บทที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณโดยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0

6.1 บทนำ

ในบทนี้ ได้แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างปรับการทรุดตัวประเภท Approach Slab on Pile โดยได้ใช้ข้อมูลจากกรณีศึกษา “โครงการก่อสร้างสะพานข้าวคลองบางตะไนย บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 345” มาเป็นตัวอย่างการใช้โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.00 โดยมีการป้อนข้อมูล และขั้นตอนการคำนวณดังนี้

6.2 โครงการสะพานข้ามคลองบางตะไนย บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 345

ทางหลวงพิเศษหมายเลข 345 ตอนบางบัวทอง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 307 เป็นทางเชื่อมระหว่าง อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี ถึง แยกบางคูวัด อ.เมือง จ.ปทุมธานี ดังแสดงใน**ภาพที่ 6.1** ในปี พ.ศ. 2548 กรมทางหลวงได้ขยายช่องทางจราจรเพิ่มขึ้นจาก 2 ช่องทาง เป็น 4 ช่องทาง ซึ่งมีระยะทางยาวประมาณ 6.2 กิโลเมตร เริ่มจาก กม.1+100 ถึง กม.4+500 และ กม.6+700 ถึง กม.9+500 ดังแสดงใน**ภาพที่ 6.2** ส่วนเชื่อมต่อระหว่างสะพานและถนนใช้โครงสร้างปรับการทรุดตัวชนิด Approach Slab on Pile การก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์เมื่อเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2550

6.2.1 ลักษณะโครงสร้างปรับการทรุดตัวและชั้นดินฐานราก

โครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพานข้ามคลองบางตะไนย มีลักษณะเป็น Approach Slab on Pile Foundation ดัง**ภาพที่ 6.3** และ **6.4** แสดงแบบแปลนโครงสร้างและภาพตัดตามยาวตามลำดับ ซึ่งโครงสร้างมีความยาวฝั่งขาลงสะพานด้านซ้าย 49.50 เมตร, ด้านขวา 40.95 เมตร และกว้าง 23.50 เมตร คันทางประกอบด้วยชั้นผิวทางและชั้นดินถมบดอัด ในส่วนชั้นดินถมบดอัดมีความหนา 3.60 เมตร จากจุดเชื่อมต่อกับโครงสร้างสะพาน และลดเหลือ 2.70 เมตร ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างปรับการทรุดตัวและคันทาง ใต้ชั้นดินถมบดอัดเป็น Reinforced Concrete Slab ซึ่งมีความหนา 0.23 เมตร วางบนเสาเข็มคอนกรีตที่มีขนาดตั้งแต่ 0.22 x 0.22 เมตร ถึง 0.26 x 0.26 เมตร และยาวตั้งแต่ 4 – 22 เมตร โดยเสาเข็มขนาด 0.22 x 0.22 เมตร ยาว 4 เมตร ติดตั้ง ณ ตำแหน่งปลายโครงสร้างปรับการทรุดตัว ซึ่งติดกับคันทางวางบนคันดินเดิม ดังแสดงในตัวอย่างภาพตัดตามยาว**ภาพที่ 6.4** ระยะห่างระหว่างเสาเข็มเท่ากับ 2 เมตร และติดตั้งตามแบบ Square Pattern

ลักษณะชั้นดินประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก หนาประมาณ 11.50 เมตร ตามด้วยชั้นดินเหนียวปนทรายอ่อน หนา 1.50 เมตร ใต้ชั้นดินเป็นชั้นดินเหนียวปนทรายแข็งปานกลางซึ่งหนาประมาณ 3.50 เมตร และตามด้วยดินเหนียวปนทรายแข็งมาก หนาประมาณ 1.00 เมตร ใต้ชั้นดินดังกล่าวเป็นดินทรายแน่นปานกลางหนา 1.50 เมตร และชั้นทรายแน่นถึงแน่นมาก มีความหนาไม่น้อยกว่า 16.00 เมตร ลักษณะชั้นดินที่ความลึกต่างๆสรุปใน**ตารางที่ 6.1** ส่วนผลการทดสอบดินตัวอย่างที่ระดับความลึกต่างๆได้สรุปไว้ใน**ตารางที่ 6.2** และ**ภาพที่ 6.5**

ตารางที่ 6.1 สรุปลักษณะชั้นดินบริเวณคอสะพานข้ามคลองบางตะไนย

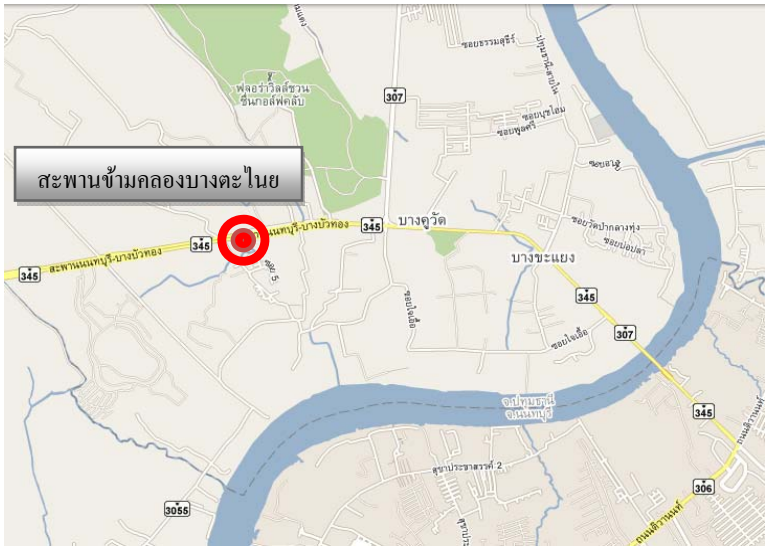
ความลึก (เมตร)	ชั้นดิน	ลักษณะที่พบ
0.00-11.50	ดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก (Very Soft to Soft Clay Layer)	ดินเหนียวอ่อนสีเทา มีค่าความชื้นธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 55-85 % มีค่า Unconfined Compressive Strength อยู่ระหว่าง 0.9 - 2.4 T/m^2 จัดเป็นดินกลุ่ม CH
11.50-13.00	ดินเหนียวปนทรายอ่อน (Soft fine Sandy Clay Layer)	ดินเหนียวปนทรายอ่อน สีเทา มีค่าความชื้นธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 40-55 % มีค่า Unconfined Compressive Strength อยู่ระหว่าง 2.0 - 2.8 T/m^2 จัดเป็นดินกลุ่ม CL
13.00-16.50	ดินเหนียวปนทรายแข็งปานกลาง (Medium Sandy Clay Layer)	ดินเหนียวปนทรายแข็งปานกลาง สีเทา มีค่าความชื้นธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 20-45% มีค่า Unconfined Compressive Strength มากกว่า 3.0 T/m^2 จัดเป็นดินกลุ่ม CL
16.50-17.50	ดินเหนียวปนทรายแข็งมาก (Very Stiff Sandy Clay Layer)	ดินเหนียวปนทรายแข็งมาก สีเทา มีค่าความชื้นธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 15-20% ไม่มีค่าความเป็นพลาสติกซิตี้ มีค่า SPT-N อยู่ระหว่าง 15-25 ครั้งต่อฟุต จัดเป็นดินกลุ่ม CL
17.50-19.00	ทรายแน่นปานกลาง (Medium Dense Sand Layer)	ดินทรายปนทรายแป้งแน่นปานกลาง สีน้ำตาล มีค่าความชื้นธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 15-20% มีค่า SPT-N อยู่ระหว่าง 25-40 ครั้งต่อฟุต จัดเป็นดินกลุ่ม SM
19.00-35.20	ทรายแน่นถึงแน่นมาก (Dense to Very Dense Sand Layer)	ดินทรายปนทรายแป้งแน่นถึงแน่นมาก สีน้ำตาล มีค่าความชื้นธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 15-20% มีค่า SPT-N อยู่ระหว่าง 38 ถึงมากกว่า50 ครั้งต่อฟุต จัดเป็นดินกลุ่ม SM

ที่มา : อรรถสิทธิ์ และคณะ (2550)

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบ Field Permeability Test และ Triaxial Test ของตัวอย่างดินเจาะสำรวจที่โครงการสะพานข้ามคลองบางตะไนย

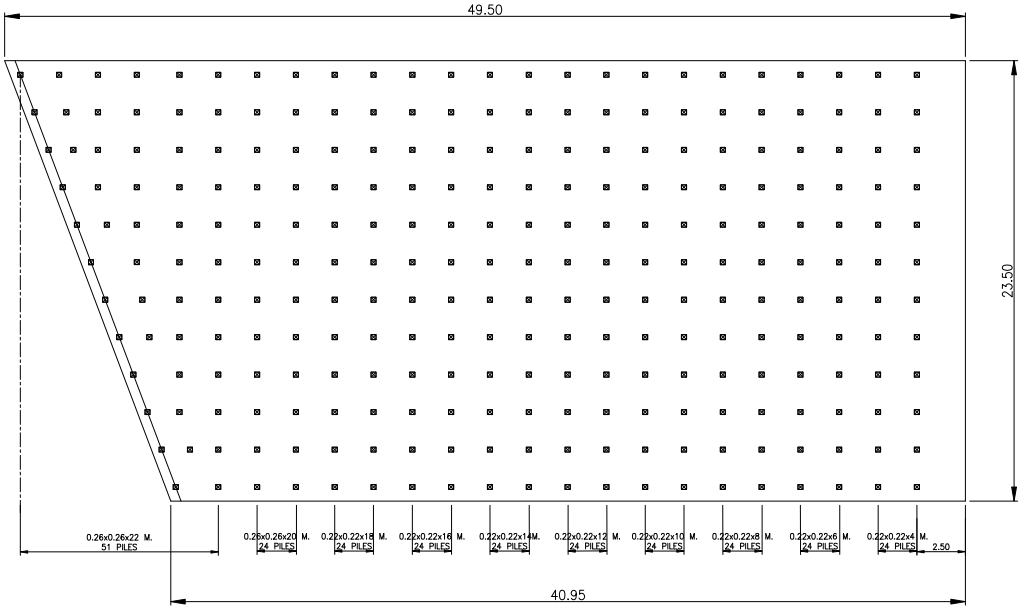
ความลึก (เมตร)	Field Permeability Test, k (cm/sec)	Triaxial Test (CU-Test)	
		c' (kPa)	ϕ' (Degree)
6.50 – 7.00	-	10.80	21.70
8.00	5.45×10^{-7}	-	-
25.00	1.26×10^{-6}	-	-

ที่มา : อรรถสิทธิ์ และคณะ (2550)

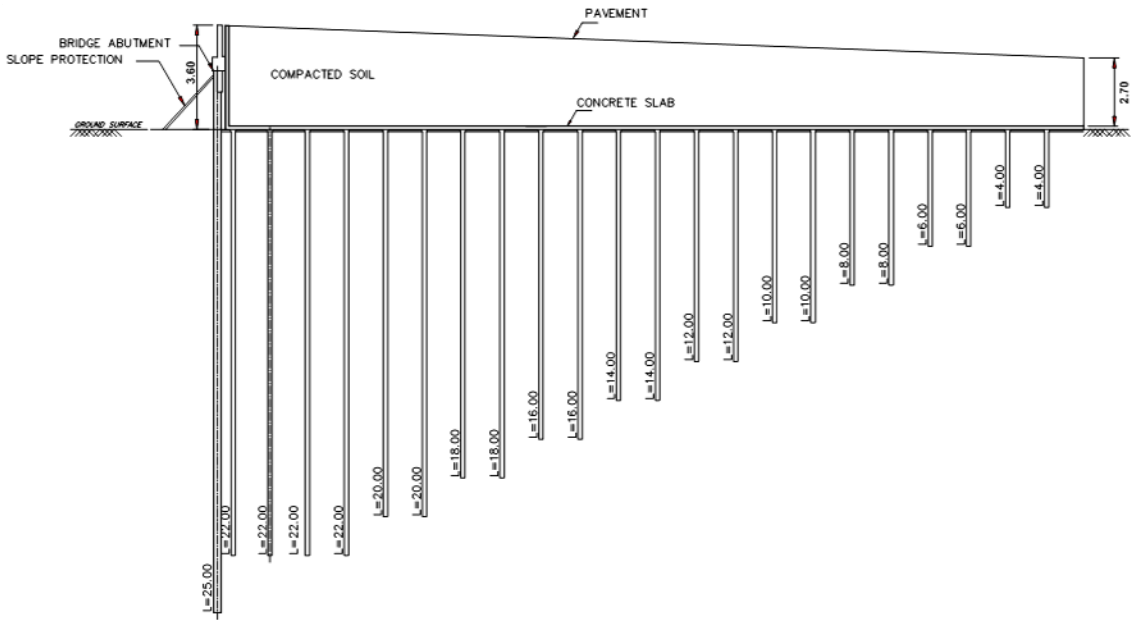


ภาพที่ 6.1 ที่ตั้งโครงการสะพานข้ามคลองบางตะไนยบนทางหลวงหมายเลข 345

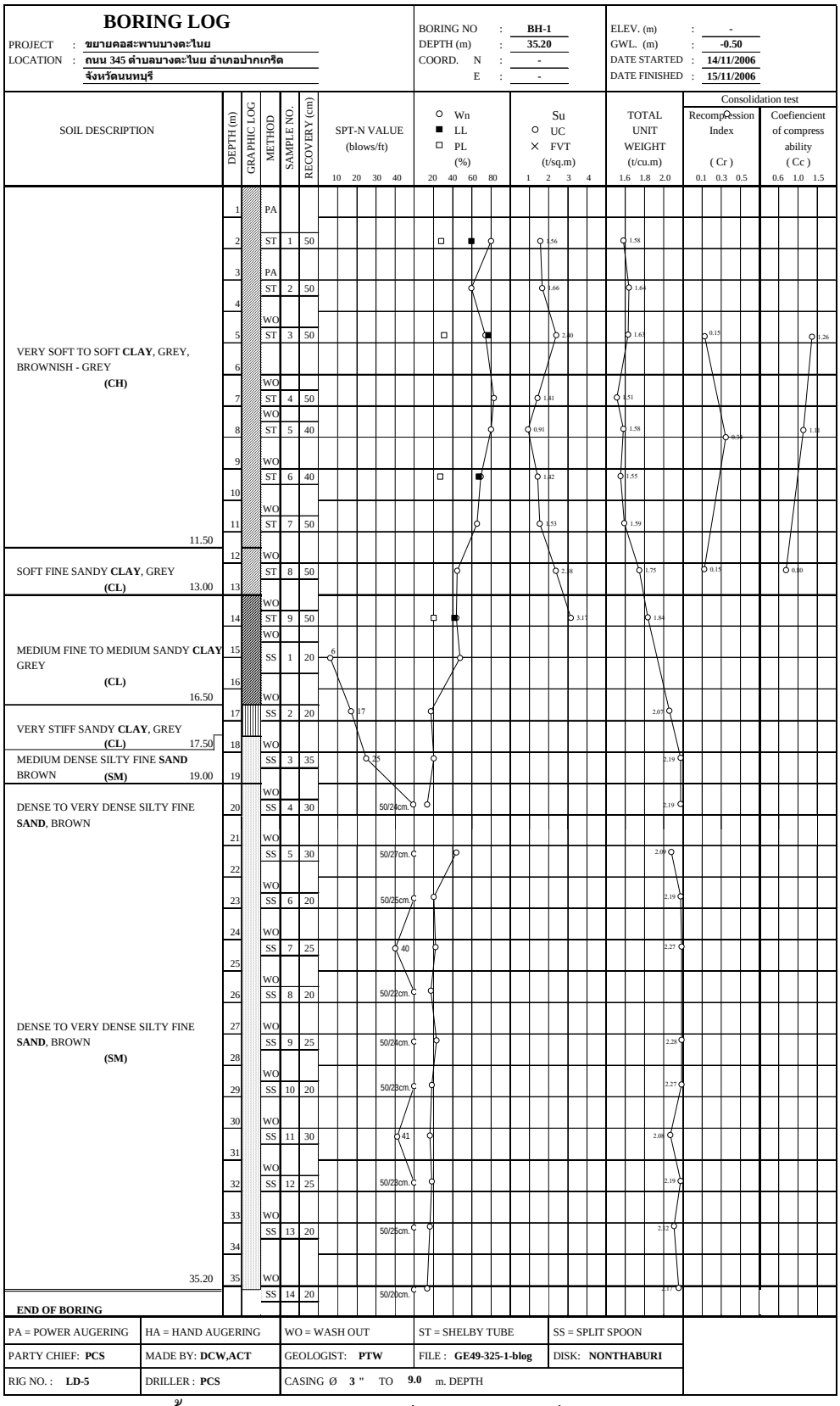
ภาพที่ 6.2 การก่อสร้างโครงสร้างปรับการทรุดตัวชนิด Approach Slab on Pile บริเวณคอสะพานข้ามคลองบางตะไนย (อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 6.3 แปลนโครงสร้างปรับการทรุดตัวคอสะพานข้ามคลองบางตะไนย ฝั่งขาลง
(อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 6.4 ภาพตัดตามยาวโครงสร้างปรับการทรุดตัวคอสะพานข้ามคลองบางตะไนย
(อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 6.5 สรุปลักษณะชั้นดินบริเวณคอสะพานข้ามคลองบางตะไนย (อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2550)

6.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างปรับการทรุดตัวด้วยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0

จากข้อมูลการสำรวจชั้นดิน สามารถสรุปคุณสมบัติของชั้นดินของโครงการนี้ดัง**ตารางที่ 6.3** ซึ่งแบ่งชั้นดิน Very Soft Clay เป็น 2 ช่วง เนื่องจากมีค่าหน่วยน้ำหนักของดินที่ค่อนข้างแตกต่างกัน คือ ตั้งแต่ -1.50 ถึง -8.00 เมตร และ -8.00 ถึง -11.50 เมตร, ชั้น Soft Clay ตั้งแต่ -11.50 ถึง -13.00 เมตร, ชั้น Medium Stiff Clay ตั้งแต่ -13.00 ถึง -16.50 เมตร และชั้น Very Stiff Clay ตั้งแต่ -16.50 ถึง -17.50 เมตร ซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินที่ -0.50 เมตร โดยโปรแกรมจะวิเคราะห์ปริมาณการทรุดตัวในช่วงที่มีค่า Compressibility Properties เท่านั้น ส่วนชั้นทรายตั้งแต่ -17.50 ถึง -35.00 เมตร จะไม่นำมาคำนวณค่าปริมาณการทรุดตัว จึงทำให้ค่าความยาวเสาเข็มที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมนี้มีค่าความยาวไม่มากไปกว่า 17.50 เมตร

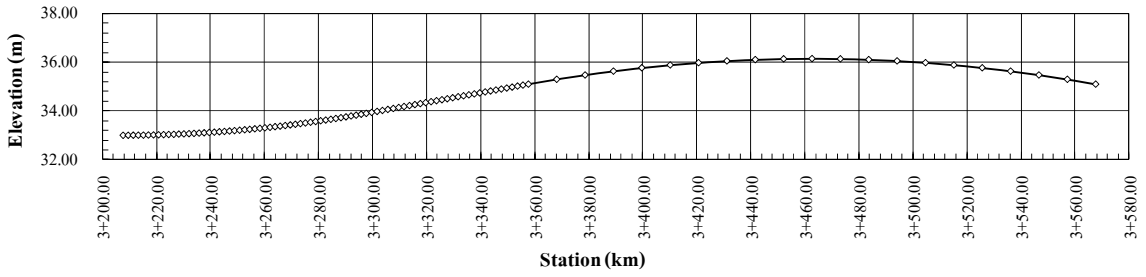
สำหรับลักษณะกายภาพของถนนจาก กม.3+207.50 ถึง กม.3+717.50 ซึ่งมีลักษณะสมมาตรกัน เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์คำนวณด้วยโปรแกรมจึงวิเคราะห์เพียงครึ่งหนึ่งของโครงการตั้งแต่ช่วง กม. 3+207.50 ถึง กม.3+567.50 ดัง**ภาพที่ 6.6** โดยที่ช่วง กม.3+357.50 ถึง กม.3+567.50 คือโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 ทั้งที่เป็นลักษณะระบายน้ำทางเดียว (One-way Drained) และระบายน้ำสองทาง (Two-way Drained) พบว่า เมื่อระบายน้ำหมด (End-Of-Primary Consolidation) ชั้นดินจะทรุดตัวประมาณ 5 เมตร ดัง**ภาพที่ 6.7** แต่สำหรับโครงการนี้จะวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวที่ 25 ปี และระบายน้ำทางเดียว ซึ่งมีการทรุดตัวประมาณ 1.5 เมตร

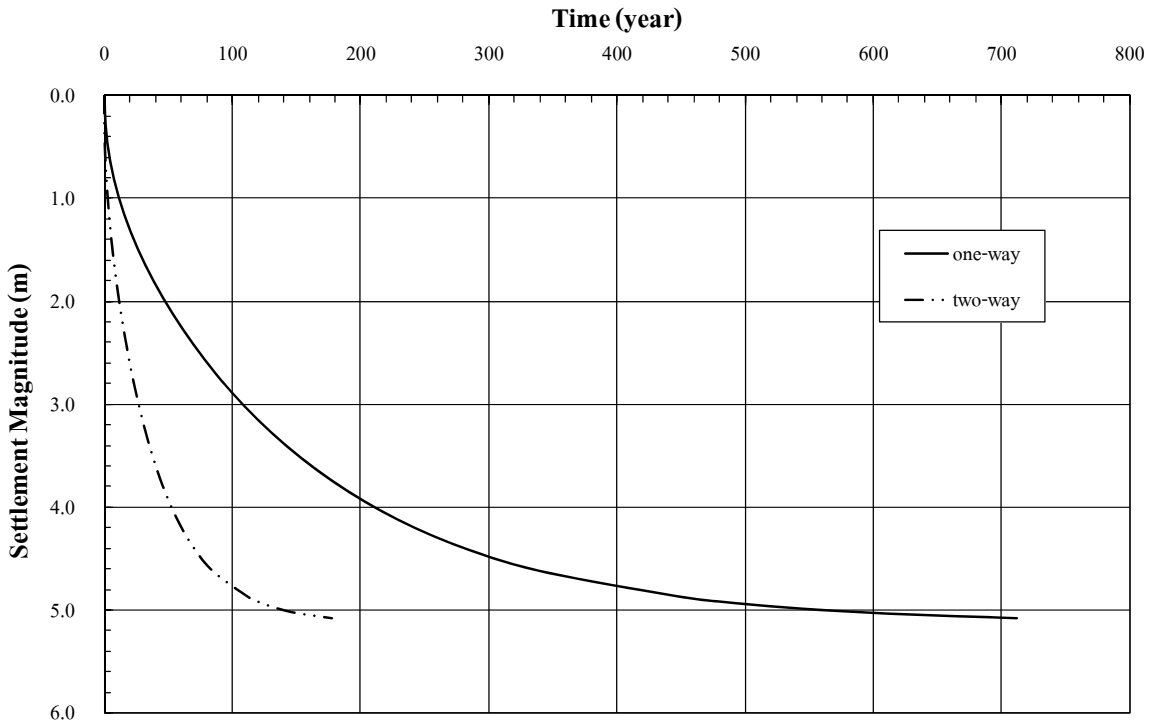
จากอัตราการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้ ผู้ใช้จึงปรับความชันของถนนที่เปลี่ยนไปเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการทรุดที่เหมาะสมดัง**ภาพที่ 6.8** โดยผลต่างของการทรุดตัวในช่วงที่เป็นโครงสร้างเสาเข็มปรับระดับการทรุดตัวจะเป็นผลที่ใช้ในการ Trial and Error ของโปรแกรม ซึ่งจะได้ความยาวของ Bearing Unit ดังแสดงใน**ภาพที่ 6.9** ซึ่งสังเกตได้ว่าความยาวของ Bearing Unit ไม่มีความต่อเนื่องกัน เนื่องจาก ความยาวของ Bearing Unit ที่เปลี่ยนไปทีละ 0.5 เมตร ผลที่ได้จึงเป็นค่าที่เฉลี่ยตามแนวโน้มของผลต่างการทรุดตัว ดังนั้น ผู้ใช้โปรแกรมควรปรับแก้ค่าความยาวเสาเข็มที่ได้จากโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 เพื่อให้เหมาะสมในการนำไปใช้ก่อสร้างจริง ดังแสดงใน**ภาพที่ 6.10** ซึ่งเป็นโครงสร้าง Approach Slab on Pile ตั้งแต่ กม.3+258.00 ถึง 3+207.50 และ กม.3+617.50 ถึง กม. 3+667.00

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของดินสำหรับวิเคราะห์คำนวณด้วยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0

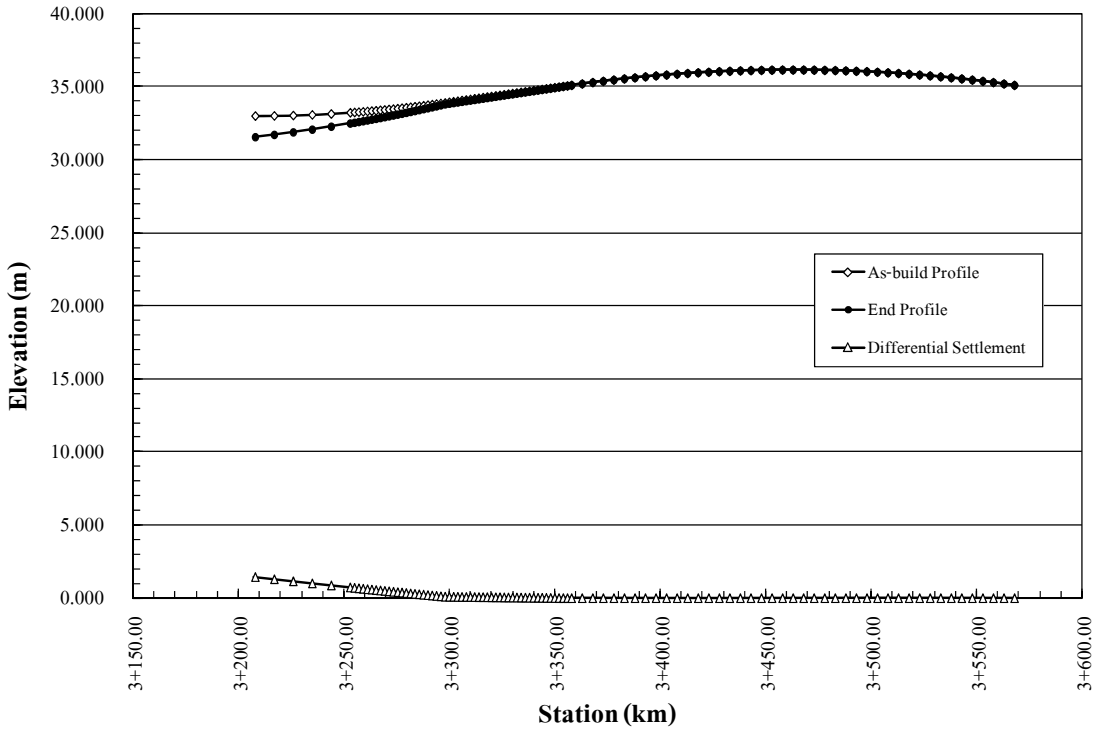
Soil Profile			Engineering Index			Compressibility Properties		
Soil Description	Elevation		Total Unit Weight, γ_t (kN/m^3)	Initial Void Ratio, e_o	OCR	Compression Index, C_c	Recompression Index, C_r	Coefficient of Consolidation, c_v (m^2/year)
	From (m)	To (m)						
Crust	0	-1.5	18.0	2.21	1	1.106	-	-
Very soft clay I	-1.5	-8.0	16.0	2.20	1	1.259	-	2.01
Very soft clay II	-8.0	-11.5	15.6	2.20	1	1.106	-	1.38
Soft clay	-11.5	-13.0	17.5	1.43	1.1	0.797	0.151	1.1
Medium stiff clay	-13.0	-16.5	18.4	1.20	1.2	0.600	0.100	1
Very stiff clay	-16.5	-17.5	20.7	1.10	1.2	0.200	0.050	0.8
Medium dense sand	-17.5	-19.0	21.0	-	1.1			
Dense sand	-19.0	-35.0	21.9	-	1.1			



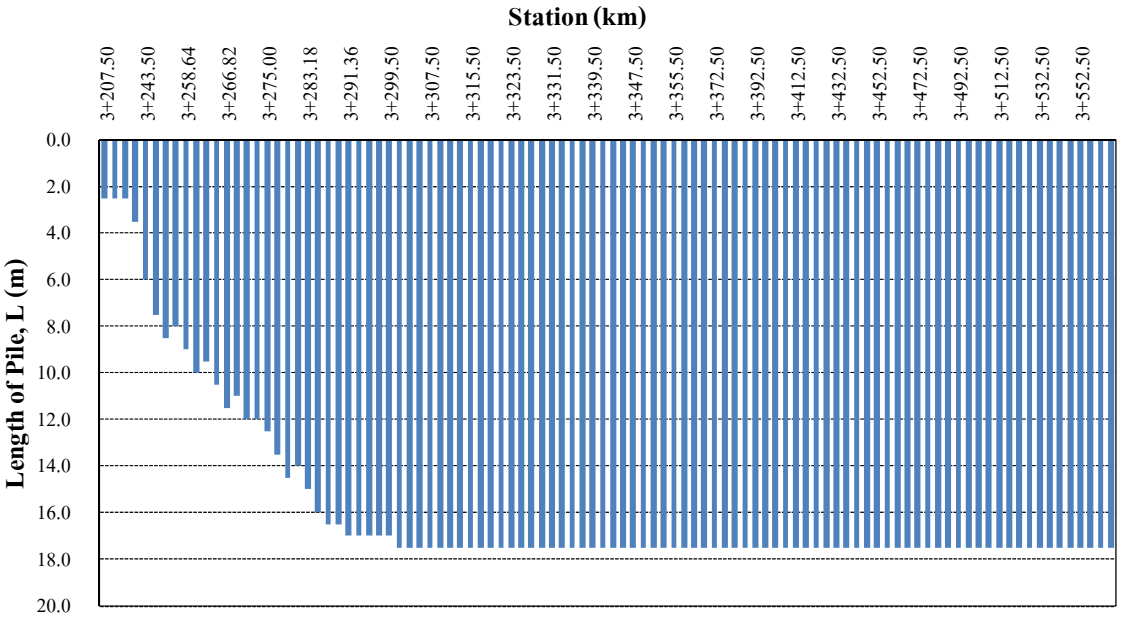
ภาพที่ 6.6 ลักษณะทางกายภาพของถนนเปิดใช้งาน



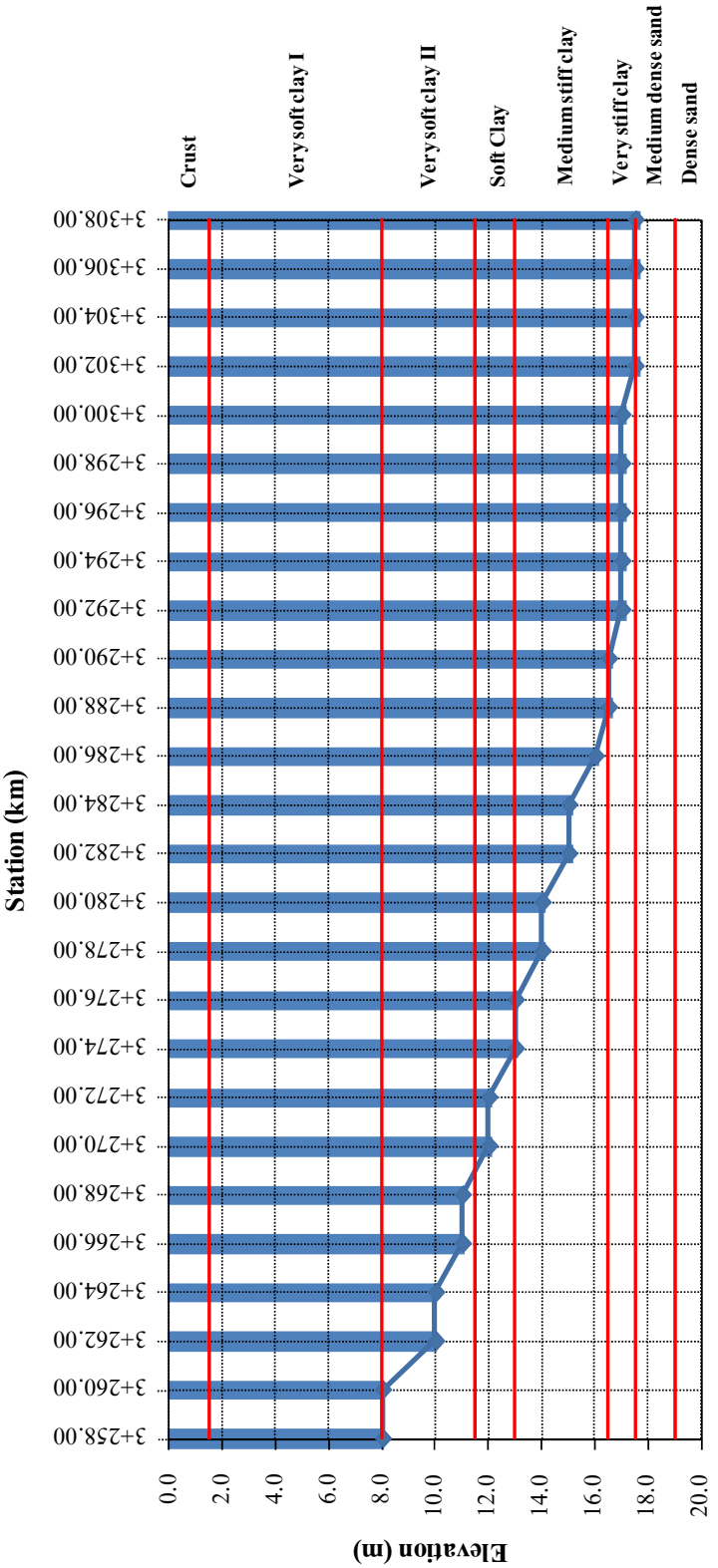
ภาพที่ 6.7 อัตราการทรุดตัวชั้นดินบริเวณโครงการ



ภาพที่ 6.8 ความชันของการทรุดตัวที่ 25 ปี และผลต่างของการทรุดตัว



ภาพที่ 6.9 ความยาวของ Bearing Unit จากการรันโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0



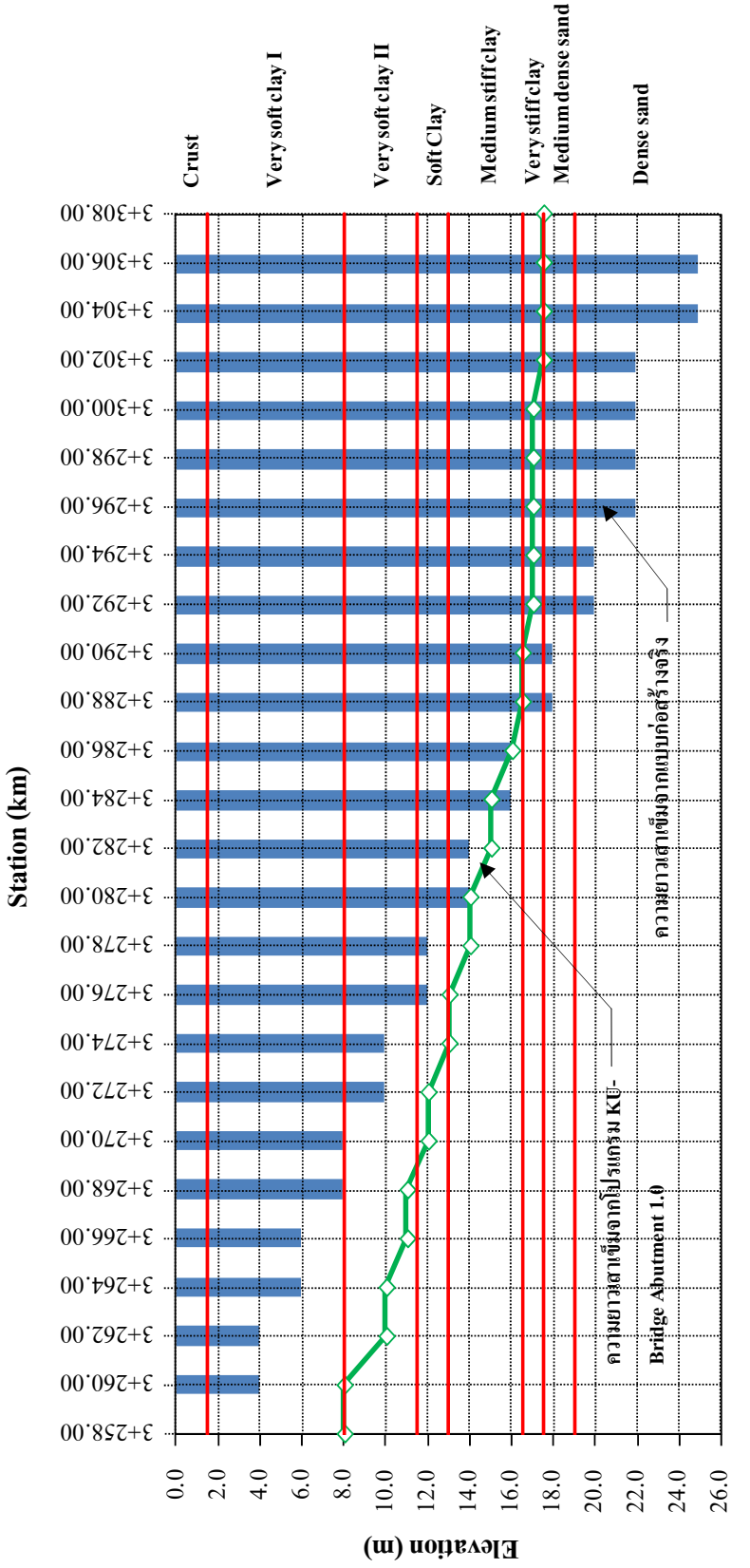
ภาพที่ 6.10 สรุปความยาว Bearing Unit ตั้งแต่ กม.3+258.00 ถึง กม.3+308.00 วิเคราะห์โดยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0

6.3 สรุป

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างปรับการทรุดตัว Approach Slab on Pile โดยใช้ข้อมูลจากกรณีศึกษา “โครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลองบางตะไนย บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 345” ด้วยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 ได้นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบก่อสร้างจริง ดังแสดงใน**ภาพที่ 6.11** โดยความยาวเสาเข็มของโครงสร้างปรับการทรุดตัวจากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 แสดงโดยสัญลักษณ์เส้น และความยาวเสาเข็มจากแบบก่อสร้าง (As-Built Drawing) แสดงโดยรูปแท่งสี่เหลี่ยม

ผลการเปรียบเทียบพบว่าความยาวเสาเข็มในช่วง กม.3+258.00 ถึง กม.3+307.50 (ระยะทาง 49.50 เมตร) ให้ค่าแตกต่างจากความยาวในแบบก่อสร้าง โดยช่วงที่มีการทรุดตัวมาก ให้ผลการวิเคราะห์คำนวณยาวมากกว่าแบบก่อสร้าง ส่วนช่วงการทรุดตัวปานกลางให้ผลที่ใกล้เคียงกับแบบก่อสร้าง และช่วงการทรุดตัวน้อยมีความยาวที่น้อยกว่าแบบก่อสร้าง (เนื่องจากสมมุติฐานให้ชั้นดินที่ไม่มีค่า Compressibility Properties ไม่เกิดการทรุดตัว)

โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 สามารถอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์การทรุดตัว และสามารถใช้ออกแบบความยาวของเสาเข็มของโครงสร้างปรับการทรุดตัว Approach Slap on Pile ได้อย่างถูกต้อง โดยผนวกทฤษฎีการวิเคราะห์การทรุดตัวตามหลักปฐพีกลศษสตร์ และหลักการออกแบบโค้งในแนวดิ่งของถนนเข้าด้วยกัน ช่วยลดระยะเวลาการออกแบบความยาวเสาเข็มโดยขบวนการ Trial and Error และสามารถแสดงผลในรูปแบบกราฟ ที่เข้าใจง่าย



ภาพที่ 6.11 ผลเปรียบเทียบความยาว Bearing Unit จากการรัน โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 และตามแบบก่อสร้าง