรุงแก้ไขแต่ละวิธีดังแสดงในรายละเอียด

วิธีที่ 1 การลดน้ำหนักโดยการใช้วัสดุมวลเบา

เป็นการใช้วัสดุมวลเบาประเภท Geofom ในการปรับปรุงคันทางและปรับปรุงในในดินฐานรากความลึก 1 เมตรจากระดับดินเดิม ดังแสดงในรูปที่ 8.4 จะใช้วัสดุมวลเบาปริมาตรทั้งสิ้น 17 ลบ.ม./ม.



รูปที่ 8.4 การก่อสร้างคันทางโดยใช้วัสดุมวลเบา

1. งานวัสดุมวลเบา	=	1,700	บาท/ลบ.ม.
ค่าวัสดุมวลเบา	=	17 x 1,700	
	=	28,900	บาท / ม.
2. งานดินตัด			
ค่างานดินตัด	=	17 x 35	
	=	595	บาท / ม.
รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น	=	29,495	บาท / ม.

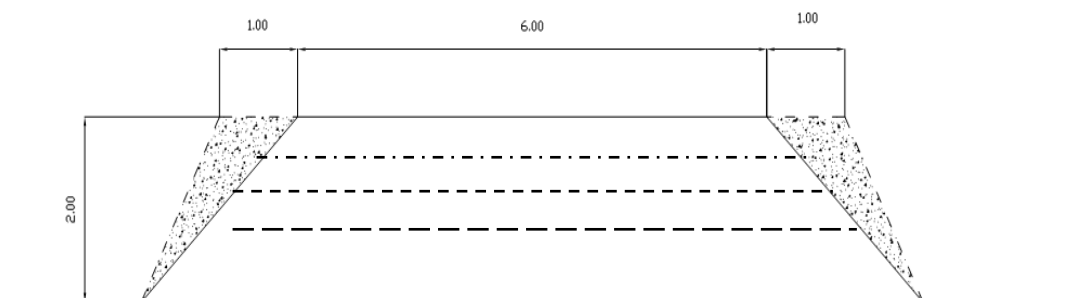
ตารางที่ 8.5 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้วัสดุมวลเบา

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	วัสดุมวลเบา	ลบ.ม.	1.00	1,700.00	1,700.00	

ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

วิธีที่ 2 การปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสม

เป็นการปรับหน้าตัดของถนน โดยการปรับเปลี่ยนความชันของถนน จาก 1:1 เป็น 2:1 (V:H) โดยพิจารณาต่อความยาวถนน 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5 การปรับเปลี่ยนหน้าตัดของถนน

ตารางที่ 8.6 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการปรับหน้าตัด

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน (D)=(B)*(C)	หมายเหตุ
		(A)		(C)		
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	

ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

1. งานดินถม

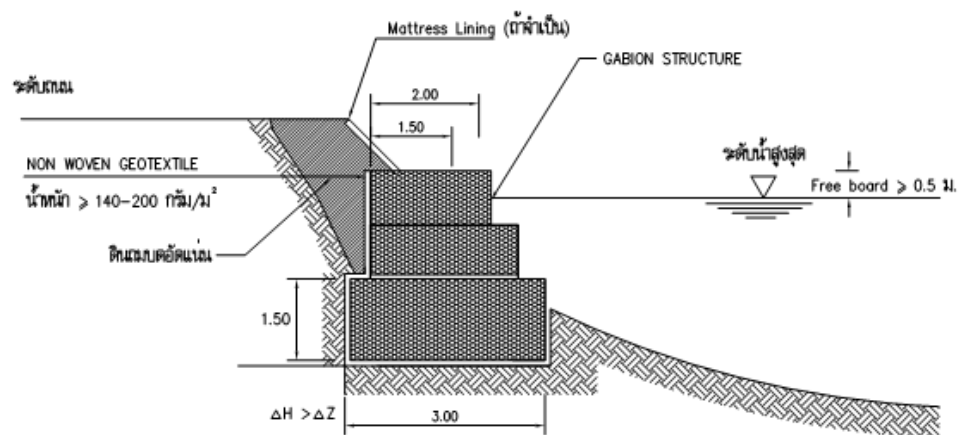
$$\begin{aligned} \text{ค่างานดินถม(ดินลูกรัง)} &= 2.80 \times 0.90 \times 1 \times 2 \times 192.5 \\ &= 970.20 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

2. ค่าดำเนินการ

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น} &= 10,000 \quad \text{บาท} \\ &= 10,970.20 \quad \text{บาท / ม.} \end{aligned}$$

วิธีที่ 3 การเพิ่มแรงต้านโดยใช้กล่องลวดตาข่าย (Gabion)

เป็นการใช้กล่องลวดตาข่ายบรรจุหินเพื่อปรับปรุงลาดชันด้านข้างของคันทาง ขนาดดังแสดงในรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 การใช้กล่องลวดตาข่ายในการเสริมคันทาง

ตารางที่ 8.7 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการใช้กล่องลวดตาข่าย (Gabion)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	เกเบี้ยน					
	ขนาด 1x2x0.50 ม.	ชิ้น	1.00	1,080.00	1,080.00	

* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

$$\begin{aligned}
 &1. \text{ งานดินตัดคันทาง} &= & 520 & \text{ บาท/ลบ.ม.} \\
 &\quad \text{ค่าตัดคันทาง} &= & \frac{1}{2} \times 2 \times 3 \times 520 \\
 & &= & 1,040 & \text{ บาท} \\
 &2. \text{ งาน GEOGRIDS} \\
 &\quad \text{ค่า GEOGRIDS} &= & \{(1.5 \times 3 \times 1) + (2 \times 0.5 \times 1) \\
 & & & + (1.5 \times 0.5 \times 1)\} \times 1,080 \\
 & &= & 6,750 & \text{ บาท} \\
 &\quad \text{รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น} &= & 7,790 & \text{ บาท / ม.}
 \end{aligned}$$

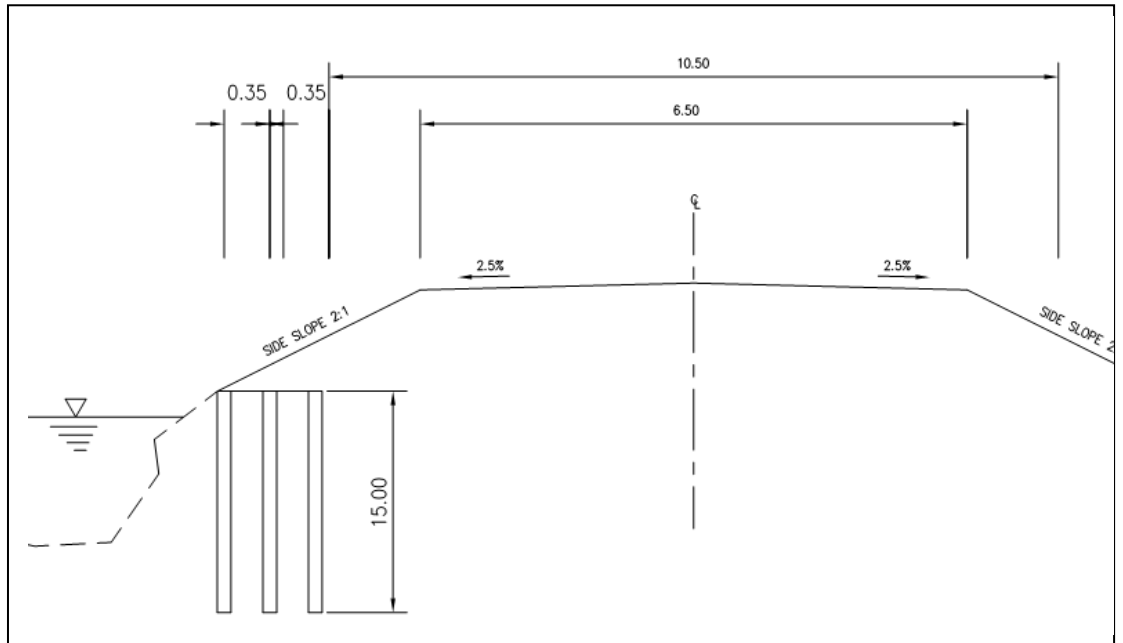
วิธีที่ 4 การเสริมกำลังโดยใช้เสาเข็มป้องกันการเคลื่อนตัวของคันทาง

การเสริมกำลังโดยใช้เสาเข็มป้องกันการเคลื่อนตัวของคันทาง สามารถแบ่งตามประเภทของวัสดุที่ใช้ออกเป็น 3 ประเภทย่อยๆ คือ

1. เสาเข็มตอก
2. เสาเข็มเจาะ
3. เสาเข็มตอกร่วมกับการบดอัดคันทางด้วยดินซีเมนต์

ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละประเภทของวัสดุ ดังต่อไปนี้

4.1 เสาเข็มตอก ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ ขนาด 22 ซม. ความยาว 15 เมตร ในการปรับปรุงแก้ไขคันทางดังแสดงในรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 การเสริมกำลังด้วยเสาเข็มตอก

ตารางที่ 8.8 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการใช้เสาเข็มตอก

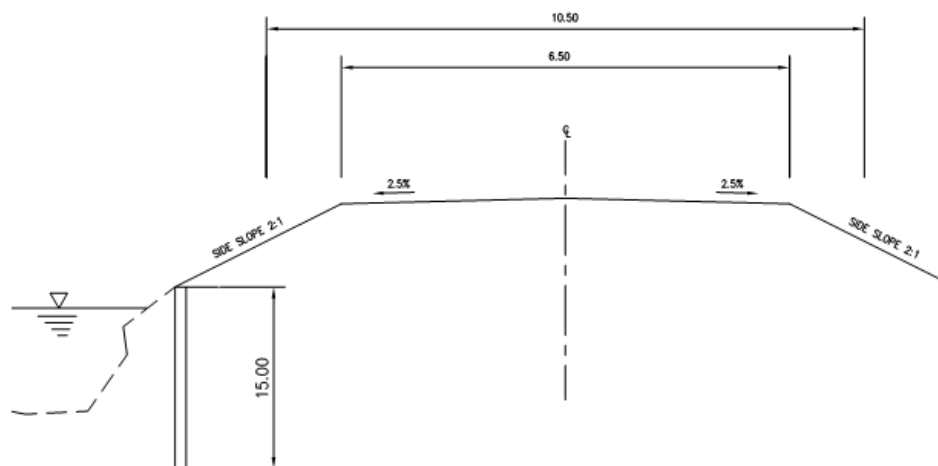
ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	เสาเข็มเหล็กเหลี่ยมกลวง					
	ขนาด 15 ซม.	เมตร	1.00	67.50	67.50	
	ขนาด 22 ซม.	เมตร	1.00	95.00	95.00	
4	เสาเข็ม ไม้					
	ขนาด 22 ซม.	เมตร	1.00	280.00	280.00	
	ขนาด 30 ซม.	เมตร	1.00	356.00	356.00	
5	เสาเข็มสี่เหลี่ยม (ขนาด 26x26)	เมตร	1.00	450.00	450.00	

* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ในกรณีที่ 1 เสาเข็มตอก ดังรูปที่ 8.7

- | | | |
|---------------------------------|---|---------------------------|
| 1. งานเสาเข็มตอก ไอ ขนาด 22 ซม. | = | 4 ต้น / ความยาวถนน 1 เมตร |
| ค่าเสาเข็มตอก ไอ ขนาด 22 ซม. | = | 4 x 15 x 280 |
| | = | 16,800 บาท |
| 2. ค่าดำเนินการ | = | 10,000 บาท |
| รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น | = | 26,800 บาท / ม. |

4.2 เสาเข็มเจาะ (แบบแห้ง) ขนาด Ø 60 เซนติเมตร ความยาว 15 เมตร ในการปรับปรุงแก้ไขคันทางดังแสดงในรูปที่ 8.8



รูปที่ 8.8 การเสริมกำลังด้วยเสาเข็มเจาะ

ตารางที่ 8.9 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการใช้เสาเข็มเจาะ

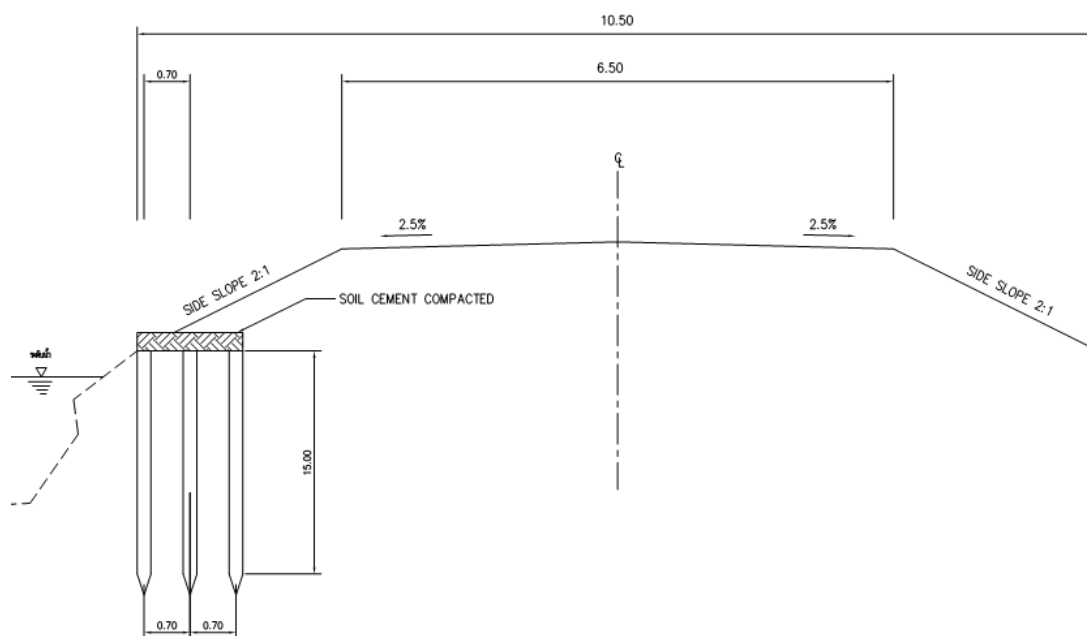
ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)	(B)	©	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	เสาเข็มเจาะ (แบบแห้ง) ขนาด Ø60 ซม.	เมตร	1.00	650.00	650.00	

ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ในกรณีที่ 2 เสาค้ำเข็มเจาะ ดังรูปที่ 8.8

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1. งานเสาค้ำเข็มเจาะ ขนาด 60 ซม. | = 2 ต้น / ความยาวถนน 1 เมตร |
| ค่าเสาค้ำเข็มเจาะ | = 2 x 15 x 650 |
| | = 19,500 บาท |
| 2. ค่าดำเนินการ | = 20,000 บาท |
| รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น | = 39,500 บาท / ม. |

4.3 เสาค้ำคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ ขนาด 22 เซนติเมตร และบดอัดด้วยดินซีเมนต์ ในการปรับปรุงแก้ไขคันทางดังแสดงในรูปที่ 8.9



รูปที่ 8.9 การเสริมกำลังด้วยเสาค้ำเข็มตอกและดินซีเมนต์

ตารางที่ 8.10 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้เสาค้ำเข็มตอกและดินซีเมนต์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อ	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	

ตารางที่ 8.10 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้เสาเข็มตอกและดินซีเมนต์ (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)	(B)	(C)	(D)=(B)*(C)	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง					
	ขนาด 15 ซม.	เมตร	1.00	67.50	67.50	
	ขนาด 22 ซม.	เมตร	1.00	95.00	95.00	
4	เสาเข็ม ใอ					
	ขนาด 22 ซม.	เมตร	1.00	280.00	280.00	
	ขนาด 30 ซม.	เมตร	1.00	356.00	356.00	
5	เสาเข็มสี่เหลี่ยม (ขนาด 26x26)	เมตร	1.00	450.00	450.00	
6	ปูนซีเมนต์	ตัน	1.00	2,800.00	2,800.00	

ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ในกรณีที่ 3 เสาเข็มตัวไอ ขนาด 22 เซนติเมตร และมีดินซีเมนต์ ดังรูปที่ 8.9

1. งานเสาเข็มตอก ไอ ขนาด 22 ซม.

= 4 ตัน /ความยาวถนน 1 เมตร

ค่าเสาเข็มตอก ไอ ขนาด 22 ซม.

= 4 x 15 x 280

= 16,800 บาท
2. งานดินซีเมนต์

= หนา 0.30 ซม. /ความยาวถนน 1 เมตร

ค่างานดินซีเมนต์

= 0.30 x 1 x 840

= 252 บาท
2. ค่าดำเนินการ

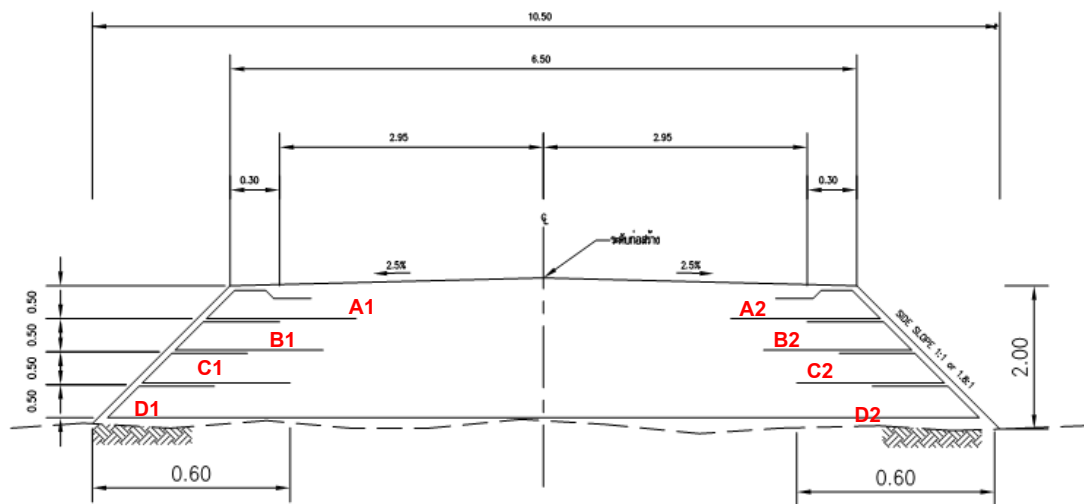
= 15,000 บาท

รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น

= 32,052 บาท / ม.

วิธีที่ 5 การเสริมกำลังโดยการใช้วัสดุรับแรงดึง

เป็นการเสริมคันทางด้วยวัสดุรับแรงดึงประเภท Geogrid โดยทำการปู 4 ชั้นสลับกับการบดอัดดินดังแสดงในรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10 การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง

ตารางที่ 8.11 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการเสริมกำลังโดยใช้วัสดุรับแรงดึง

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	งานดินตัด	ลบ.ม.	1.00	35.00	35.00	
4	GEOGRIDS	ตร.ม.	1.00	890.00	890.00	

* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

ระยะทางซ่อมแซมต่อความยาวถนน 1 เมตร

$$\begin{aligned}
 1. \text{ พ.ท.หน้าตัด Benching} &= \text{พ.ท. } A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2 + \dots \\
 &= 1.2 \times 2.00 \times (10.50 + 6.50) \\
 &= 17.00 \quad \text{ตร.ม.} \\
 \text{ปริมาตร} &= \Sigma(A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2 + \dots) \\
 &= 17 \quad \text{ลบ.ม.}
 \end{aligned}$$

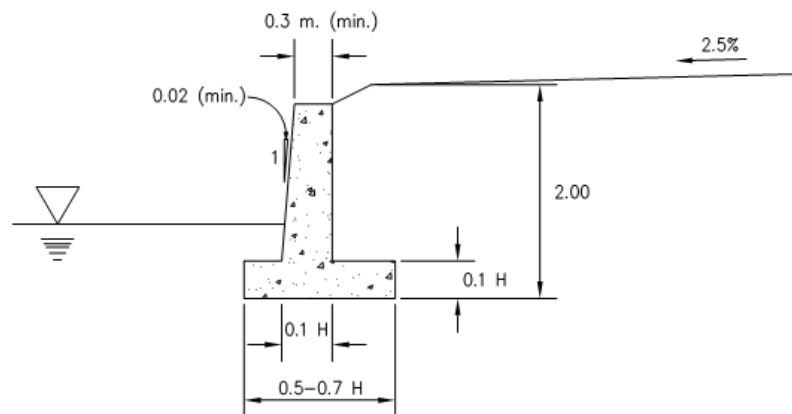
ค่างานดินตัด	=	17 X 35	
	=	595	บาท
ค่างานบดอัด	ชั้นที่ 1	=	6.5 x16
		=	64
			บาท
	ชั้นที่ 2	=	7.5 x14
		=	105
			บาท
	ชั้นที่ 3	=	8.5 x12
		=	102
			บาท
	ชั้นที่ 4	=	9.5 x10
		=	95
			บาท

2. งาน GEOGRIDS

ค่า GEOGRIDS	ชั้นที่ 1-4	=	890 x2 X (0.3+0.5+0.6) x 4	
		=	6,052	บาท
รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น		=	7,013	บาท / ม.

วิธีที่ 6 การใช้กำแพงกันดิน

เป็นการใช้กำแพงกันดินด้านข้างของคันทาง โดยมีขนาดดังแสดงในรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 การใช้กำแพงกันดิน

ตารางที่ 8.12 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้กำแพงกันดิน

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
3	งานเหล็กเสริม					
	RB 6 SR-24	ตัน	1.00	19,840.00	19,840.00	
	RB 9 SR-24	ตัน	1.00	18,880.00	18,880.00	
	DB 12 SD-30	ตัน	1.00	17,960.00	17,960.00	
	DB 16 SD-30	ตัน	1.00	17,720.00	17,720.00	
	DB 20 SD-30	ตัน	1.00	17,720.00	17,720.00	
	DB 28 SD-30	ตัน	1.00	17,720.00	17,720.00	
4	ไม้แบบ	ลบ.ม.	1.00	4,285.00	4,285.00	
5	ไม้คร่าวยึดแบบ	ลบ.ม.	1.00	4,000.00	4,000.00	
6	ไม้ค้ำยันโครงสร้าง	ลบ.ม.	1.00	4,000.00	4,000.00	
7	งาน Sheet Pile	ตัน	1.00	367.50	367.50	
8	งานนั่งร้าน	ตร.ม.	1.00	1,000.00	1,000.00	

* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

$$\begin{aligned}
 &1. \text{ งานดินตัดคันทาง} &= & 520 & \text{ บาท/ลบ.ม.} \\
 &\quad \text{ค่าตัดคันทาง} &= & \frac{1}{2} \times 1 \times 3 \times 520 \\
 & &= & 780 & \text{ บาท} \\
 &2. \text{ งานคอนกรีต} &= & 2,200 & \text{ บาท/ลบ.ม.} \\
 &\quad \text{ค่างานคอนกรีต} &= & 2.5 \times 2,200 \\
 & &= & 5,500 & \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

3. งานเหล็กเสริม

ค่างานเหล็กเสริมRB 6 SR-24	=	19,840 X .2	
	=	3,968	บาท
ค่างานเหล็กเสริมRB 9 SR-24	=	18,880 x .1	
	=	1,888	บาท
ค่างานเหล็กเสริมDB 12 SD-30	=	17,960 x. 5	
	=	8,980	บาท
รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น	=	21,108	บาท / ม.

วิธีที่ 7 การใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัดคันทาง

เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยปูนซีเมนต์และนำมาบดอัดเป็นคันทาง มีปริมาตร 17 ลบ.ม.ต่อความยาวถนน 1 เมตร ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อดิน 1 ลบ.ม.

ตารางที่ 8.13 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยการใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุบดอัดคันทาง

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
3	ปูนซีเมนต์	ตัน	1.00	2,800.00	2,800.00	

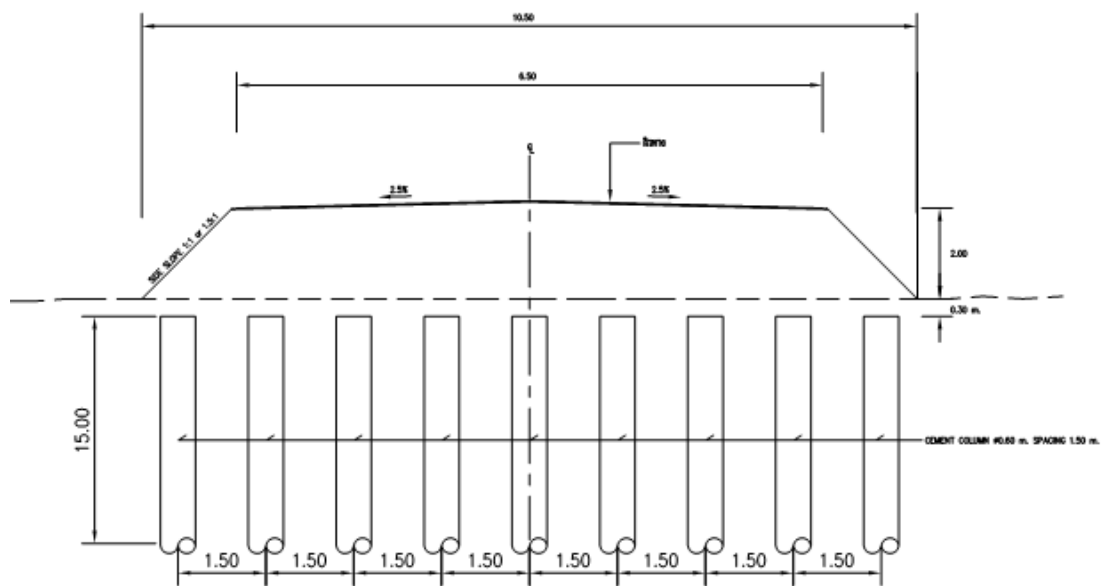
* ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

1. งานดินตัดคันทาง	=	520	บาท/ลบ.ม.
ค่างานดินตัดคันทาง	=	520 x 17	
	=	8,840	บาท
2. งานปรับปรุงดิน ด้วยปูนซีเมนต์	=	840	บาท/ลบ.ม.
	=	840 x 17	

	=	14,280	บาท
รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น	=	23,120	บาท / ม.

วิธีที่ 8 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากคันทาง

เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ซม. ความยาวเสาเข็ม 15 เมตร จำนวน 9 ต้น ต่อความยาวของถนน 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8.12



รูปที่ 8.12 การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์

ตารางที่ 8.14 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
1	ทราย					
	ทรายหยาบ	ลบ.ม.	1.00	360.50	360.50	
	ทรายละเอียด	ลบ.ม.	1.00	367.50	367.50	
2	วัสดุถมหรือรองพื้น					
	ทรายถมที่	ลบ.ม.	1.00	265.00	265.00	
	ดินถมที่	ลบ.ม.	1.00	192.50	192.50	
	ดินลูกรัง	ลบ.ม.	1.00	320.00	320.00	

ตารางที่ 8.14 ราคาต่อหน่วยงานซ่อมแซมด้วยวิธีการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ฯ (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคาทุน	หมายเหตุ
		(A)		(C)	(D)=(B)*(C)	
3	เสาเข็มดินซีเมนต์					
	ขนาด 60 ซม.	เมตร	1.00	320.00	320.00	
4	ค่าดำเนินการ	เหมา	1.00	30,000.00	30,000.00	

ราคากลางของกระทรวงพาณิชย์ ประจำเดือนมิถุนายน 2552 (www.price.moc.go.th)

1. งาน เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาด Ø 60 ซม.

$$\begin{aligned}
 &\text{ค่า เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาด } \varnothing 60 \text{ ซม.} &= & 9 \times 15 \times 320 \\
 & &= & 14,400 \quad \text{บาท} \\
 &2. \text{ ค่าดำเนินการ} &= & 30,000 \quad \text{บาท} \\
 &\text{รวมค่าซ่อมถนนทั้งสิ้น} &= & 44,400 \quad \text{บาท / ม.}
 \end{aligned}$$

Abramson, L.W., T.S. Lee, S. Sharma and G.M. Boyce, 1996, Slope stability and stabilization methods, New York, Wiley.

Bishop, A.W. and L. Bjerrum, 1960, The Relevance of the Triaxial test to the solution of stability problems, Proceedings of the research conference on shear strength of cohesive soils, Boulder, Colorado, ASCE, June.

Cai F. and Ugai K., 1999, Stability of slope reinforced with piles, Slope stability engineering, Rotterdam, Balkema.

Cheung, K A., 1998, Geodrid reinforced light weight embankment on stone columns , Rooding Geotechnics, New Zealand.

Chirapuntu, S. And J.M. Duncan, 1977, Cracking and progressive failure of embankments on soft clay foundations, International symposium on soft clay, Bangkok, Thailand, July.

Dikau, R., D. Brunsden, L.M. Schrott and L. Ibsen, 1996, Landslide recognition identification movement and causes, New York, Wiley.

Leroueil, S., Jean, P. and Tavenas, F., 1990, Embankments on Soft Clays, London, Ellig Horwood, pp. 40-49.

Miki, H., 1996, An Overview of Lightweight Banking Technology in Japan, Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo.

Otani, J. and E.M. Palmeira, 2005, Geosynthetic in Embankments on Soft Soil, International Geosynthetics Society.

Schuyler, J.D., 1905, Reservoirs for Irrigation, New York, Wiley.

Varnes D.J., 1996, Landslide types and processes, Landslides: Investigation and Mitigation. Transp. Res. Board, Spec. Rep. 247, pp 36-75.

จุฑา สุนิตย์สกุล, อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช, พลเทพ เลิศรวนิช และเศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, 2550, วิธีการออกแบบส่วนผสมสำหรับวัสดุงานทางที่ปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมสำหรับวัสดุที่ใช้ในงานทางด้วยซีเมนต์, สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง.

มนตรี เดชาสกุลสม, กนก ต่ายคำ, กิตยุตม์ กิจพานิช และสมเกียรติ จิตต์ประเสริฐ, 2548, การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวเพื่อใช้เป็นคันทางมวลเบา, สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

สถิตย์พงษ์ อภิเมธีธารัง, จุฑา สุนิตย์สกุล และศุภกร วชิราภรณ์, 2541, พฤติกรรมของถนนบนดินอ่อนในระหว่างการก่อสร้างที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 3117 คลองด่าน บางบ่อ, สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

ภาคผนวก ก.

แบบแปลนแนะนำ



แบบแปลนแนะนำ

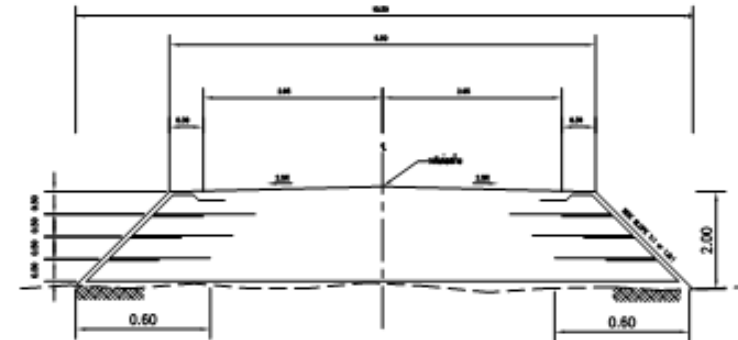
แนวทางและแบบปรับปรุงและการก่อสร้างถนนเลียบริมคันคลอง

สารบัญแบบ	แผ่นที่
สารบัญแบบ	001
คุณสมบัติของเสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์	002
รูปตัดแสดงค้ำทางเสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์	003
การป้องกันการเคลื่อนตัวของมวลดินบริเวณปลายเชิงชัน GABION	004
ค้ำทางเสริมกำลังด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์	005
การเสริมกำลังด้วยเสาเข็มดอก	006
รูปตัดแสดงการก่อสร้างค้ำทางดินมวลเบา (สร้างใหม่)	007
รูปตัดแสดงการก่อสร้างค้ำทางดินมวลเบา (สร้างเก่า)	008
รูปตัดแสดงการเสริมกำลังด้วยกำแพงกันดิน	009
รูปตัดแสดงการเสริมกำลังด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Cement) สร้างใหม่	010
รูปตัดแสดงการเสริมกำลังด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Cement) แก้ไข	011

 กรมทางหลวงชนบท	สารบัญแบบ	
	เลขแบบ	-
	ชื่อ	-
	ชนิด	-
	วันที่ พิมพ์ 2555	แผ่นที่ 1

ค้ำทางเสริมกำลังดินด้วย GEOGRIDS

- วัตถุประสงค์ :** ค้ำทางเสริมกำลังดิน ด้วย GEOGRIDS เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการพังทลายของถนนลาดชัน Side Slope โดยใช้ผ้าใยสังเคราะห์เสริมกำลังดิน Geogrid เพื่อทำล้นดินและป้องกันดินพังทลาย ทำให้งานมีความปลอดภัยและประหยัด
- ขนาดของงาน :** แบบแผนใช้ผ้าใยสังเคราะห์เสริมกำลังดินที่มีความสูงประมาณ 6.00 เมตร ใช้สำหรับในการถมดินและป้องกันดินพังทลายตามแนวถนนหรือทางระบายน้ำ
- ชนิดวัสดุ :** แบบแผนใช้ผ้าใยสังเคราะห์เสริมกำลังดินที่มีความสูงประมาณ 6.00 เมตร ใช้สำหรับในการถมดินและป้องกันดินพังทลายตามแนวถนนหรือทางระบายน้ำ
- ชนิดวัสดุ :** แบบแผนใช้ผ้าใยสังเคราะห์เสริมกำลังดินที่มีความสูงประมาณ 6.00 เมตร ใช้สำหรับในการถมดินและป้องกันดินพังทลายตามแนวถนนหรือทางระบายน้ำ



รูปตัดแสดงค้ำทางเสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์

หมายเหตุ

- วัสดุใยสังเคราะห์เสริมกำลังดิน
- ค้ำทางเสริมกำลังดินด้วย GEOGRIDS ควรใช้ผ้าใยสังเคราะห์เสริมกำลังดินด้วย Geogrid โดยเสริมด้วยตะกร้าทราย GABION
- การติดตั้งใยสังเคราะห์ ควรใช้ไม้หรือวัสดุอื่นค้ำยันให้ใยสังเคราะห์ไม่ยุบตัว
- ก่อนเริ่มการก่อสร้างค้ำทางเสริมกำลังดิน ผู้รับจ้างควรนำแบบและรายละเอียดการคำนวณมาให้วิศวกรตรวจสอบพิจารณาอนุมัติ
- ในการบดอัดดินเพื่อสร้างค้ำทางเสริมกำลังดิน ผู้รับจ้างควรใช้วิธีบดอัดดินที่เหมาะสม เช่น ใช้รถบดอัดดิน 1-3 ตัน และใช้ Plate Compactor ในบริเวณที่อยู่ใกล้เสาเข็ม การบดอัดใช้สารที่ขึ้นรูป 12.5 มม.
- การทำการบดอัดดินตามมาตรฐานการบดอัดดิน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของค้ำทางเสริมกำลังดิน GEOGRIDS ชนิด HIGH DENSITY POLYETHYLENE

คุณสมบัติ	หน่วย	ค่าที่ขอรับ	
		TYPE 1	TYPE 2
Ultimate Tensile Strength MD/CD	KN/m.	≥ 60/30	≥ 80/30
Peak Strain	%	< 11	< 11
Long Term Design Strength at 120 yrs.	KN/m.	≥ 30	≥ 40
Tensile at Strain 2%	KN/m.	< 10	< 15
Tensile at Strain 5%	KN/m.	< 25	< 30

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแข็งแรงของวัสดุ Geogrid ที่ระดับความสูงต่าง ๆ

จากผิวถนน (เมตร)	ความสูงค้ำทางเสริมกำลังดิน (เมตร)	ความสูงของ GEOGRIDS (เมตร)	ค่าความแข็งแรง Geogrid	
			TYPE 1	TYPE 2
3.00	3.00	2.50	—	7
4.00	4.00	3.00	—	9
5.00	5.00	3.50	4	7
6.00	6.00	4.50	4	9



กรมทางหลวงชนบท

รูปตัดแสดงค้ำทางเสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ ปท.3020	
สาขา	—
สาขา	—
สาขา	—
วันที่	วันที่ ๒๒
ปี	๒๕๖๕

รายละเอียดคุณลักษณะทั่วไปของค้ำทางเสริมกำลังดินที่ใช้ GEOGRIDS

รายละเอียดของงานวิจัยที่ไปขอรับรางวัลนี้จากสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย (กศน.)

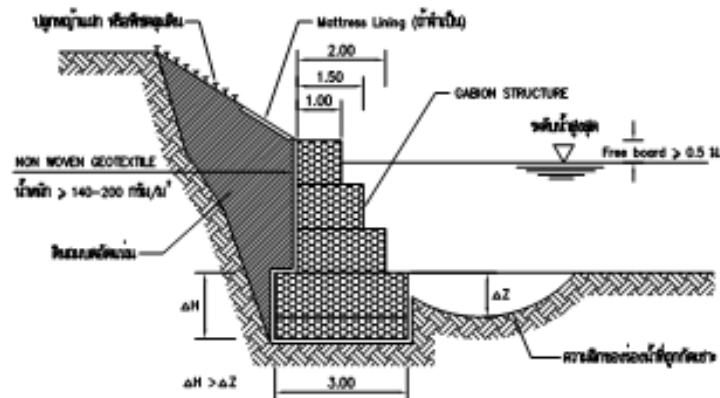
- [illegible]

 กระทรวงศึกษาธิการ กรมการศึกษานอกโรงเรียน	วิทยาลัยการศึกษานอกโรงเรียน อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี	
	เลขที่	-
	วันที่	-
	เรื่อง	-
	ที่	หน้า

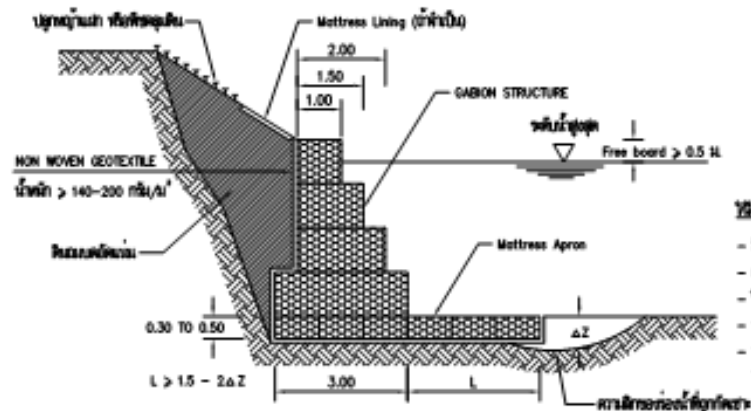
การป้องกันและการเสริมตัวของดินบริเวณปลายเชิงลาดที่อยู่ติดลำน้ำ (GABION WALL FOR TOE SLOPE PROTECTION)

- วัตถุประสงค์ :** ระบบแนวป้องกันลำน้ำซึ่งมีการก่อสร้างตาม Side Slope ของถนนหรือที่จอดรถด้านข้างถนนและตามแนวคันคลองคั่นน้ำทาง ซึ่งปกติมีลักษณะลาดชันหรือมีความลาดชันมาก Toe Slope จะมีความลาดชันเป็นปกติตามลักษณะของดินตามพื้นที่นั้นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินในพื้นที่นั้นๆ เพื่อป้องกันการพังทลาย
- ขอบเขตของงาน :** รูปแบบการก่อสร้างการป้องกันดินบริเวณปลายเชิงลาดของถนนหรือที่จอดรถด้านข้างถนน โดยใช้ Gabion Wall และ Mattress Lining ซึ่งประกอบด้วย Gabion Wall และ Mattress Lining ซึ่งประกอบด้วย Gabion Wall และ Mattress Lining
- ข้อจำกัด :**
- รูปแบบการก่อสร้างการป้องกันดินบริเวณปลายเชิงลาดของถนนหรือที่จอดรถด้านข้างถนน โดยใช้ Gabion Wall และ Mattress Lining
 - กรณีที่ความลาดชันของดินมีความลาดชัน 5.0 เมตร ต่อ 1 เมตร (5:1) หรือ Gabion Wall และ Mattress Lining

1. กรณีก่อสร้าง Gabion Wall ในดินแข็ง โดยใช้ฐานแข็ง



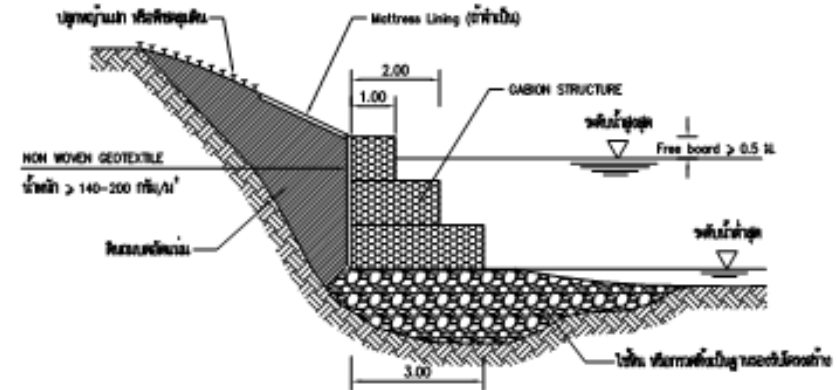
2. กรณีก่อสร้าง Gabion Wall ในดินแข็ง โดยใช้ฐานวางบนหินและ Mattress เป็น Apron



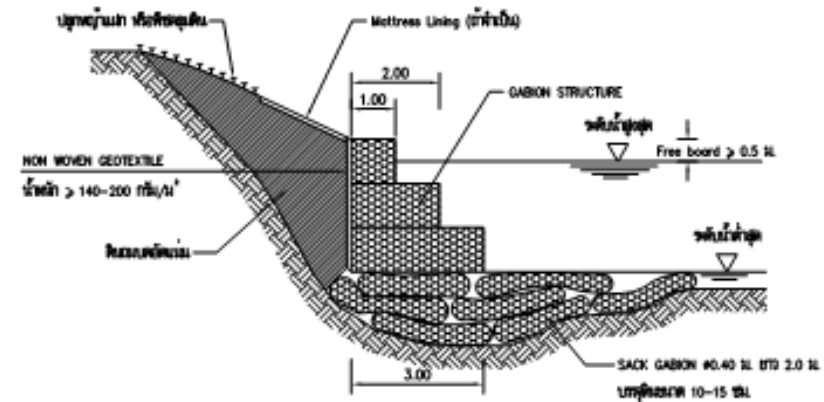
หมายเหตุ

- ถ้าเป็นแบบ 2 ชั้นหรือ 3 ชั้นขึ้นไป
- ความสูงของ Gabion Wall แต่ละชั้น ไม่ควรเกิน 2.00 เมตร
- การก่อสร้าง Gabion Wall แต่ละชั้น ควรใช้ Gabion Wall ที่มีความแข็งแรง
- กรณีที่ความสูงของ Gabion Wall มากกว่า 5.0 เมตร ควรใช้ Gabion Wall ที่มีความแข็งแรง
- การก่อสร้าง Gabion Wall แต่ละชั้น ควรใช้ Gabion Wall ที่มีความแข็งแรง
- การก่อสร้าง Gabion Wall แต่ละชั้น ควรใช้ Gabion Wall ที่มีความแข็งแรง

3. กรณีก่อสร้าง Gabion Wall ในน้ำ โดยใช้หิน หรือกรวดซึ่งเป็นฐานรองรับโครงสร้าง



4. กรณีก่อสร้าง Gabion Wall ในน้ำ โดยใช้ Sack Gabion เป็นฐานรองรับโครงสร้าง



กรมทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

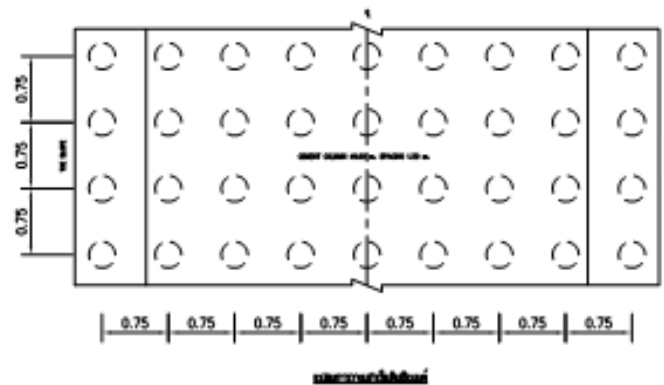
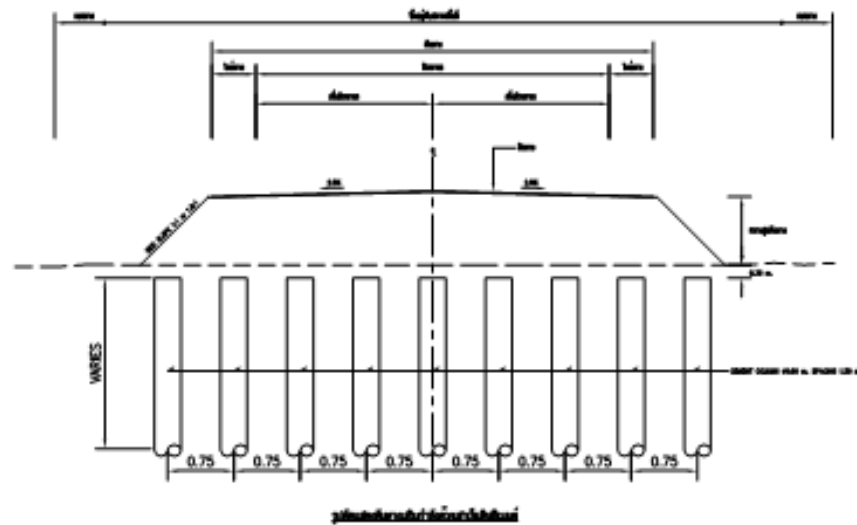
กรมทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
(GABION)

ชื่อ	-
นามสกุล	-
ตำแหน่ง	-
ชื่อ	-
นามสกุล	-
ตำแหน่ง	-

คัลการเสริมกำลังด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์

1. การก่อสร้างฐานใต้ดินแข็งตัว การทำ Deep Stabilization โดยใช้ Wet Mixing นั้น จะใช้วิธีนำดินกับสารเคมี ผสมกันกับ น้ำซีเมนต์

เครื่องผสมและเครื่องการสารเคมีซึ่งใช้กับเป็น Slurry เครื่องผสม/ฉีดและผสม Slurry ลงไปเป็นดิน แล้วทำการฉีดและ Slurry ที่ดินลงเป็นดิน



- วัตถุประสงค์** : คัลการเสริมกำลังด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ แบบผสมดินและสารเคมีใช้กับในการก่อสร้างฐานใต้ดินแข็งตัวและลดการทรุดตัวของดิน
- ขอบเขตของการใช้งาน** : ใช้สำหรับก่อสร้างฐานใต้ดินแข็งตัวและลดการทรุดตัวของดิน
- ข้อจำกัด** : งานเสริมกำลังด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์สามารถใช้กับดินที่มีค่าความชื้นสูง

ข้อกำหนด

1. ใช้เป็นแบบ นอกเหนือจากนี้ไม่ใช้แบบอื่น
2. กรณีใช้วัสดุที่มีค่า CBR < 4% ต้องออกแบบโครงสร้างดินและเสาเข็ม
3. ใช้วัสดุที่มีค่าในทางยาวน้อยกว่า CBR ไม่ต่ำกว่า 4% ของดินเดิม
4. ความหนาของชั้นโครงสร้างทาง พื้นผิวถนนและโครงสร้างทาง

การคำนวณการออกแบบความหนาของชั้นโครงสร้างทาง

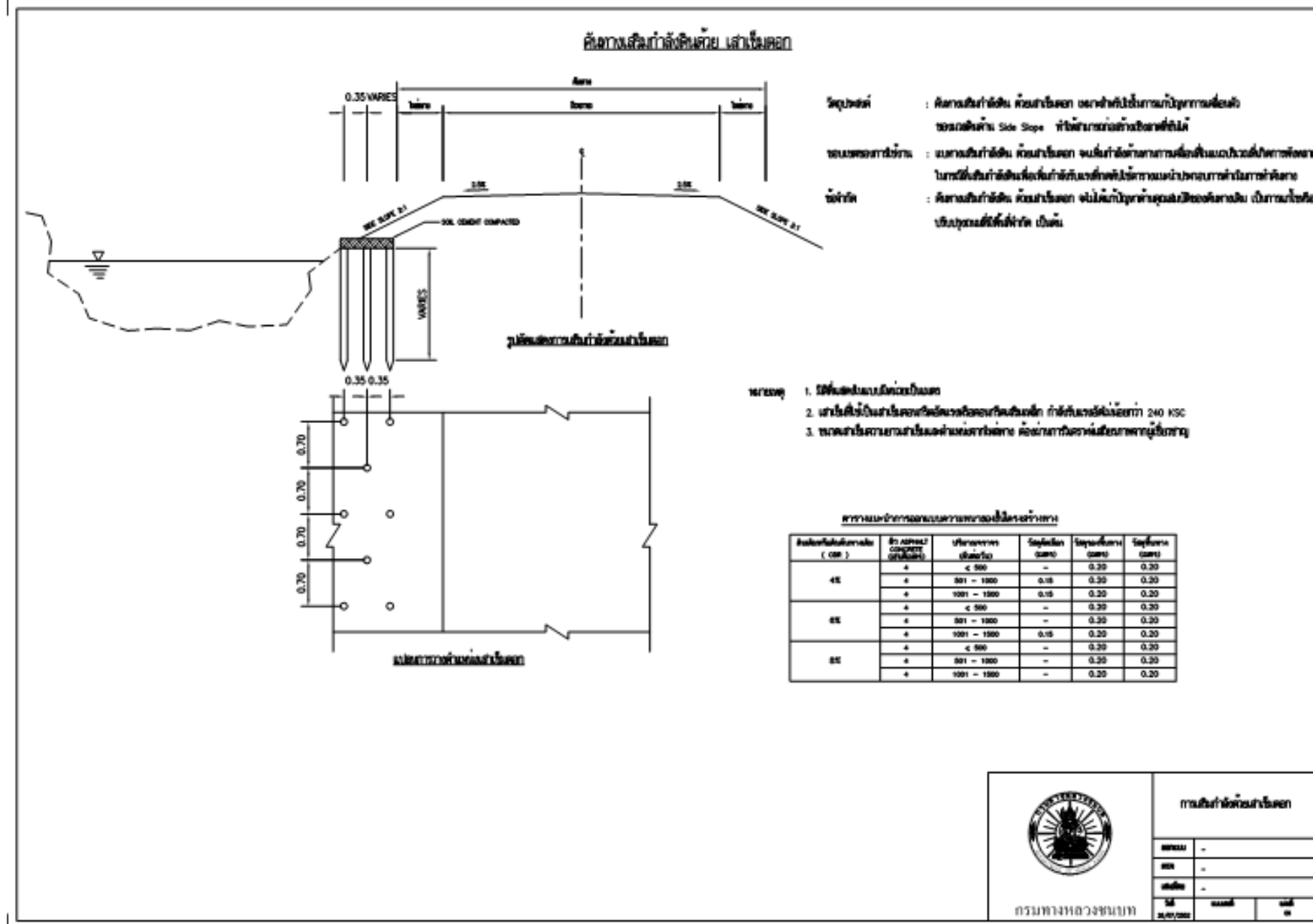
ดินเดิมใช้ในงานถม (CBR)	ค่า ASPHALT CONCRETE (เป็นชั้นผิว)	ปริมาณจราจร (คันต่อวัน)	อัตราค่าเฉลี่ย (ม.คก.)	อัตราค่าเฉลี่ย (ม.คก.)	อัตราค่าเฉลี่ย (ม.คก.)
4%	4	< 500	-	0.20	0.20
	4	501 - 1000	0.15	0.20	0.20
	4	1001 - 1500	0.15	0.20	0.20
6%	4	< 500	-	0.20	0.20
	4	501 - 1000	-	0.20	0.20
	4	1001 - 1500	0.15	0.20	0.20
8%	4	< 500	-	0.20	0.20
	4	501 - 1000	-	0.20	0.20
	4	1001 - 1500	-	0.20	0.20

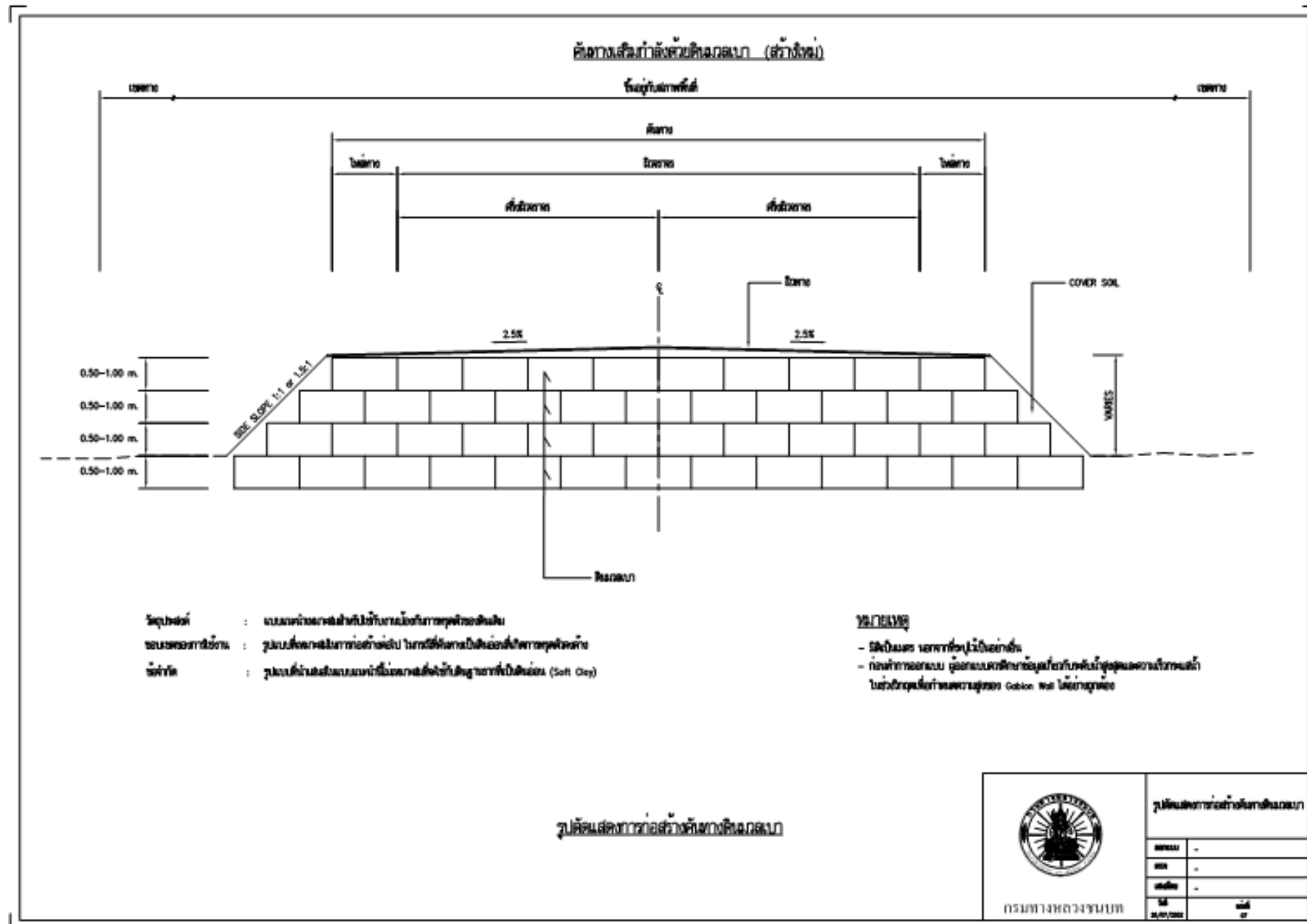


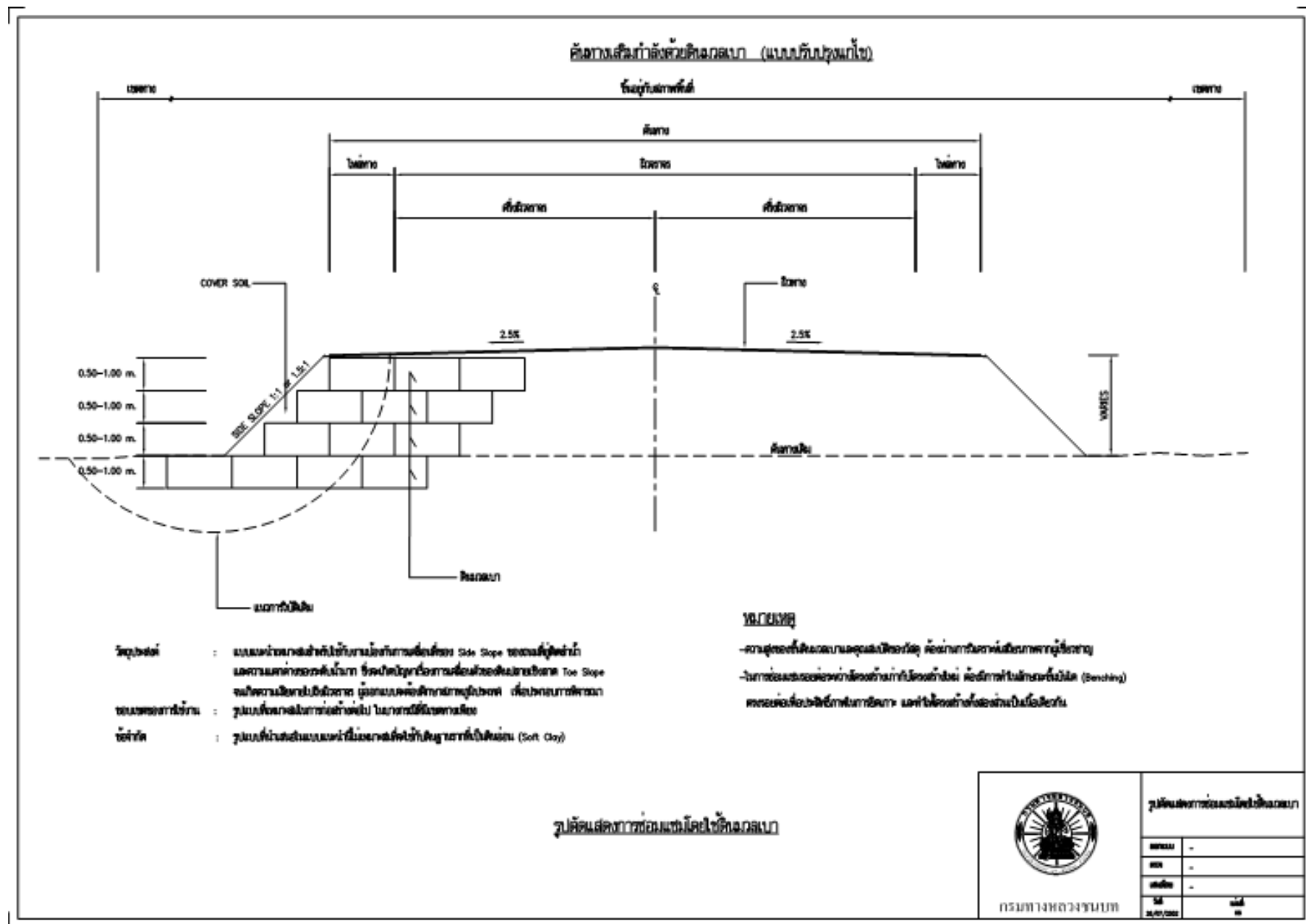
กรมทางหลวงชนบท

คัลการเสริมกำลังด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์

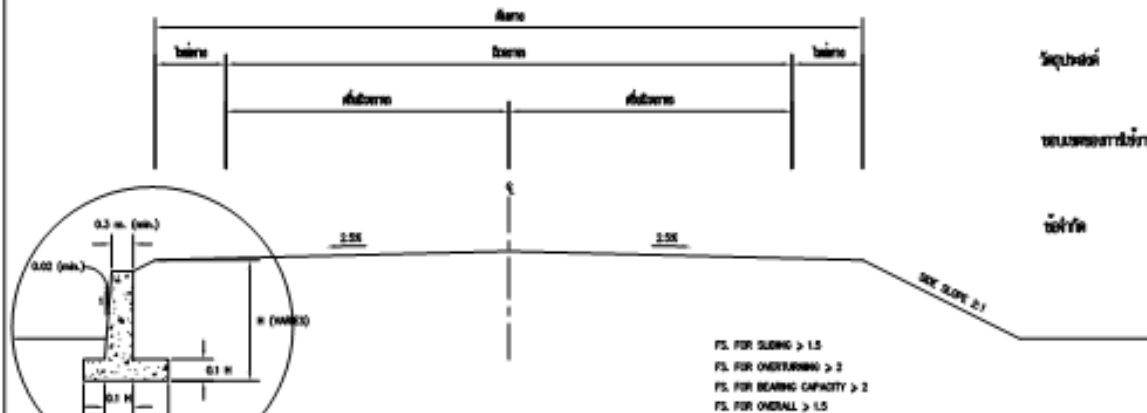
วันที่	-
ชื่อ	-
ตำแหน่ง	-
ชื่อ	-
ตำแหน่ง	-





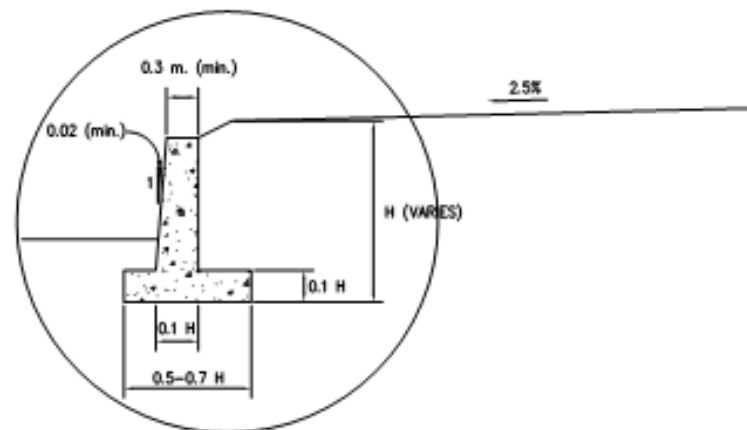


คู่มือการเสริมกำลังหินด้วยกำแพงกันดิน



- วัตถุประสงค์ :** คู่มือการเสริมกำลังหิน เพื่อใช้ในการปรับปรุงสภาพดิน
ของดินด้าน Side Slope เป็นกำลังเสริมแรงดินให้มีความมั่นคง เพื่อใช้ในการก่อสร้างบริเวณที่ขี้ไม่
- ขอบเขตการใช้งาน :** แบบแผนนี้ใช้สำหรับก่อสร้างกำแพงกันดินที่มีสูงไม่เกิน 6.00 เมตร
โดยใช้ในการออกแบบโครงสร้างและควบคุมการก่อสร้างให้ตรงตามข้อกำหนดก่อน
- ข้อจำกัด :** คู่มือการเสริมกำลังหิน จะใช้สำหรับดินประเภทที่ 1 และ 2 ซึ่งถ้าดินเป็นดินประเภทที่ 3 หรือ 4
แล้วมีปัญหาด้านสภาพของดินที่ขี้ไม่ โดยไม่ทราบของดินที่ขี้ไม่ ควรจะปรึกษาวิศวกร

รูปแสดงการเสริมกำลังด้วยกำแพงกันดิน

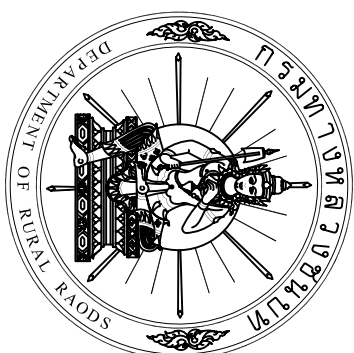


หมายเหตุ

1. ใช้ดินสำหรับแบบดินเหนียว
2. กำแพงกันดินต้องทำแบบดินเหนียว ซึ่งมีการปรับปรุงดินให้มีความมั่นคงและมีความแข็งแรง
3. ขนาดของกำแพงและดินเหนียวต้องสอดคล้องกับขนาดของดินเหนียว
4. ก่อนเริ่มการก่อสร้างกำแพงกันดิน ต้องทำการสำรวจดินเหนียวให้มีความแข็งแรงก่อน

แบบขยายกำแพงกันดิน

 กรมทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	รูปแสดงการเสริมกำลังด้วยกำแพงกันดิน	
	วันที่	-
	ชื่อ	-
	ตำแหน่ง	-
วันที่ 25/07/2561		หน้า 1



របាយការណ៍ស្រាវជ្រាវ

ការវាយតម្លៃសុវត្ថិភាពសម្រាប់ការដឹកជញ្ជូនដោយរថភ្លើងក្នុងតំបន់ភ្នំពេញ

รายละเอียดและวิธีการให้คะแนนข้อคำถามของคัมภีร์

การให้คะแนนข้อคำถามของคัมภีร์

ความยากของข้อคำถามของคัมภีร์ทางศาสนาที่วัดกำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน การกำหนดของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

การให้คะแนนข้อคำถามของคัมภีร์ทางศาสนาที่วัดกำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน การให้คะแนนของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

การให้คะแนนข้อคำถามของคัมภีร์ทางศาสนาที่วัดกำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน การให้คะแนนของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

การให้คะแนนข้อคำถามของคัมภีร์ทางศาสนาที่วัดกำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน การให้คะแนนของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

ตารางที่ 1 ค่าอัตราส่วนความยากของคัมภีร์ทางศาสนาที่วัดกำหนดไว้ในแบบมาตรฐาน การให้คะแนนของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

ความยากของคัมภีร์	ความยากของคัมภีร์ (แบบวัด: แบบวัด)				หมายเหตุ
	1 : 1.75	1 : 1.50	1 : 1.25	1 : 1	
1.50	2.370	2.311	2.258	2.242	มีลักษณะการใช้ งานที่ผิดปกติ
2.00	1.789	1.754	1.743	1.733	
2.50	1.475	1.470	1.467	1.456	
3.00	1.280	1.266	1.257	1.246	
3.50	1.120	1.113	1.101	1.083	มีความเสี่ยง ต่อการใช้งาน
4.00	1.002	0.966	0.984	0.972	
4.50	0.915	0.904	0.890	0.883	การให้คะแนน แก่ข้อคำถาม
5.00	0.838	0.828	0.818	0.804	

วิธีการประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์

วิธีการประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

1. การประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545
2. การประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545
3. การประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545
4. การประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545
5. การประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545
6. การประเมินผลคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

หมายเหตุ

ในการให้คะแนนคัมภีร์ทางศาสนาของคัมภีร์ พ.ศ. 2545

	
กรมการศาสนา	
ชื่อ	-
นามสกุล	-
ตำแหน่ง	-
วันที่	20/07/2562

รูปบัตรการลงทะเบียนโดยผู้ปกครองสถานศึกษา GABION

ગુજરાત સરકાર

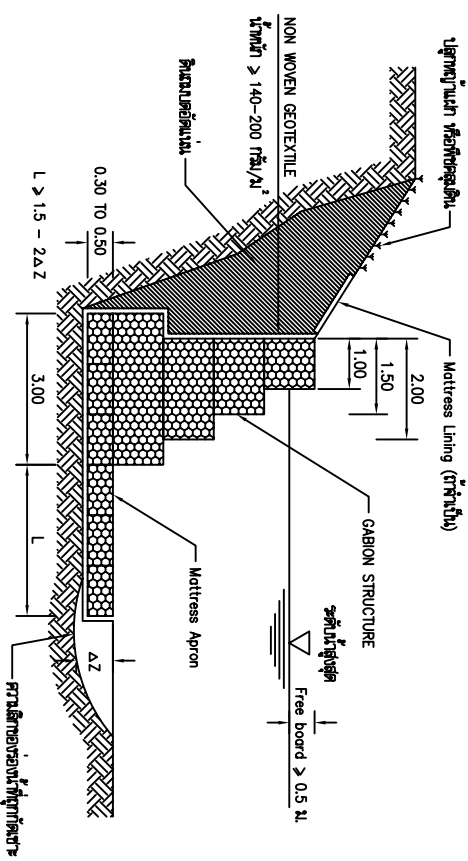
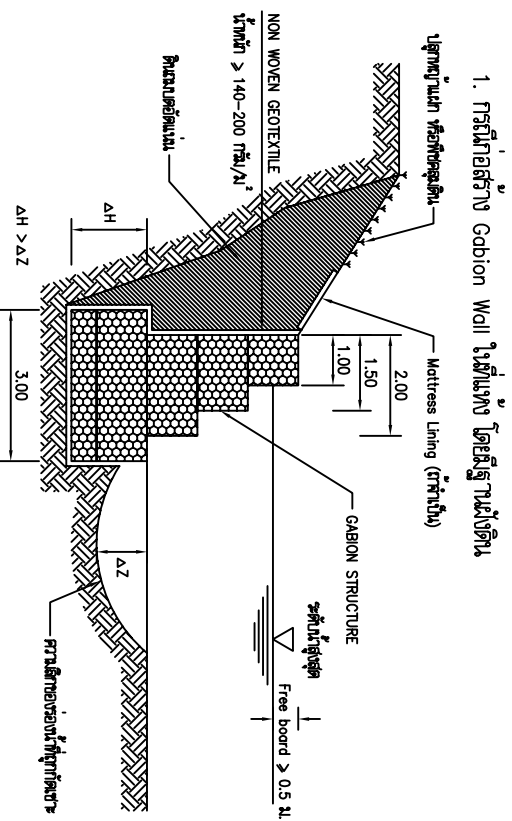
ชอ.บ.ชสชอ.ทาสี.ช.ท.

๒. **ข้อมูลทั่วไป**

[illegible]

2. การฉีกอสังขาง Gabion Wall ในพื้นที่ทาง โดยฉีกฐานวางบนดินและ Mattress เป็น Apron

2. การตีกลองสร้าง Gabion Wall ในพื้นที่ทาง โดยมูลนิธิฯ วางแบบตีผนังและ Mattress เป็น Apron



๓. ศาสนาอิสลามเป็นศาสนาที่เคร่งครัดและมีความเชื่ออย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับพระเจ้าและชีวิตหลังความตาย (ศาสนาอิสลามให้ความสำคัญกับการปฏิบัติศาสนกิจและการศึกษาเป็นอย่างมาก)

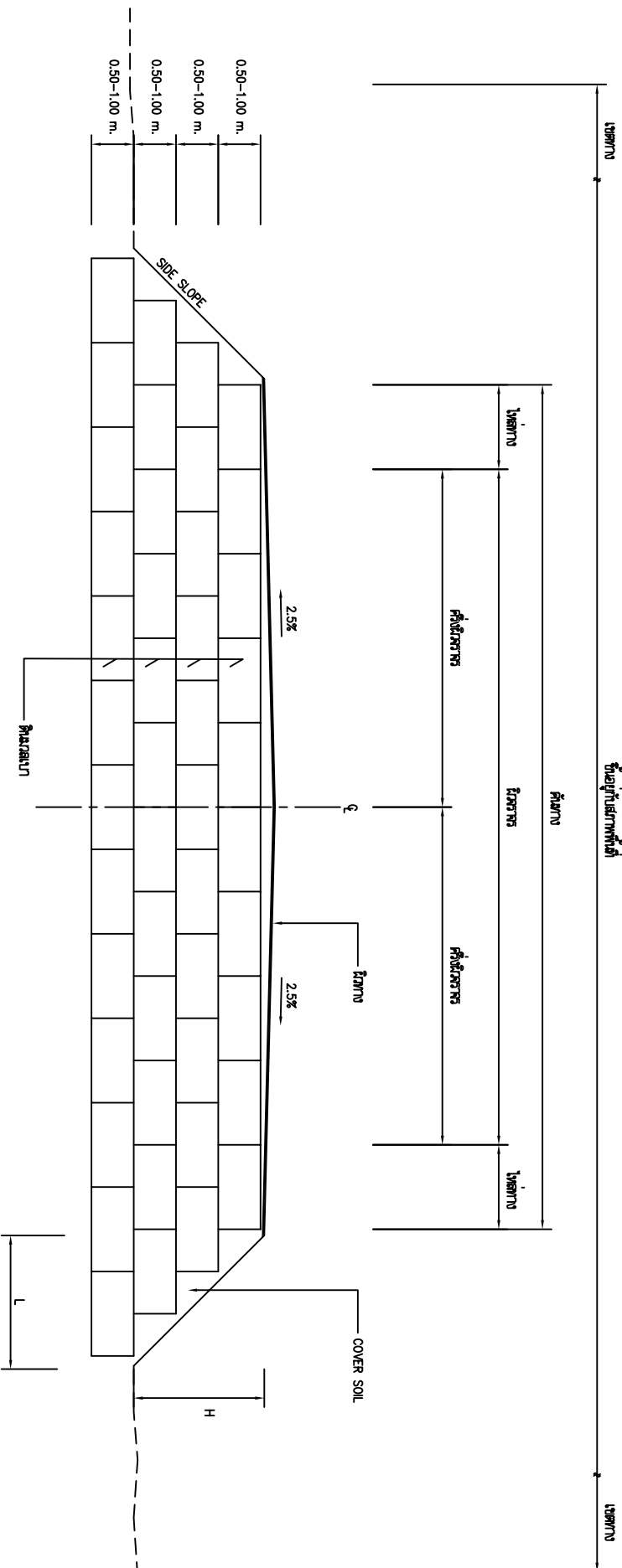
ค่าเฉลี่ยค่าจ้าง (บาท)	ค่าเฉลี่ยค่าจ้างช่วง (แบ่งกลุ่มเงินเดือน)				หมายเหตุ
	1 : 1.75	1 : 1.50	1 : 1.25	1 : 1	
1.50	2.370	2.311	2.258	2.242	มีสิทธิ์ก้าวหน้า งานพิเศษ
2.00	1.789	1.754	1.743	1.733	
2.50	1.475	1.470	1.467	1.456	
3.00	1.280	1.266	1.257	1.246	
3.50	1.120	1.113	1.101	1.083	ค่าเฉลี่ยค่าจ้าง
4.00	1.002	0.966	0.984	0.972	
4.50	0.915	0.904	0.890	0.883	
5.00	0.838	0.828	0.818	0.804	นำข้อมูลไปคำนวณ

พ.ร.บ. ๒๕๖๒

- มีลักษณะ นอสาที่กำบังน้อยกว่าอื่น
- ความสูงของ Gobion Well เพิ่มขึ้น ให้สูงขึ้นการติดตั้ง Gobion Retaining Wall
- วิธีการติดตั้งและวิธีการลงของวัสดุภายใน Gobion ให้แตกต่างกันไป
- การให้ระดับน้ำสูงจากปาก 5.0 ม. หรือออกแบบโดยใช้ Matress ปูนในลักษณะ Gobion Well
- ถ้าหากการออกแบบ ผิดออกแบบวิธีการติดตั้งเกี่ยวกับวิธีนี้ ผู้รับเหมาสามารถนำเอาไปสร้างอีกตามต้องการตามสูงของ Gobion Well โดยไม่ต้องกังวล

รูปตัดการสไลด์หน้าโดยการใช้หัวสไลด์สไลด์เบา (สร้างใหม่)

ข้อ ๑๖. การดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ



รูปตัดแสดงทางรากอสร้างพื้นทางพื้นดินและน้ำ

วัตถุประสงค์ :

แบบแผนและนำเสนอสู่ภาคีที่เกี่ยวข้องกับทั้งภาคราชการและภาคประชาสังคม

ขอเสนอข้ออ้างที่สาม : รูปแบบที่นำเสนอสามารถสร้างประโยชน์ในทางที่มีค่าทางในเชิงพาณิชย์ได้สามารถที่จะสร้าง

๒. ขั้วตัด : รูปแบบที่วางถ่ายลงในแบบหล่อแล้วมีแรงกดจากชั้นที่ขี้ก้นดินฐานรากที่เป็นหินอ่อน (Soft Clay)

บทที่ ๑๖

- ผลิตเป็นละคร นอกจากที่สร้างเป็นสื่อออนไลน์
 - เกือบทำภาพยนตร์ (ผู้เอกนางสาววิภาดาอยู่ใกล้กับชีวิตนี้) (ผู้จัดละครสาวงามที่รวมเหล่า)
- ในช่วงชีวิตของเธอ เธอได้พบกับ Goshin Wall (เธอได้พบกับ)

ตารางที่ 3 คำยืมจากภาษาบาลีของบทกวีสุภาษิตในภาษาไทย
เมื่อแปลเป็นภาษาไทยแบบภาษาพูดหรือภาษาเขียน (ภาษาที่ใช้คำยืมจากภาษาบาลีในภาษาไทย)

การสุ่มตัวอย่าง (หน่วย)	การสุ่มตัวอย่างที่ต่างกัน (ขนาด H: ขนาด L)				หมายเหตุ
	1 : 1/5	1 : 1/50	1 : 1/25	1 : 1	
H					
1.50	2.370	2.311	2.258	2.242	สมมติฐานที่ พบว่ามีผล ทางสถิติ
2.00	1.789	1.754	1.743	1.733	
2.50	1.475	1.470	1.467	1.456	
3.00	1.280	1.266	1.257	1.246	สมมติฐาน พบว่ามีผล ทางสถิติ
3.50	1.120	1.113	1.101	1.083	
4.00	1.002	0.986	0.984	0.972	การสุ่มที่ พบว่ามีผล ทางสถิติ
4.50	0.915	0.904	0.890	0.883	
5.00	0.838	0.828	0.816	0.804	การสุ่มที่ พบว่ามีผล ทางสถิติ



กรมทางหลวงชนบท

รู้แต่การสนทนาทางโทรศัพท์ในช่วงเวลา
สัปดาห์หนึ่ง

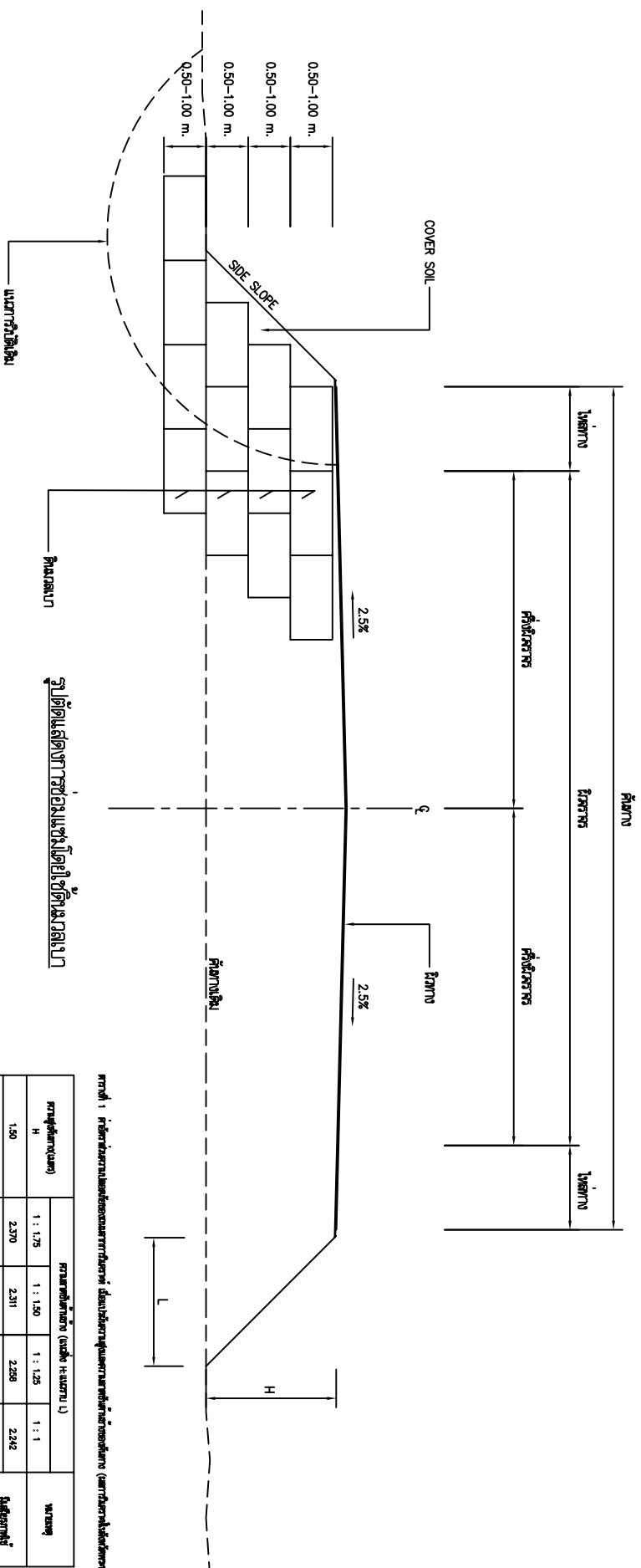
תאריך	
-------	--

DATA	
----------------------	--

กำหนดโดย

26/07/2025

รูปตัดการสลับภาพในระยะเวลาชั่วเสี้ยวเวลา (ภาพ)



ตารางที่ 1 : การวัดผลสัมฤทธิ์ของบทเรียนการฝึกสอนฯ เป็นแบบสำรวจแบบความน่าเชื่อถือเกี่ยวกับความรู้ (ผลการเรียนรู้นี้ได้จัดทำควบคู่กับความรู้เชิงปฏิบัติ)

အမျိုးအမည် (Name)	အားလုံး၏ ပျမ်းမျှ (Overall Average)				မှတ်ချက် (Remarks)
	၁ : ၂.၇၅	၂ : ၂.၈၀	၃ : ၂.၈၅	၄ : ၂.၉၀	
၁.၈၀	၂.၇၀	၂.၈၀	၂.၈၅	၂.၉၀	အားလုံး၏ ပျမ်းမျှ (Overall Average)
၂.၀၀	၂.၇၈	၂.၇၄	၂.၇၃	၂.၇၃	
၂.၅၀	၂.၇၅	၂.၇၀	၂.၆၇	၂.၆၆	
၃.၀၀	၂.၈၀	၂.၈၈	၂.၉၅	၂.၉၆	အားလုံး၏ ပျမ်းမျှ (Overall Average)
၃.၅၀	၂.၉၀	၂.၈၃	၂.၈၈	၂.၈၈	
၄.၀၀	၂.၉၀	၂.၈၈	၂.၉၀	၂.၉၀	
၄.၅၀	၂.၉၅	၂.၉၀	၂.၉၀	၂.၉၀	အားလုံး၏ ပျမ်းမျှ (Overall Average)
၅.၀၀	၂.၉၅	၂.၉၀	၂.၉၀	၂.၉၀	
၅.၅၀	၂.၉၅	၂.၉၀	၂.၉၀	၂.၉၀	

ગુજરાત સરકાર

แบบแผนการผสมลำไส้ที่กว้างขวางเนื่องจากการเคลื่อนไหวของ Side Slope ของท่อน้ำดีที่ผิดปกติ :

และความแตกต่างของระดับน้ำมาก ซึ่งจะทำให้การไหลของน้ำลงปลายเชิงลาด Toe Slope

งานนี้เธอวางแผนทุกอย่างไปถึงไม้ละสลวย ผู้เอกและปะตอเฝ้าภาวณภาพนุณประภค เพื่อปะกอบภาวอิฬลลล

ชวบ.เปศชชวทากาสีขงงาน

รูปแบบที่เทศบาลใช้ในการก่อสร้างต่อไปนี้ ในบางกรณีมีข้อยกเว้น

புதுச்சேரி

จากแบบที่ ๑ มาดูตัวอย่างแบบ และจะเห็นว่าแบบกระดาษที่ ๑ จะใช้กับดินเหนียวที่เรียกว่า ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) :

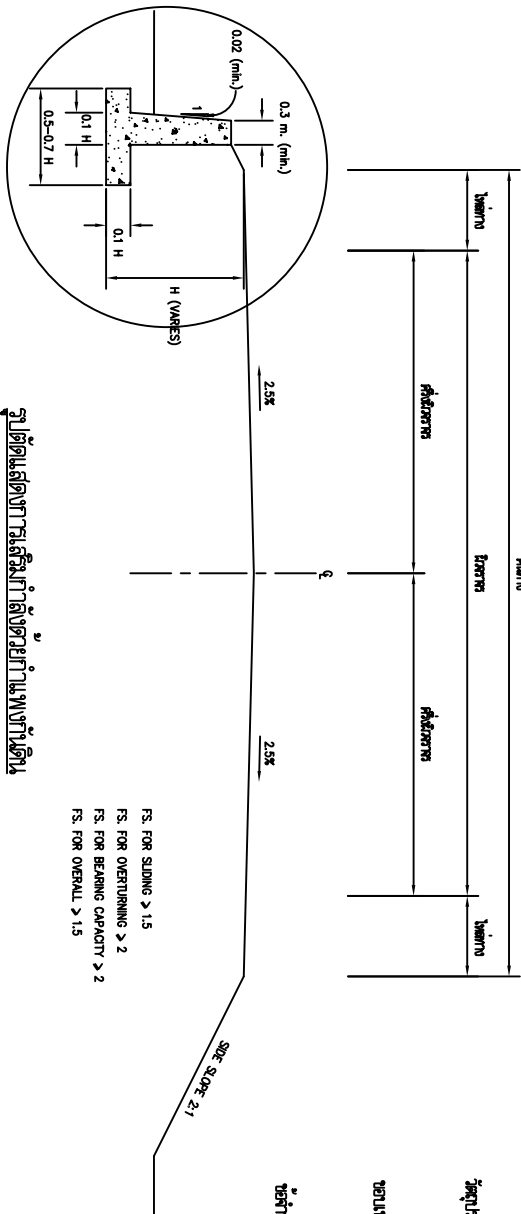


จะเปิดทำการสอนภาคนี้โดยภาาษาจีนด้วยตนเอง

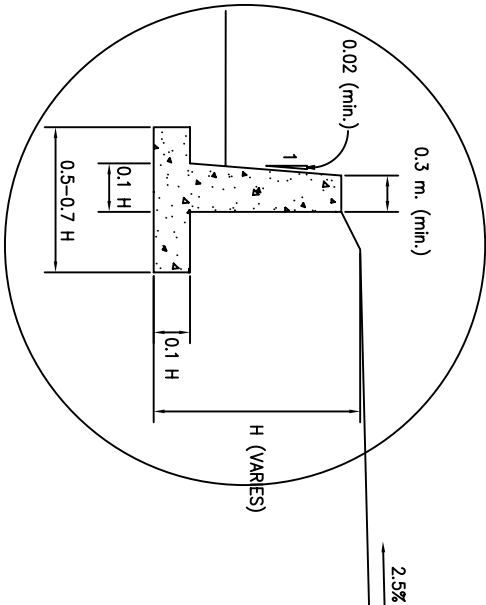
กรมทางหลวงชนบท

26/07/2002	07
------------	----

รูปตัดท้ายกำแพงกันดิน



รูปตัดและตัดท้ายกำแพงกันดิน



แบบขยายกำแพงกันดิน

ข้อมูลสรุป

: คำนวณและตัดท้ายกำแพงกันดิน
ของมูลนิธิฯ Side Slope เป็น 2.5% และระดับน้ำทะเลปานกลาง 6.00 เมตร

ขอบเขตของงาน

: แบบแปลนและตัดท้ายกำแพงกันดิน
รูปตัดท้ายกำแพงกันดิน

ข้อควรระวัง

: คำนวณและตัดท้ายกำแพงกันดิน
และแบบแปลนและตัดท้ายกำแพงกันดิน

ตารางที่ 1 : ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าสัมประสิทธิ์แรงกด (ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าสัมประสิทธิ์แรงกด)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (ค่าสัมประสิทธิ์)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (ค่าสัมประสิทธิ์)				หมายเหตุ
	1 : 1.75	1 : 1.50	1 : 1.25	1 : 1	
1.50	2.370	2.311	2.288	2.242	กรณีการคำนวณ
2.00	1.789	1.754	1.743	1.733	
2.50	1.475	1.470	1.467	1.466	กรณีการคำนวณ
3.00	1.280	1.266	1.257	1.246	
3.50	1.120	1.113	1.101	1.083	กรณีการคำนวณ
4.00	1.002	0.986	0.984	0.972	
4.50	0.915	0.904	0.890	0.883	กรณีการคำนวณ
5.00	0.838	0.828	0.818	0.804	

1. รูปตัดและตัดท้ายกำแพงกันดิน
2. การคำนวณและตัดท้ายกำแพงกันดิน
3. การคำนวณและตัดท้ายกำแพงกันดิน
4. การคำนวณและตัดท้ายกำแพงกันดิน



กรมทางหลวงชนบท

รูปตัดท้ายกำแพงกันดิน

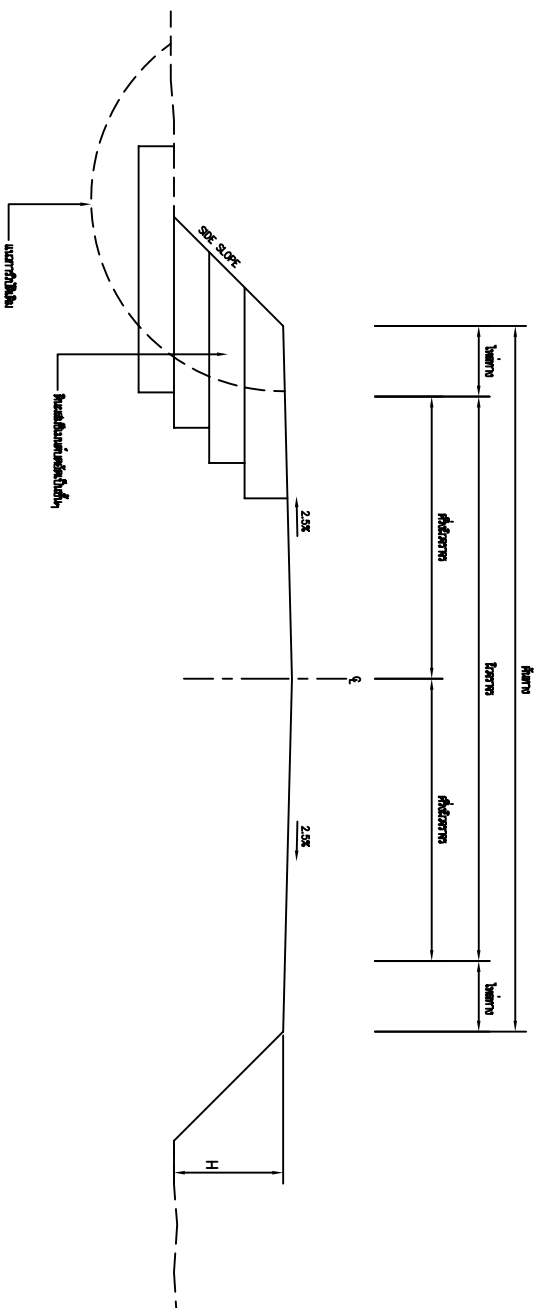
ขนาด

ขนาด

ขนาด

ขนาด

รูปตัดการะชิติหฺวีเฌนตเฌนฺตสฺตบตอถิตฺทฌาง (Soil Cement) แฌเฌ



របៀបគ្រប់គ្រងការងាររបស់យើង។

វិទ្យាសាស្ត្រសង្គម

แบบแบ่งหน้ากระดาษสำคัญไว้ข้างงานแบ่งอีกฝ่ายอีกทีได้สะดวก Side Slope ของกระดาษแบบข้างที่อยู่ติดสำคัญสามารถแบ่งได้สะดวก

และความลาดของระดับทาง ซึ่งเกิดจากแรงโน้มถ่วงที่ลงตามเชิงลาด Toe Slope จะมีความเสี่ยงไม่เพียงพอที่จะ

“เมื่อถามแบบสองทิศทางสภาพภูมิประเทศ ระดับน้ำสูงที่สุด-ต่ำสุด ใช้ทางและความเร็วของน้ำ เพื่อประกอบการพิจารณา

“ส่วนเบาะรองนอนที่วางนอนอยู่ ในภาชนะที่มีสิ่งสกปรกเยอะๆ แลสะอาดแล้วก็นำไปตากแดดแบบนี้ใช้ Mattress Lining”

ข้าพเจ้าขอฝากอโศกไว้กับพี่สาวอีกคน แม่แม่อยู่คนละแคว้นชาติ ในเขตเมืองหลวง

ข้อจำกัด

- รูปแบบที่นำเสนอรูปแบบและรายละเอียดที่จะจัดทำกิจกรรมสาธารณะที่เป็นนิเวศอ่อน (Soft Clay) :

- การขึ้นของอากาศที่ความสูงเกิน 5.0 เมตร อาจใช้แบบเส้น Gasion Woll และ Mattress Lining

การวัดตัวแปร (ตาม)	การวัดตัวแปร (ตามตัวแปร 1)				หมายเหตุ
	1 : 1,75	1 : 1,50	1 : 1,25	1 : 1	
H					
1,50	2,370	2,311	2,258	2,242	ระดับความพึงพอใจ ปานกลาง
2,00	1,789	1,754	1,743	1,733	
2,50	1,475	1,470	1,467	1,456	
3,00	1,280	1,266	1,257	1,246	ระดับความพึงพอใจ ต่ำ
3,50	1,120	1,113	1,101	1,083	
4,00	1,002	0,986	0,984	0,972	ระดับความพึงพอใจ ต่ำ
4,50	0,915	0,904	0,890	0,883	
5,00	0,838	0,828	0,818	0,804	



ดูบัตรคำศัพท์ที่เขียนเป็นตัวเลขตามข้อที่
(หน้า ๒)

กรมทางหลวงชนบท

BERNARDU	-
RTT	-
LABORING	-
2nd	10