วช.
NRCT

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการปรับปรุงการออกแบบและมาตรฐานโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพาน (โครงการวิจัยต่อเนื่อง)

An evaluation of guidelines for bridge approach foundation (Extended research program)

หัวหน้าโครงการวิจัย : ผศ.ดร. บารเมศ วรรธนะภูติ [1]

ผู้ร่วมงานวิจัย :

1. ผศ.ดร. สมโพธิ อยู่ไว [3]
2. นายสรศักดิ์ เซียวศิริกุล [2]
3. นายคมพันธ์ จินดาวัฒน์ [1]
4. นายวสันต์ ปั้นสังข์ [1]
5. นายยุตติกร สินสุขศรีวิไล [1]
6. นายธันวุฒิ วิวัฒน์ถาวรวงศ์ [4]
7. นายศักดา สุขแสวง [4]

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย :

1. รศ.ดร. วิชาญ ภู่พัฒน์ [1]
2. รศ.ดร. ก่อโชค จันทวรางกูร [1]
3. ดร. อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช [5]
4. ดร. จุฑา สุนิตย์สกุล [5]
5. นายชัยพร บัวสรวง [6]

หน่วยงาน:

1 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
3 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
6 สำนักงานออกแบบ สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร

งบประมาณ : ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2553
ระยะเวลาทำการวิจัย : ตั้งแต่ เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2555

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง สำนักบำรุงทาง นนทบุรี และสมุทรสาคร กรมทางหลวง, สำนักงานออกแบบ สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร และกรมทางหลวงชนบท ที่ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการวิจัย และอำนวยความสะดวกและความปลอดภัย ในการดำเนินงาน จนสามารถสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้ง

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 และคณะวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะวิจัย

บทคัดย่อ

ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของผิวทางบริเวณเชิงลาดสะพาน เป็นปัญหาที่มักพบในการก่อสร้างถนนบนฐานรากดินอ่อน โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมลฑล ส่งผลให้ความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการขับขี่ลดลง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง สาเหตุที่สำคัญของความไม่ราบเรียบบริเวณเชิงลาดสะพานเนื่องมาจาก การยุบตัวที่แตกต่างของดินฐานราก กล่าวคือ คันทางที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อนโดยตรงหรือวางบนเสาเข็มสั้นในชั้นดินอ่อน และมีพฤติกรรมแบบ Friction Pile จะเกิดการทรุดตัวสูง เมื่อเทียบกับโครงสร้างสะพาน ซึ่งมีการทรุดตัวน้อยมาก เพราะมีเสาเข็มถ่ายน้ำหนักสู่ชั้นดินแข็งในระดับลึก และมีพฤติกรรมแบบ End Bearing Pile

การวิจัยนี้ ได้ดำเนินการตรวจวัดการทรุดตัวระยะยาวของเชิงลาดสะพาน ทั้งสิ้น 4 โครงการ ซึ่งมีการใช้โครงสร้างปรับการทรุดตัวประเภท Approach Slap on Ground, Approach Slab on Pile และการใช้ EPS GEOFOAM เป็นวัสดุถมซึ่งมีน้ำหนักเบามาทดแทนดินถมบริเวณเชิงลาดสะพาน และได้นำผลข้อมูลดินฐานราก และลักษณะโครงสร้างปรับการทรุดตัว มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดพฤติกรรมจริงในสนาม และพบว่าการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎี One-Dimensional Consolidation ร่วมกับหลักการถ่ายแรงโดย Elastic Theory และ หลักการฐานรากสมมูลย์ (Equivalent Foundation) ให้ผลใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริง

อย่างไรก็ตาม ได้พบปัญหาการออกแบบความยาวเสาเข็มของ Approach Slab on Pile ไม่เหมาะสมกับสภาพชั้นดิน โดยอาจมีสาเหตุจากความซับซ้อนและความยุ่งยากในการออกแบบซึ่งต้องใช้ความรู้ทางปฐพีกลศาสตร์ ร่วมกับหลักการออกแบบเรขาคณิตของวิศวกรรมงานทาง และการยึดถือแบบมาตรฐานโครงสร้างปรับการทรุดตัวโดยไม่พิจารณาลักษณะดินแต่ละแห่งแตกต่างกัน และขาดความเข้าใจพฤติกรรมการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ดังนั้นจึงได้พัฒนาโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัว KU-Bridge Abutment 1.0 ซึ่งนำหลักการออกแบบโค้งในแนวดิ่ง วิศวกรรมงานทาง ร่วมกับหลักการวิเคราะห์การทรุดตัวทางวิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์ โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 พัฒนาจากโปรแกรม Visual C# สามารถนำไปใช้ออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัวได้อย่างถูกต้อง และลดปัญหาขั้นตอน Trial and Error ในการหาความยาวเสาเข็มที่เหมาะสม ใช้งานสะดวก บนพื้นฐานโปรแกรม Windows และแสดงผลได้ทั้งในรูปตารางและกราฟ

Abstract

Excessive differential settlement along bridge approach is commonly found in Bangkok and its vicinities, causing driver discomfort, reducing road safety, and increasing maintenance cost. The main cause of the problem is due to differential compressibility of soil foundations. For example, the highway embankment was constructed on a soft foundation or on short friction piles, and has a large settlement. Whereas the bridge structure was rested on long end-bearing piles, and has a very small settlement.

This research observed the long-term settlement behavior of 4 bridge approach structures, including Approach Slap on Ground, Approach Slab on Pile and EPS GEOFOAM which is a light weight material replacing the backfill at the bridge abutment. One-Dimensional Consolidation Theory, together with Elastic Theory and equivalent foundation approach were used for the settlement analysis. The analysis results were in a good agreement with the observed long-term settlement behavior.

However, the study reveals that the foundations of the bridge approach structure were not appropriate design with the subsoil conditions, causing bumping along the bridge approach. The complexity of the settlement analysis and tedious procedure were major difficulties. A designer also requires background of geometric design of vertical curve for highway engineering as well as a well knowledge on soil mechanics and foundation design. Many contractors use the recommended standard drawing of bridge approach structure without checking the real subsoil condition and lack of understanding of long-term settlement behavior. Therefore, this research had developed the KU-Bridge Abutment 1.0 program to help on the foundation design of the bridge approach structure. The program incorporates a highway geometrical design as well as long-term settlement analysis of soil mechanics. The KU-Bridge Abutment 1.0 program was developed from the Visual C# program, and has been proved with the observed data from the field. The program could help a designer to minimize the trial and error process for selecting appropriate pile length. It is user friendly, runs on Windows operation system, and the results are easily presented in table and graphic format.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		i
บทคัดย่อ		ii
Abstract		iii
สารบัญ		iv
1	ความเป็นมาของโครงการ	1
2	วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
3	ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย	2
4	ผลการวิจัย	4
5	ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย	8

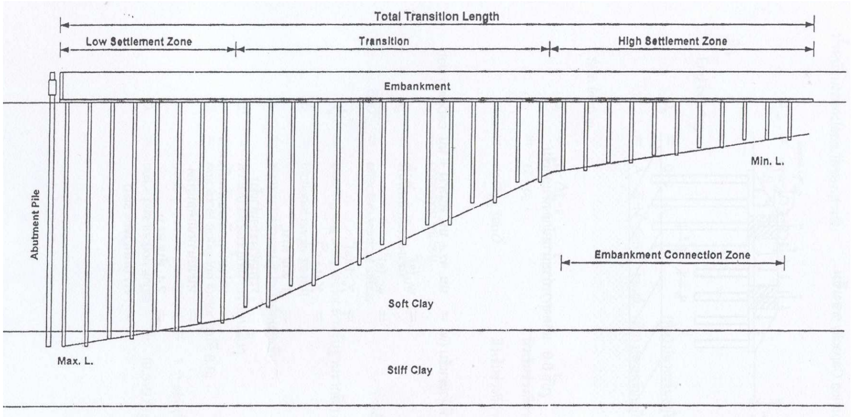
1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของผิวทาง (Differential Settlement) บริเวณคอสะพานเป็นปัญหาที่มักพบในการก่อสร้างถนนบนดินอ่อนในประเทศไทย ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรและความปลอดภัยของผู้ใช้ถนนลดลง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง ตัวอย่างปัญหาการทรุดตัวบริเวณคอสะพานแสดงใน**ภาพที่ 1** สาเหตุที่สำคัญของความไม่ราบเรียบบริเวณคอสะพานเนื่องมาจาก การยุบตัวที่แตกต่างของดินฐานราก กล่าวคือ การที่คันทาง ซึ่งวางตัวอยู่บนชั้นดินอ่อนโดยตรงหรือวางบนเสาเข็มสั้นในชั้นดินอ่อน (Friction Pile) เกิดการทรุดตัวสูง เมื่อเทียบกับสะพานซึ่งเกิดการทรุดตัวน้อยมากเพราะมีเสาเข็มเป็นตัวถ่ายน้ำหนักลงสูงชั้นดินแข็งในระดับลึก (End Bearing Pile)

ถึงแม้ว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมทางหลวง ได้กำหนดแบบมาตรฐานในการก่อสร้างโครงสร้างปรับการทรุดตัวตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2537 และถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างทางจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ปัญหาการทรุดตัวต่างระดับบริเวณคอสะพานในระยะยาวยังคงเกิดขึ้น เนื่องจากเกณฑ์การเลือกชนิดโครงสร้างปรับการทรุดตัวให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ซึ่งมีลักษณะดินที่แตกต่างกัน และงบประมาณจำกัดในการก่อสร้างและบำรุงทาง เป็นต้น จากสาเหตุดังกล่าว ส่งผลให้โครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพานที่ก่อสร้างจริงในปัจจุบันยังด้อยประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงการออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัว โดยจะเน้นการวิเคราะห์ออกแบบฐานรากเสาเข็มปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพานดังแสดงใน**ภาพที่ 2** นอกจากนี้ยังรวบรวมการออกแบบวิธีการวิเคราะห์การทรุดตัว ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ เพื่อลดปัญหาการทรุดตัวต่างระดับบริเวณคอสะพาน เพิ่มความปลอดภัย และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในอนาคต

ภาพที่ 1 ตัวอย่างปัญหาการทรุดตัวต่างระดับบริเวณคอสะพาน (ก) รถยนต์ต้องชะลอความเร็วเพื่อความปลอดภัย ทางหลวงหมายเลข 34 (ข) โครงสร้างสะพานชำรุด ทางหลวงหมายเลข 35 [ธนบุรี – ปากท่อ] (ค) มีการปรับระดับทางโดยการถมดินและ Asphalt บนผิวทางเดิม ถนนบางขุนเทียนชายทะเล



ภาพที่ 2 รูปแบบ Bearing Unit บริเวณคอสะพานที่ก่อสร้างบนชั้นดินอ่อน (วิชาญ, 2530)

2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) ตรวจวัดพฤติกรรมการทรุดตัวของโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพานอย่างต่อเนื่องในระยะยาว

2) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบฐานรากของโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพาน สำหรับวิธีซึ่งกำหนดให้ดิน ฐานราก และโครงสร้างไม่ปฏิสัมพันธ์กัน และใช้หลักการ Terzaghi Consolidation Theory

3) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินกับโครงสร้างปรับการทรุดตัวสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างบริเวณคอสะพาน

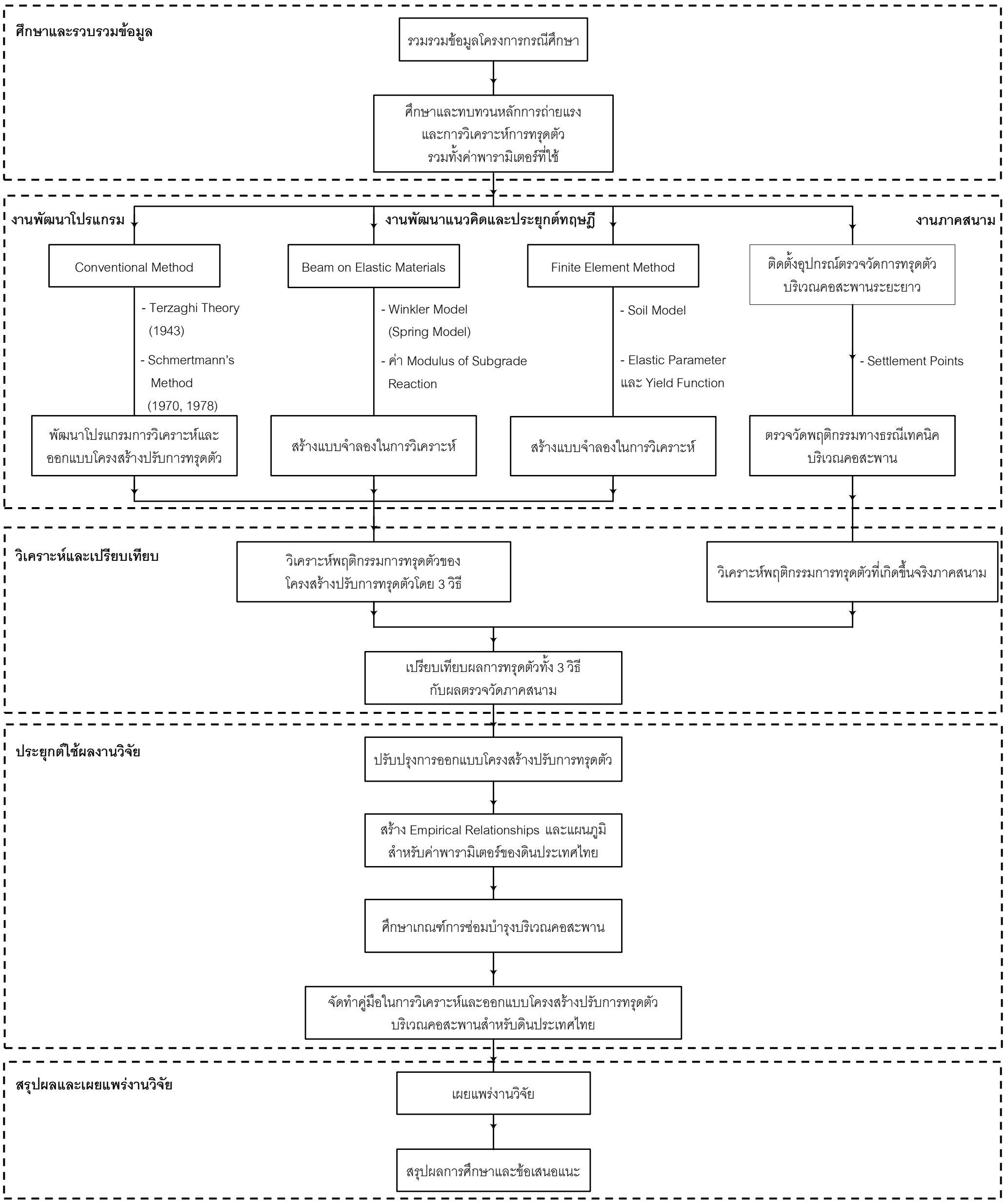
4) รวบรวมและศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การทรุดตัวสำหรับดินอ่อนในประเทศไทย โดยหลักการ Terzaghi Consolidation Theory และ Soil-Structure Interaction รวมทั้งเสนอความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ (Empirical Equation) และ แผนภูมิ (Chart) สำหรับดินอ่อนในประเทศไทย

5) จัดทำวิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทรุดตัวของโครงสร้างปรับการทรุดตัวสำหรับดินประเทศไทย

3 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ดำเนินงานตามแผนดำเนินงานดัง**ภาพที่ 3** โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษาหลักคือที่โครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลองบางตะไนย บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 345 เพื่อพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัว โดยใช้หลักการถ่ายแรงแบบ Conventional Method และไม่คำนึงถึงอิทธิพลของ Reinforced Concrete Slab ต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของ

โครงสร้างปรับการทรุดตัว (Non Soil-Structure Interaction) และรวบรวมพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวสำหรับดินประเภทต่างๆ ได้แก่ Compression Index, Recompression Index, Coefficient of Consolidation, Modulus of Elasticity เป็นต้น โปรแกรมวิเคราะห์จะถูกพัฒนาเพื่อให้สะดวกในการป้อนค่าและแสดงผล โดยใช้โปรแกรม Visual C# และปรับปรุงเป็นโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 โดยวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวและการออกแบบหาความยาวเสาเข็มที่เหมาะสมตามหลักการออกแบบความลาดชันในแนวดิ่งของวิศวกรรมการทาง และจัดทำรายงานสรุปผลการศึกษาคู่มือในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพานสำหรับดินประเทศไทย

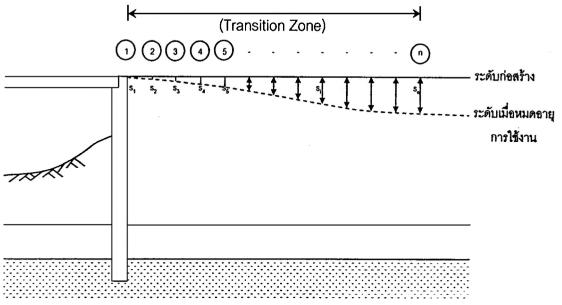


ภาพที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย

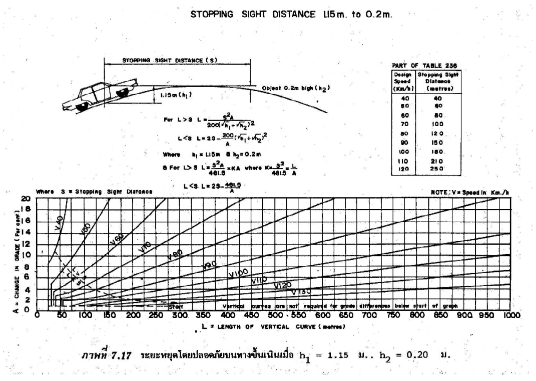
4 ผลการวิจัย

4.1 ศักยภาพของโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0

โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณเชิงลาดสะพาน โดยพัฒนาขึ้นจากการนำทฤษฎีการทรุดตัวของชั้นดินในแนวดิ่งทางวิศวกรรมปฐพี (Consolidation Theory โดย Terzaghi, 1943) และการออกแบบเชิงเรขาคณิต (โค้งดิ่ง) ทางวิศวกรรมการทางดังแสดงใน**ภาพที่ 4** มาใช้ร่วมกัน และการเลือกใช้ลักษณะหน้าตัดของคันดินถมมากถึง 2 รูปแบบ เพื่อคลอบคลุมถึงรูปแบบคันทางทั้งแบบลาดเอียง และแบบตั้งตรง (เช่น กรณีก่อสร้างโดยใช้ MSE-wall หรือกำแพงกันดินบริเวณคอสะพาน) ดังแสดงใน**ภาพที่ 5**

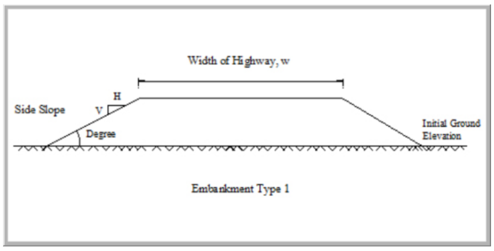


(ก)

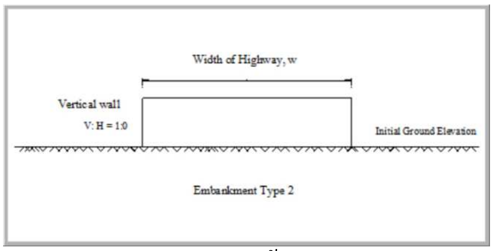


(ข)

ภาพที่ 4 ทฤษฎีที่ใช้ร่วมกันในการพัฒนาโปรแกรม (ก) การทรุดตัวของชั้นดินในแนวดิ่งทางวิศวกรรมปฐพี, วิชาญ, 2546 (ข) การออกแบบเชิงเรขาคณิต (โค้งดิ่ง) ทางวิศวกรรมการทาง, จิรพัฒน์, 2529



(ก) แบบลาดเอียง



(ข) แบบตั้งตรง

ภาพที่ 5 ลักษณะกายภาพของคันทาง

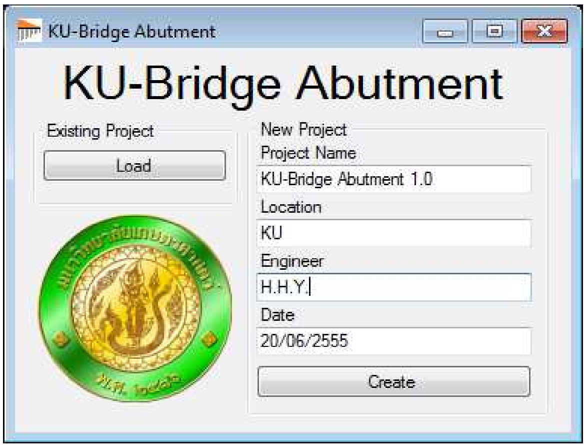
โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 จะวิเคราะห์ปริมาณการทรุดตัวของชั้นดินที่ได้ใส่คุณสมบัติการยุบตัวการยุบตัวครบถ้วน [เช่น ค่า Void Ratio, Compression Index (C_c)] ถ้าดินชั้นใดมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณไม่ครบถ้วน โปรแกรมจะไม่คำนวณค่าการทรุดตัวของชั้นดินนั้นๆ นอกจากนี้ความยาวสูงสุดของเสาเข็มที่คำนวณได้จะ Trial ถึงชั้นดินที่มีค่า C_c เท่านั้น ส่วนอัตราการทรุดตัวของบริเวณคอสะพาน ขึ้นกับ Boundary Condition และค่า c_V ของชั้นดิน โดยผู้ใช้ต้องกำหนดชั้น Boundary ของการระบายน้ำ (Free Drainage Boundary หรือ Impervious Boundary) และในกรณีที่ดินฐานรากมีหลายชั้น และค่า c_V ต่างกัน การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัว จะใช้การเฉลี่ยค่า c_V ของดินทุกๆ ชั้น โดย Weighting Method

ส่วนตำแหน่งฐานรากสมมูลย์ของเสาเข็มนั้นใช้หลักการของ Terzaghi and Peck (1948) และเมื่อใดที่ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินที่มีค่า c_V โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 จะสมมุติให้เสาเข็มมีลักษณะ Friction Pile และตำแหน่งฐานรากสมมูลย์จะถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับ L/3 จากปลายเสาเข็ม โดย L = ความยาวเสาเข็ม แต่ถ้าปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินที่ไม่ได้ถูกป้อนค่า c_V โปรแกรมจะสมมุติให้เสาเข็มมีพฤติกรรมแบบ End-Bearing Pile และ ตำแหน่งฐานรากสมมูลย์จะอยู่ที่ระยะ $L'/3$ จากปลายเสาเข็ม โดย L' = ระยะจมของเสาเข็มในชั้นดินสุดท้าย

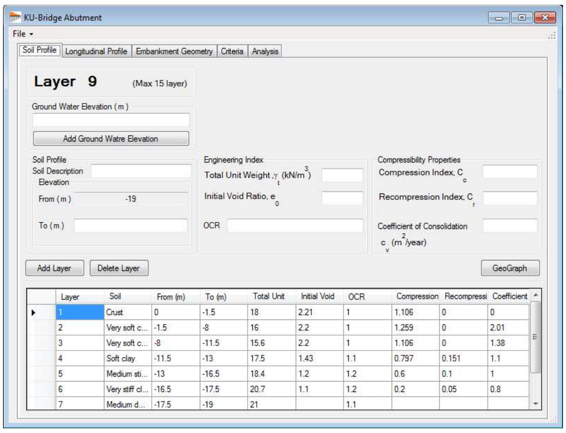
การใช้งานโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 (**ภาพที่ 6**) ซึ่งภายในประกอบด้วย 5 ส่วน คือ 1) Soil Profile, 2) Longitudinal Profile, 3) Embankment Geometry, 4) Criteria และ 5) Analysis ดัง **ภาพที่ 7** โดยจะมีหลักการวิเคราะห์ทำงานดังนี้

1) Soil Profile หน้าต่างสำหรับใส่ข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินบริเวณโครงการที่จะวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพาน และสามารถเปิดดูความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางวิศวกรรมเทียบกับความลึกของชั้นดินได้
2) Longitudinal Profile หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลพื้นฐานและค่าระดับความลาดชันของคันทางที่ระดับก่อสร้างเสร็จ(รูปร่างเชิงเรขาคณิตของคันทาง)
3) Embankment Geometry หน้าต่างสำหรับเลือกลักษณะหน้าตัด (Cross Section) ของคันทางและขนาดของคันทาง (เช่น ความกว้าง ความลาดชัน น้ำหนักดินถม และน้ำหนักจรเนื่องจากรถที่สัญจรไปมา)
4) Criteria หน้าต่างเกณฑ์การวิเคราะห์ออกแบบสำหรับเลือกลักษณะการทรุดตัวของชั้นดินจากรูปแบบการยุบอัดคายน้ำ เวลาที่ต้องการออกแบบ และเกณฑ์การเปลี่ยนความยาวของ Bearing Unit ขณะที่โปรแกรมทำงาน

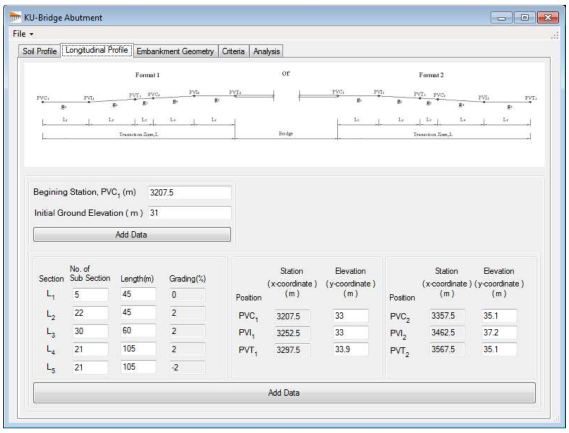
5) Analysis [Step 1] หน้าต่างวิเคราะห์ปริมาณการทรุดตัวของชั้นดินจากการผสานทฤษฎีการทรุดตัวในแนวดิ่งทางวิศวกรรมปฐพี และการวางโค้งทางแนวราบทางวิศวกรรมการทาง เพื่อให้การสัญจรไปมามีความราบเรียบและรู้สึกสบาย
6) Analysis [Step 2] หน้าต่างวิเคราะห์ความยาว Bearing Unit ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพานจากโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0



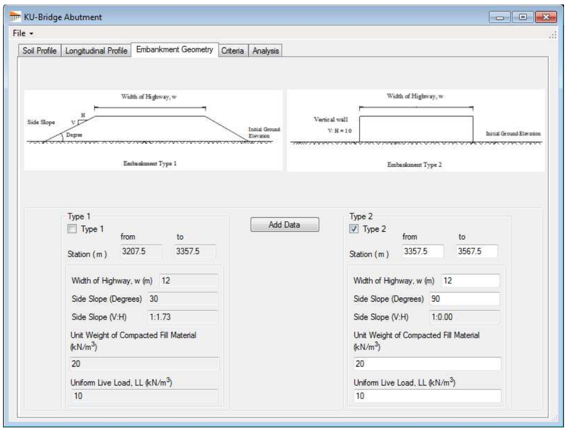
ภาพที่ 6 หน้าต่างโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0



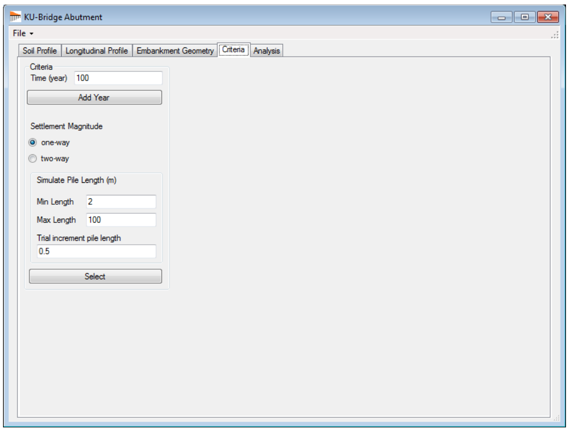
(ก)



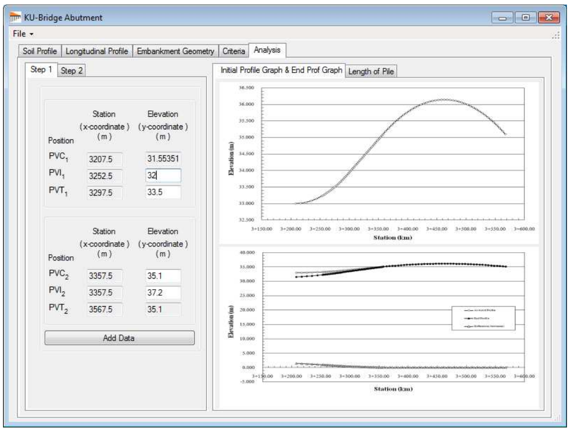
(ข)



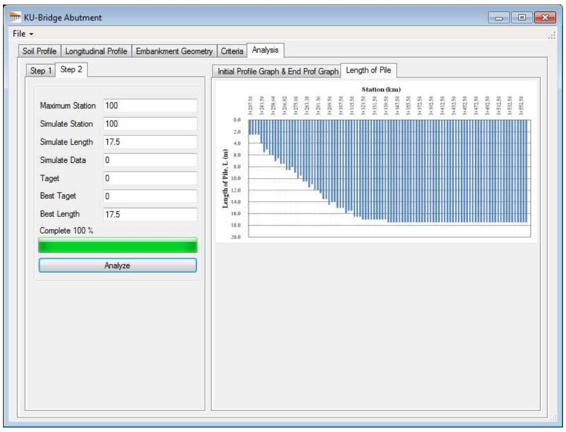
(ค)



(ง)



(จ)



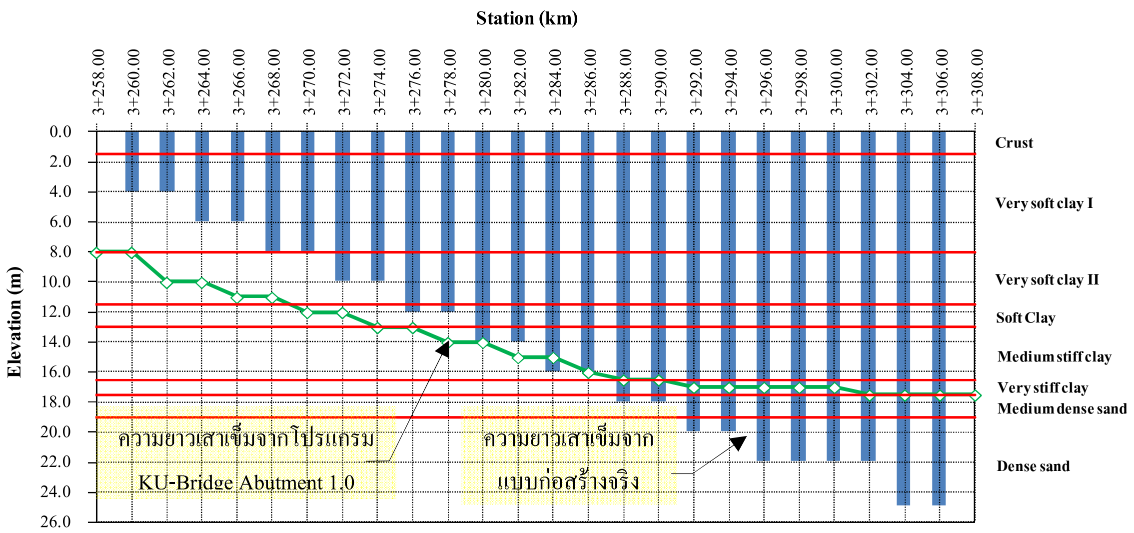
(ฉ)

ภาพที่ 7 ส่วนประกอบของโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 (ก) Soil Profile (ข) Longitudinal Profile (ค) Embankment Geometry (ง) Criteria (จ) Analysis [Step 1] (ฉ) Analysis [Step 2]

4.2 ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลกรณีศึกษาโครงการสะพานข้ามคลองบางตะไนย ซึ่งใช้ Approach Slab on Pile ได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 ดังแสดงใน**ภาพที่ 8** โดยความยาวเสาเข็มของโครงสร้างปรับการทรุดตัวจากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 แสดงโดยสัญลักษณ์เส้น และความยาวเสาเข็มจากแบบก่อสร้าง (As-Built Drawing) แสดงโดยรูปแท่งสี่เหลี่ยม

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



ภาพที่ 8 ผลเปรียบเทียบความยาว Bearing Unit จากโปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 และแบบก่อสร้าง

5 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1) การแก้ปัญหาการทรุดตัวต่างระดับของโครงสร้างปรับการทรุดตัวประเภท Approach Slab on Pile สามารถบรรเทาโดย (ก) การปรับปรุงการออกแบบความยาว ระยะห่างและจำนวนเสาเข็มบริเวณที่พบปัญหา (ข) ปรับปรุงการออกแบบ Reinforced Concrete Slab ให้สามารถถ่ายแรงระหว่างเสาเข็มได้และไม่เกิดการพิบัติ

2) ควรมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของดินฐานราก และการส่งถ่ายแรงและโมเมนต์ใน Reinforced Concrete Slab ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

3) โปรแกรม KU-Bridge Abutment 1.0 ที่พัฒนาขึ้นโดยการผสานทฤษฎีการวิเคราะห์การทรุดตัวของชั้นดินจากทฤษฎีการยุบอัดตัวคายน้ำของ Terzaghi และการวางโค้งดิ่งทางวิศวกรรมการทาง ซึ่งการทรุดตัวของชั้นดินแข็ง (Elastic Settlement) ถือว่ามีค่าน้อยมาก จึงไม่ได้นำมาวิเคราะห์ในการเขียนโปรแกรมนี้ ส่วนกรณีที่ดินฐานรากมีหลายชั้น และค่า c_v ต่างกัน การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัว จะใช้การเฉลี่ยค่า c_v ของดินทุกๆ ชั้น โดย Weighting Method