

การศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มสะพานจากการละลายของชั้นเกลือ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Study of The Settlement Behavior of Bridge Pile Foundations Frome the Dissolution of Salt Layer by Finite Element Method

ศุภฤกษ์ กล้าชาญชัย (Supharoek Klachanchai)^{1*} ศิวดล แสนสีลา (Siwadol Saenseela)^{**}

ดร.พงศกร พวงชมภู (Dr.Pongsagorn Pongchompu)^{***}

(Received: April 10, 2024; Revised: May 21, 2024; Accepted: May 22, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มสะพานจากการละลายของชั้นเกลือ ในทางหลวงหมายเลข 2229 กม.ที่ 4+075 ถึง กม.ที่ 4+285 ต.กุดเรือคำ อ.วานรนิวาส จ.สกลนคร ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D เปรียบเทียบกับข้อมูลในสนาม จากการศึกษาพบว่าการทรุดตัวของสะพานในแนวตั้งทำให้เกิดรอยแตกที่คานหัวเสาเนื่องจากแรงดึงระหว่างพื้นสะพานที่ทรุดตัวต่างกัน การเคลื่อนที่ของดินในแนวราบทำให้เสาตอม่อสะพานระดับที่ 3 ถึง 6 และระดับที่ 8 ถึง 11 มีการเคลื่อนที่เข้าหาเสาตอม่อสะพานระดับที่ 7 และเกิดแรงเฉือนในเสาเข็มที่ระดับดินเดิม การวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าช่องโพรงความกว้าง 47.00 ม. ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ผิวสะพานสูงสุดเท่ากับค่าในสนาม การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัว พบว่าการทรุดตัวตามแนวตั้งของถนนมีการทรุดตัวมากที่สุด รองลงมาคือสะพาน โดยมีค่าการทรุดตัวสูงสุด 0.73 เมตร และ 0.66 เมตร ตามลำดับ และคิดเป็นค่าการทรุดตัวเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 16 ซม./ปี และ 14 ซม./ปี ตามลำดับ

ABSTRACT

The objective of this research was to study settlement of bridge pile foundations from the dissolution of salt layers on Highway No. 2229 Km 4+075 and Km 4+285, Kut Ruea Kham Sub-district, Wanon Niwat District, Sakon Nakhon Province by the finite element method using Plaxis 2D program to compare with data in the field. From a study of bridge settlement in case of hole formation in salt layers, it was found that vertical settlement caused cracks at foundation head beams due to tensile force between collapsed bridge floors with difference. Horizontal soil movement caused bridge pier rows 3 to 6 and rows 8 to 11 to move towards bridge pier 7 and shear force in the piles at the original soil level.

Corresponding Author: supharoekbmw@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Student in Master of Engineering Program, Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

**วิศวกรโยธาชำนาญการ ศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 2 กรมทางหลวง

Expert civil engineer, Bridge Construction and Restoration Center 2, Department of Highways

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

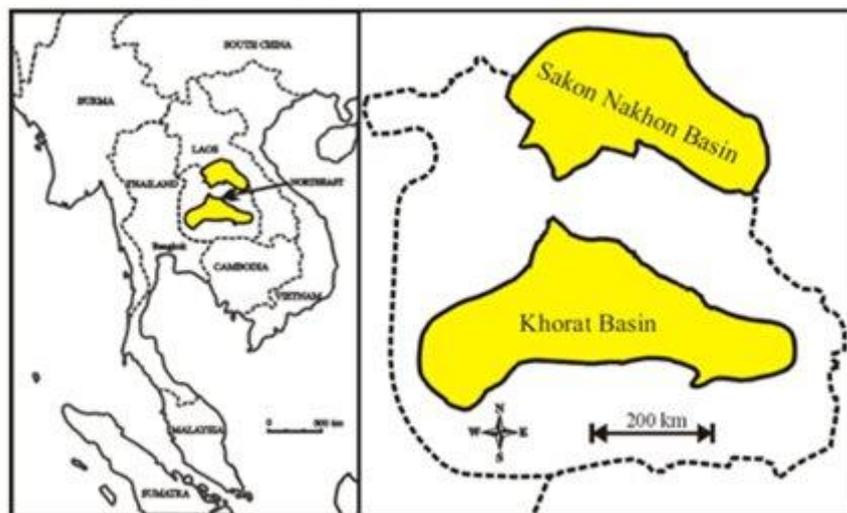
Settlement analysis by the finite element method revealed that the hole of 47.00 m width caused the highest bridge surface settlement equal to the value in the field. Comparison of subsidence values It was found that the vertical subsidence of the road had the highest subsidence value. Next is the bridge. with maximum subsidence values of 0.73 meters and 0.66 meters, respectively, and calculated as annual average subsidence values of 16 cm./year and 14 cm./year, respectively.

คำสำคัญ: การทรุดตัว ฐานรากเสาเข็มสะพาน วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

Keywords: Settlement, Bridge pile foundation, Finite element method

บทนำ

การทรุดตัวของพื้นผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่ปรากฏในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่ ที่มีการสูบน้ำเกลือจากใต้ผิวดินขึ้นมาทำนาเกลือสินเธาว์ และพื้นที่ใกล้เคียงนาเกลือสินเธาว์ กรณีที่เกิดการทรุดตัวในพื้นที่นาเกลือ มักไม่เป็นที่เปิดเผย แต่หากเกิดในพื้นที่ใกล้เคียง โดยเฉพาะใกล้แหล่งชุมชนหรือที่อยู่อาศัย จะปรากฏให้เห็นเป็นข่าว และสร้างความหวาดกลัวต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง ปริมาณเกลือสินเธาว์ของแอ่งโคราชและสกลนครภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีมากมายมหาศาล ดังแสดงในภาพที่ 1 Suwanich (1986) [1]



ภาพที่ 1 แอ่งโคราชและสกลนครภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย (Suwanich, 1986) [1]

Siwadol (2019) [2] ได้ทำการศึกษาการทรุดตัวของผิวทางทางที่อยู่ในพื้นที่จังหวัดสกลนคร ใกล้บริเวณพื้นที่ที่มีการสูบน้ำเกลือจากใต้ผิวดินขึ้นมาทำนาเกลือสินเธาว์ ในทางหลวงหมายเลข 2229 ตอน กุดเรือคำ - บ้านม่วง ระหว่างกิโลเมตรที่ 4+075 ถึง 4+285 โดยเข้าได้รวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินครอบคลุมพื้นที่การทรุดตัวสามารถเขียน Soil profile และรวบรวมข้อมูลแ่งการทรุดตัวที่ผิวทางจากการสำรวจทำระดับ Profile ซึ่งเป็นการทำระดับตามแนว Center line ทำการศึกษาการทรุดตัวของผิวทางโดยใช้ทฤษฎีเชิงประสบการณ์ สมการของ Peck (1969) [3] เปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวในสนามโดยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติ พบว่าแ่งการทรุดตัวที่ผิวทางที่คำนวณจากทฤษฎีเชิงประสบการณ์

สามารถทำนายได้ใกล้เคียงกับแ่งการทรุดตัวของผิวทางในสนามถึง 95.00% และสามารถประเมินความลึกของช่องโพรงได้เท่ากับ 42 เมตร

Siwadol (2018) [4] ได้ศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของผิวทางจากการละลายของชั้นเกลือ เพื่อใช้ในการประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อชั้นโครงสร้างทาง ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D เปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวในสนามพบว่าขนาดโพรงกว้าง 46 เมตร สูง 2.5 เมตร ที่ระดับความลึก 42 เมตร ทำให้เกิดแ่งการทรุดตัวที่ผิวทางใกล้เคียงกับการสำรวจปี 2560 ถึง 96.10 % ดูได้จาก $R^2 = 0.961$ และค่า $MAPE = 12.45$

การศึกษามวลของความกว้างของโพรงและความลึกของระดับน้ำใต้ดิน แสดงให้เห็นว่าความกว้าง (W) และความลึกของโพรง (Z_0) จะเป็นตัวควบคุมขนาดและรูปร่างของแ่งการทรุดตัวที่ผิวทาง เมื่อความกว้างของโพรงมีค่าน้อยกว่าความหนาของชั้นดินเหนียวโพรง ($W \leq D$) โพรงนั้นจะมีการทรุดตัวแต่ยังคงมีเสถียรภาพอยู่ถึงแม้จะรับความดันจากความหนาของดินเหนียวโพรงที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อความกว้างของโพรงมีค่ามากกว่าความหนาของชั้นดินเหนียวโพรง ($W > D$) โพรงนั้นจะมีการทรุดตัวแบบไม่มีเสถียรภาพ

เนื่องจากในปี 2561 กรมทางหลวงได้ทำการปรับปรุงถนนที่ทรุดตัวโดยก่อสร้างเป็นสะพานและเปิดการจราจรในปี 2562 โดยได้มีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวของสะพานไว้ทุกปีหลังจากเปิดการใช้งานพบว่าสะพานมีการทรุดตัวสูงสุดที่ตำแหน่งต่อม่อสะพานดับที่ 7 วัดค่าการทรุดตัวสูงสุด ปี 2566 ได้ที่ 66 เซนติเมตร การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มสะพานจากการละลายของชั้นเกลือ กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 2229 ตอน กุดเรือคำ-บ้านม่วง ระหว่าง กม. 4+075 ถึง กม. 4+285 ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D เปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวในสนามเพื่อหาแนวทางปรับปรุงให้ถนนและสะพานให้กลับมาใช้งานได้อย่างปลอดภัยและหาแนวทางป้องกันความเสียหายที่อาจบริเวณจุดเสี่ยงใกล้เคียง



ภาพที่ 2 ทางหลวงหมายเลข 2229 ตอน กุดเรือคำ-บ้านม่วง ระหว่าง กม. 4+075 ถึง กม. 4+285



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบการทรุดตัวของถนน ปี 2561 และการทรุดตัวของสะพาน ปี 2566 ทางหลวงหมายเลข 2229 ตอน กุดเรือคำ-บ้านม่วง ระหว่าง กม. 4+075 ถึง กม. 4+285

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มสะพานจากการละลายของชั้นเกลือในทางหลวงหมายเลข 2229 ช่วงระหว่าง กม.ที่ 4+075 ถึง กม.ที่ 4+285 ตำบลกุดเรือคำ อำเภอรามัญ จังหวัดสกลนคร
2. เพื่อศึกษาลักษณะการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มสะพานทั้งแนวตั้งและแนวราบ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Plaxis 2D เปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวในสนาม
3. เพื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวของถนนและสะพาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เก็บรวบรวมข้อมูลการทรุดตัวของสะพาน

ข้อมูลการทรุดตัวของสะพานได้มาจากวิธีการทำระดับ Profile เป็นการทำการระดับตามแนว Center line ของสะพานเพื่อเก็บค่าระดับที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการก่อสร้าง เจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงได้เก็บข้อมูลการทรุดตัวในสนาม ภาพที่ 4 เป็นการเก็บข้อมูลการทรุดตัวของสะพานตามแนว Center line ของสะพานที่รวบรวมไว้เมื่อ ปี 2563 – ปี 2566 ภาพที่ 5 เป็นการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของเสาเข็มตามแนวราบที่ระดับดินเดิม ของสะพาน ปี 2566 จากการตรวจวัดในสนาม



ภาพที่ 4 การเก็บข้อมูลการทรุดตัวของสะพานตามแนว Center line ปี 2563 – ปี 2566



ภาพที่ 5 การเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของเสาเข็มตามแนวราบที่ระดับดินเดิมของสะพาน ปี 2566

2. พารามิเตอร์โครงสร้างชั้นทาง และค่าพารามิเตอร์สำหรับชั้นดินฐานราก

ตารางที่ 1 เป็นค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างดินชั้นฐานราก ดินเหนียวแข็งมากถึงแข็งปาน (CL) ได้มาจากการการแปลงผลค่าที่ได้จากการทดสอบ SPT. Siwadol (2018) [4] ค่าพารามิเตอร์ของชั้นเกลือ(Salt) และชั้นหินทราย (Sandstone) ได้จากงานวิจัยในอดีต (ลัดดา และคณะ, 2546) [5] ค่าอัตราส่วนบัวของ (Budhu, 2000) [6] ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างในสภาวะสถิต k_0 หาได้จากสมการเชิงประสกรณ์ (Jaky ,1944 ; Meyerhof, 1976)m[7-8]

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับชั้นดินฐานราก

parameters	Name	Stiff clay	Salt	sandstone	Unit
Model		Mohr Coulomb	Linear elastic	Linear elastic	
Material Behaviour		Undrained B	Undrained A	Undrained A	
Wet unit weight	γ_{wet}	19	21	25	KN/m ³
Dry unit weight	γ_{day}	15	-	-	KN/m ³
Cohesion	C	313	-	-	KN/m ²
Friction angle	ϕ	-	-	-	Degrees
Dilatancy angle	ψ	-	-	-	Degrees
Young's modulus	E'	21000	628500	1340000	KN/m ²
Poison's ratio	ν	0.3	0.25	0.25	-
Horizontal permeability	k_x	0.000039	-	-	m/day
Vertical permeability	k_y	0.000039	-	-	m/day
At Rest Earth Pressure Coefficient	K_0	1.21	-	-	-

ตารางที่ 2 เป็นค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างชั้นทางที่ได้รวบรวมมาจากคู่มือแนะนำการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง 2559 กรมทางหลวง ค่าโมดูลัสสำหรับวัสดุชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและค่าอัตราส่วนปัวซอง แนะนำโดย Freeme (1983) ส่วนค่าโมดูลัสและค่าอัตราส่วน ปัวซองของชั้นพื้นทางหินคลุก ชั้นรองพื้นทางหนา ชั้นวัสดุคัดเลือก "ก" และ ชั้นดินถมคันทางใช้ตามงานวิจัยของ South African National Roads (2013) และ งานวิจัยคุณสมบัติของดินแต่ละชนิดเมื่อถูกบดอัด Navfac (1986) [9]

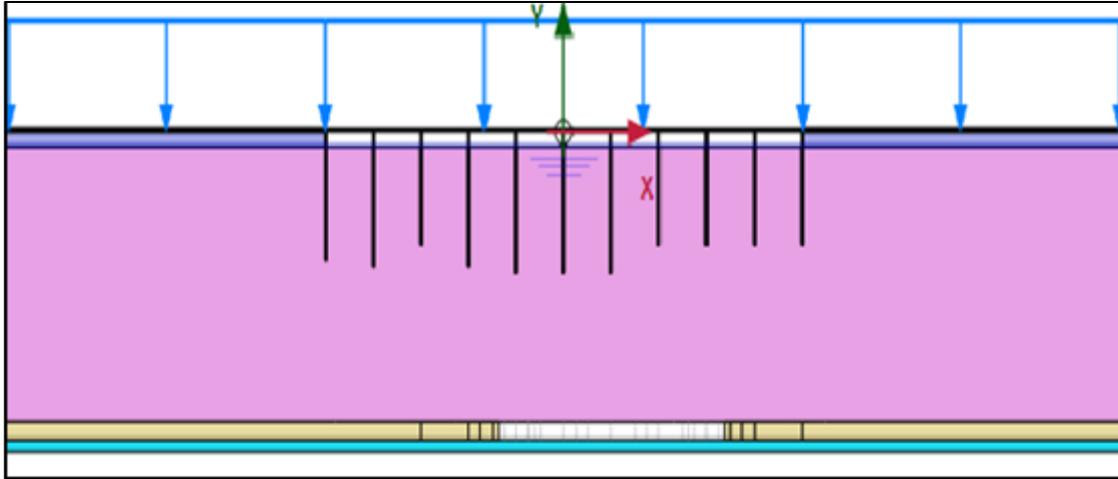
ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับชั้นโครงสร้างชั้นทาง

parameters	Name	AC	Crushed Stone	Laterite	Selected Material	Earth Embankment	Unit
Model		Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	
Material Behaviour		Undrained A	Drained	Drained	Drained	Drained	
Wet unit weight	γ_{wet}	23	22	21	20	20	KN/m ³
Dry unit weight	γ_{day}	23	20	19	17	17	KN/m ³
Young's modulus	E	500000	250000	120000	30000	20000	KN/m ²
Poison's ratio	ν'	0.4	0.35	0.35	0.35	0.35	-

3. การวิเคราะห์การทรุดตัวของผิวทางโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

การศึกษาและวิเคราะห์นี้ จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PLAXIS 2D (License User name Pongsagorn Pongchompu) โดยใช้ลักษณะรูปแบบของปัญหา Plane strain โดยจำลองชั้นโครงสร้างทางตาม ใช้ค่าพารามิเตอร์สำหรับชั้นโครงสร้างทางตามตารางที่ 2 ชั้นดินฐานรากจำลอง โดยใช้พารามิเตอร์สำหรับชั้นฐานรากตามตารางที่ 1 และใช้ค่าคุณสมบัติของวัสดุสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กตามคู่มือ PLAXIS 2D วิเคราะห์กรณีไม่ระบายน้ำ (Undrained analysis) น้ำหนักจรจากยานพาหนะ Standard Truck and Lane Loads ใช้ตาม AASHTO (Standard and Specification for Highway Bridge) [10] พิจารณาแบบ H20-44 และ HS20-44 มาใช้ในการวิเคราะห์สำหรับ

รบบรทุกเพลาดเดี่ยวและเพลาคู่ตามลำดับ โดยใช้น้ำหนัก 1 ตัน/ตร.ม. วิเคราะห์ข้อมูลการทรุดตัวของสะพานเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวในสนาม

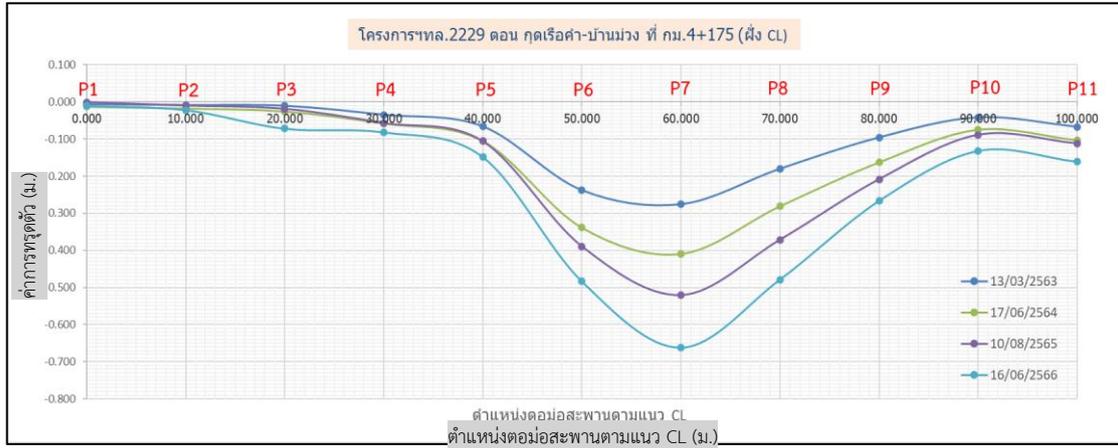


ภาพที่ 6 แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์การทรุดตัวของสะพาน

ผลการวิจัย

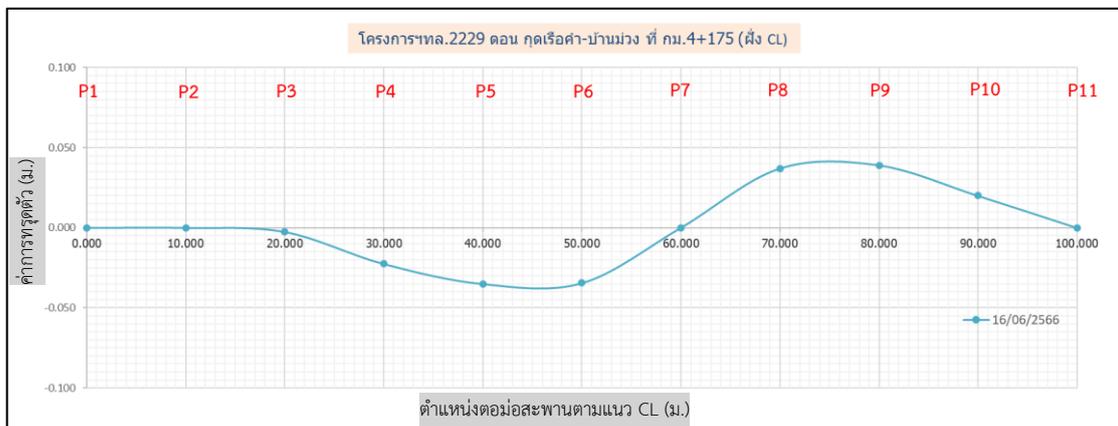
1. ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มสะพาน

จากการข้อมูลการก่อสร้างสะพานเริ่มก่อสร้าง เดือน มกราคม 2561 ก่อสร้างแล้วเสร็จเปิดใช้งาน เดือน พฤศจิกายน 2561 ภายหลังเปิดการใช้งานเริ่มมีการทรุดตัวของตอม่อสะพาน ดับที่ 7 วัดการทรุดตัวสูงสุดจาก ปี 2563 ถึง ปี 2566 ได้ 27.50 ซม., 40.90 ซม., 52.10 ซม. และ 66.20 ซม. ตามลำดับ การทรุดตัวโดยเฉลี่ย 14 ซม./ปี Bell (1992, 1997) ศึกษาการทรุดตัวบริเวณนาเกลือในประเทศไทยพบว่าอัตราการทรุดตัวในพื้นที่ภายใต้สภาพธรรมชาติของการไหลเวียนของน้ำใต้ดิน สูงถึง 15 ซม./ปี จากการตรวจติดตามในระยะยาว และ 10 ซม./ปี ในการตรวจติดตามระยะสั้น และพบว่าในพื้นที่ที่มีการดูน้ำเกลือเพื่อจุดประสงค์ในการการผลิตเกลือพบว่ามีอัตราการทรุดตัวสูงถึง 90 ซม./ปี จากภาพที่ 7 การทรุดตัวของสะพานในแนวตั้ง เริ่มจากตอม่อสะพานดับที่ 3 และมีการทรุดตัวสูงสุดที่ตอม่อสะพานดับที่ 7 จากนั้นการทรุดตัวจะน้อยลงที่ดับที่ 11



ภาพที่ 7 การทรุดตัวในแนวตั้งของสะพานตามแนว Center line ของสะพาน

ภาพที่ 8 เป็นการเคลื่อนที่ของเสาเข็มตามแนวราบที่ระดับดินเดิมของสะพาน ปี 2566 แสดงให้เห็นว่าเสาตอม่อสะพานดับที่ 7 ซึ่งเป็นจุดที่มีการทรุดตัวสูงสุดไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวราบ เสาตอม่อสะพานดับที่ 3 ถึง 6 และ ดับที่ 8 ถึง 11 มีการเคลื่อนที่เข้าหาเสาตอม่อสะพานดับที่ 7 รูปแบบการเคลื่อนที่ตามแนวราบในสนามเป็นไปตามที่ O'Reilly และ New (1982) [11] เสนอความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแนวนอนและแนวตั้งของการกระจัด สำหรับการกระจัดของพื้นดินแนวนอนเหนือช่องเปิด แรงดันดินจากการเคลื่อนตัวของดินเข้าหาโพรงใต้ดินส่งผลทำให้เกิดแรงเฉือนบริเวณเสาตอม่อสะพานที่ระดับผิวดินผลจากการเคลื่อนที่ในแนวราบ ดังแสดงในภาพที่ 9 และภาพที่ 11 ในส่วนของตอม่อสะพานดับที่ 7 ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวราบจึงไม่เกิดรอยแตกที่เสาแต่มีรอยแตกของคอนกรีตที่คานหัวเสาเนื่องจากแรงดึงระหว่างพื้นสะพานที่ทรุดตัวต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 8 การเคลื่อนที่ของเสาเข็มตามแนวราบที่ระดับดินเดิมของสะพาน ปี 2566



ภาพที่ 9 เกิดแรงเฉือนบริเวณเสาตอม่อสะพานดับที่ 6 ผลจากการเคลื่อนที่ในแนวราบ



ภาพที่ 10 เกิดแรงดึงระหว่างพื้นสะพานที่ทรุดตัวต่างกันบริเวณเสาตอม่อสะพานดับที่ 7



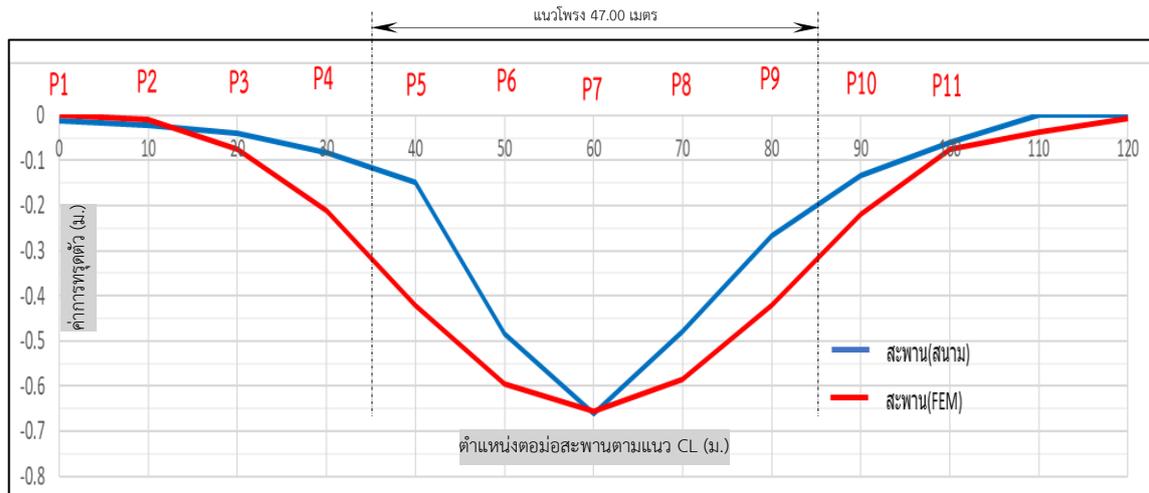
ภาพที่ 11 เกิดแรงเฉือนบริเวณเสาตอม่อสะพานดับที่ 8 ผลจากการเคลื่อนที่ในแนวราบ

2. ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

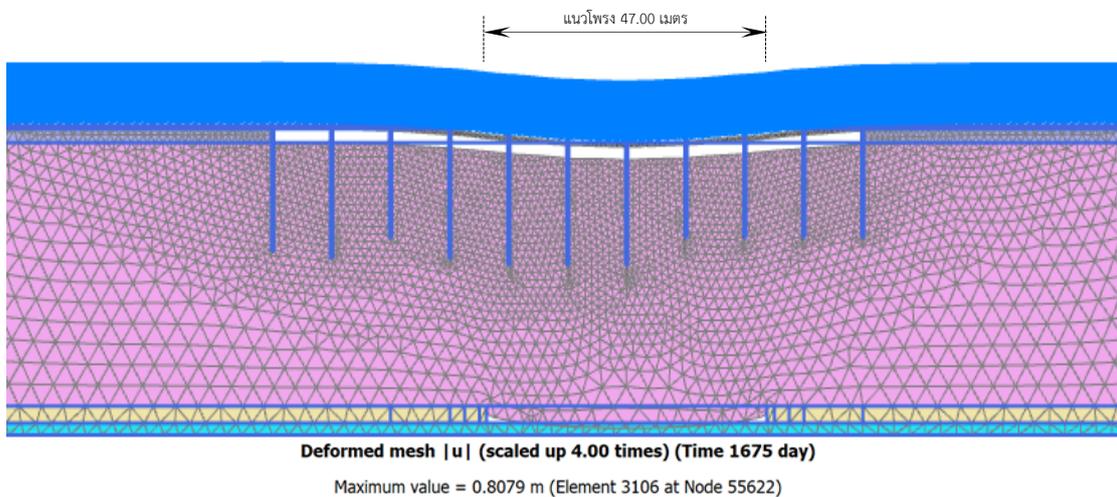
ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวในแนวตั้งที่เกิดจากการขยายตัวของโครงเนื่องจากการละลายของชั้นเกลือโดยจะกำหนดระดับน้ำใต้ดินที่ระดับ -2.00 เมตร จากระดับสะพานและทำการขยายความกว้างของช่องโครงจากน้อยไปหามากจนกว่าความกว้างของช่องโครงจะทำให้เกิดการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับค่าในสนาม จากการวิเคราะห์พบว่าความกว้างของ

โพรงที่ 47.00 เมตร ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ผิวสะพานสูงสุดเท่ากับค่าในสนามจากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าแ่งการทรุดตัวมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการทรุดตัวใกล้เคียงกับค่าในสะพานแต่รูปร่างของแ่งการทรุดตัวในสนามบางจุดมีค่าการทรุดตัวน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อาจเนื่องมาจากความยาวของเสาเข็มที่แตกต่างกันส่งผลต่อการทรุดตัว ภาพที่ 13 แสดงการเสียรูปสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งผนังด้านบนของโพรงเท่ากับ 0.8079 เมตร สูงกว่าที่เกิดขึ้นที่ผิวสะพาน

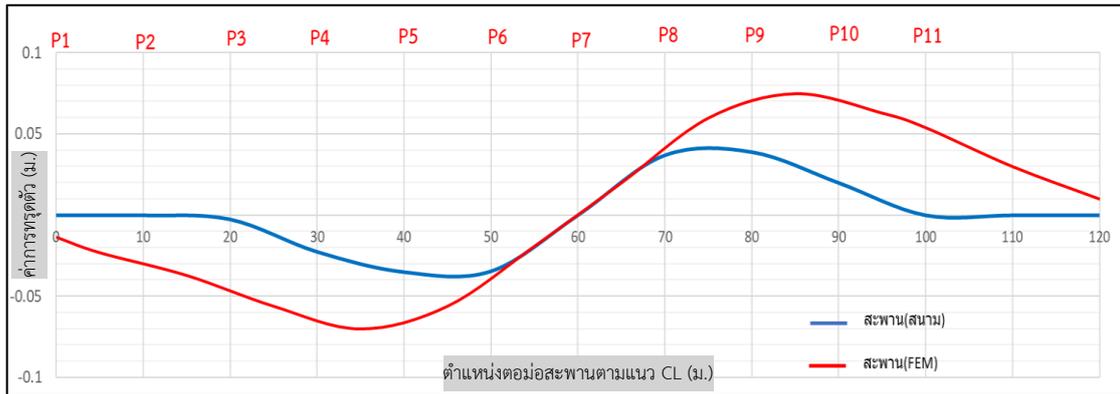
ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวตามแนวราบภาพที่ 14 แสดงการเคลื่อนที่ของดินในแนวราบที่ระดับดินเดิมมีค่าสูงกว่าการเคลื่อนที่ของเสาเข็มจากการวัดในสนามส่งผลทำให้เกิดแรงเฉือนในเสาเข็มดังแสดงในภาพที่ 9 และภาพที่ 11 ส่วนภาพที่ 15 แสดงการเคลื่อนที่แนวราบสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งผนังด้านบนของโพรง



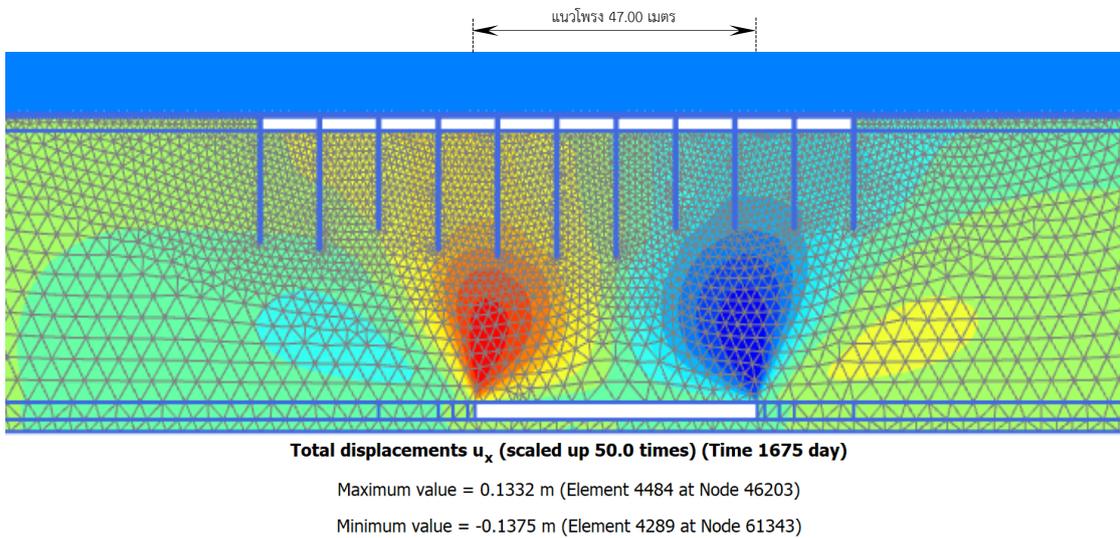
ภาพที่ 12 แ่งการทรุดตัวที่ผิวดินเมื่อโพรงขนาดกว้าง 47.00 เมตร และระดับน้ำใต้ดินลึก 3 เมตร



ภาพที่ 13 แสดงการเสียรูปสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งผนังด้านบนของโพรงเท่ากับ 0.8079 เมตร

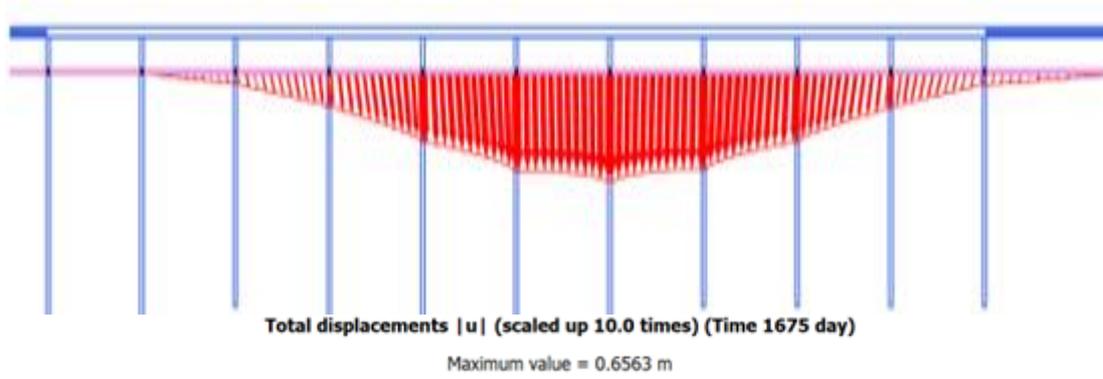


ภาพที่ 14 แสดงการเคลื่อนที่ของดินในแนวราบที่ระดับดินเดิมและการเคลื่อนที่ของเสาสะพาน



ภาพที่ 15 แสดงการเคลื่อนที่ที่แนวราบสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งผนังด้านบนของโพรง

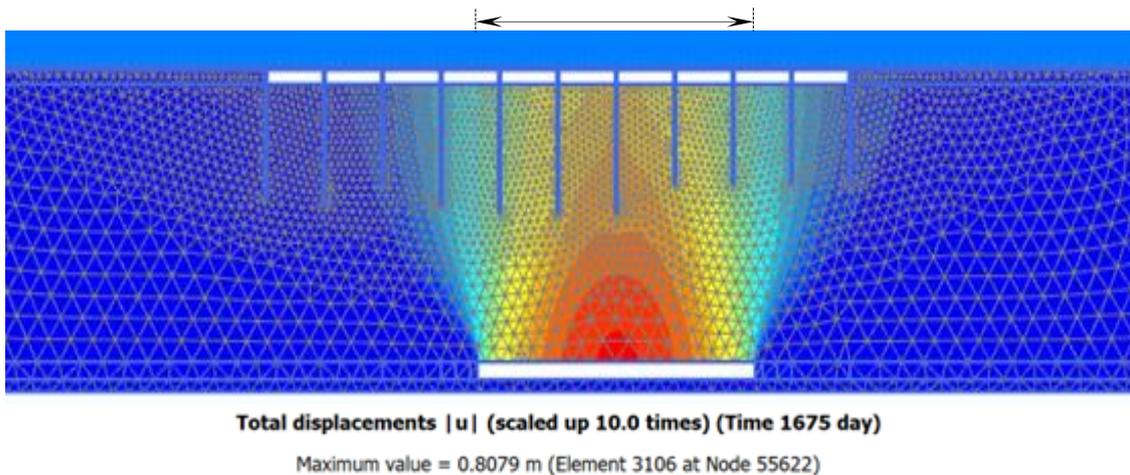
ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่รวม ภาพที่ 16 แสดงการเคลื่อนที่ของดินโดยรวมที่ระดับดินเดิมมีลักษณะเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางโพรงทำมุมเอียง เป็นไปตามรูปแบบการเคลื่อนที่ของเสาเข็มในสนามที่ทำมุมเอียงตามภาพที่ 17 แสดงการทรุดตัวของเสาเข็มสะพานที่จุดทรุดตัวสูงสุดกลางโพรงเสาเข็มจะทรุดลงในแนวดิ่ง เสาเข็มต่อม่อตัดต่อมาจะมีลักษณะทรุดเอียงปลายเข็มชี้เข้าหาโพรง ภาพที่ 18 แสดงการเคลื่อนที่โดยรวมสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งผนังด้านบนของโพรง ภาพที่ 19 แสดงจุดที่ดินมีการเคลื่อนที่แบบ plastic จนเกิดการเสีรูปร่าง เกิดจากการเคลื่อนที่ของเสาเข็มและดินที่แตกต่างกันที่ขอบด้านข้างของโพรงเกิดจากรูปร่างของโพรง



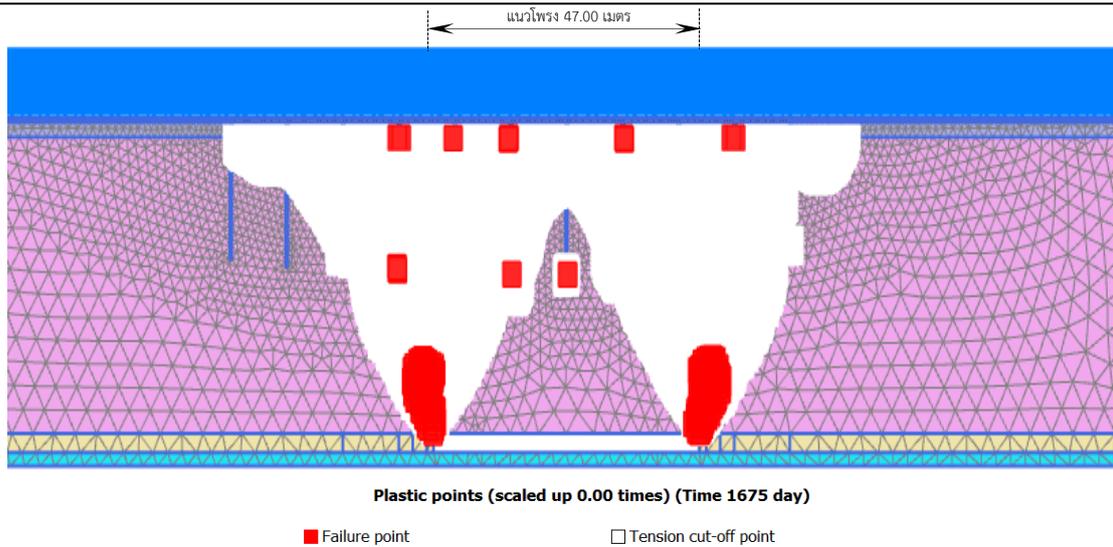
ภาพที่ 16 แสดงการเคลื่อนที่ของดินโดยรวมที่ระดับดินเดิม



ภาพที่ 17 แสดงการทรุดตัวของเสาเข็มสะพานที่จุดทรุดตัวสูงสุดกลางโพรงเสาเข็มจะทรุดลงในแนวตั้ง
แนวโพรง 47.00 เมตร



ภาพที่ 18 แสดงการเคลื่อนที่โดยรวมสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งกลางผนังด้านบนของโพรง



ภาพที่ 19 แสดงจุดที่ดินมีการเคลื่อนที่แบบ plastic จนเกิดการเสียรูป

สรุปและอภิปรายผล

1. การศึกษาการทรุดตัวของสะพานเมื่อเกิดโพรงที่ชั้นเกลือพบว่า การทรุดตัวในแนวตั้งทำให้เกิดรอยแตกที่คานหัวเสาเนื่องจากแรงดึงระหว่างพื้นสะพานที่ทรุดตัวต่างกัน การเคลื่อนที่ของดินในแนวราบทำให้เสาตอม่อสะพานระดับที่ 3 ถึง 6 และ ระดับที่ 8 ถึง 11 มีการเคลื่อนที่เข้าหาเสาตอม่อสะพานระดับที่ 7 และเกิดแรงเฉือนในเสาเข็มที่ระดับดินเดิม อัตราการทรุดตัวที่วัดได้เฉลี่ย 14 ซม./ปี

2. การวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าช่องโพรงความกว้าง 47.00 ม. ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ผิวสะพานสูงสุดเท่ากับค่าในสนาม การทรุดตัวมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการทรุดตัวใกล้เคียงกับค่าในสนาม ผลการวิเคราะห์ของดินในแนวราบที่ระดับดินเดิมมีค่าสูงกว่าการเคลื่อนที่ของเสาเข็มในสนาม ส่งผลให้เกิดรอยแตกที่เสาเข็มจากแรงเฉือน การเคลื่อนที่ของดินโดยรวมมีลักษณะเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางโพรงทำมุมเอียง เกิดจากการเคลื่อนที่ของเสาเข็มและดินที่แตกต่างกันทำให้เกิด plastic point

3. การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ผิว เมื่อกำหนดขนาดของโพรงพบว่า การทรุดตัวตามแนวตั้งของถนนที่ค่าการทรุดตัวมากที่สุด รองลงมาคือสะพาน โดยมีค่าการทรุดตัวสูงสุด 0.73 เมตร 0.66 เมตร ตามลำดับ และคิดเป็นค่าการทรุดตัวเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 16 ซม./ปี และ 14 ซม./ปี ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแนวทางหลวงบึงกาฬ และศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 2 (ขอนแก่น) กรมทางหลวง ที่ได้ให้ข้อมูลการทรุดตัวของผิวทางในสนาม ประวัติสายทางและข้อมูลการสำรวจชั้นดิน และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย



เอกสารอ้างอิง

1. Suwanich P. Potash and rock salt in Thailand. Nonmetallic Minerals Bulletin No.2. Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand; 1986.
2. Saenseela S. "Settlement Behavior of Road Surfaces Caused by Dissolution of Salt Layerstok" International Journal of GEOMATE, Vol.17, Issue 59, pp.57-61; 2019.
3. Peck RB. Deep excavations and tunneling in soft ground, In: Proceedings of the 7th international conference on soil mechanics and foundation engineering, State of the art volume, ociedad exicana de ec nica de uelos, Mexico, pp. 225-290; 1969.
4. Saenseela S. "Study on Settlement Behavior of Road Surface Caused by Dissolution of Salt Layer" Complete research report Rajamangla University of Technology Isan; 2018.
5. Ladda W, Pathsu W, Nussara S. Analysis of geological and geotechnical conditions of salt at the surface and underground levels of the Northeast. Complete research report Faculty of Technology Khonkaen University, pp.1-77; 2003.
6. Budhu M. "Soil Mechanics and Foundations, 3rd edition, John & Wiley Sons Clayton, C.R.I., 1990, "SPT Energy Transmission: Theory, Measurement and Significance". Ground Engineering, Vol. 23, No. 10, pp. 35-43; 2007.
7. Jaky J. "the coefficient of earth pressure at rest." J. for the Society of Hungarian Architects and Engineers. October, 355-358; 1944.
8. Meyerhof GG. "Bearing capacity and settlement of pile foundation". J. of Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 102(3), 197-228; 1976.
9. Navfac. "Soil Mechanics : Design manual 7.01". Department of Navy, Naval Facilities Engineering Command, Virginia; 1986.
10. AASHTO: Standard Specification for Highway Bridges (1973). American Association of State Highway and Transportation Officials.
11. O'Reilly MP, New BM. Settlements above tunnels in the UK-their magnitude and prediction. Tunneling 82:173-181; 1982.