

การวิเคราะห์ความเค้นคู่ควบของถนนริมคลองบนชั้นดินเหนียวอ่อนในกรณีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองตามรอบฤดูกาล

Coupled Stress Analysis of Road Embankment along the Canal on Soft Clay In Case of Water Level Seasonal Fluctuations

จิรวุฒิ แสสนเมือง^{1*}, สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*Corresponding author; E-mail address: jirawut_88@hotmail.com

บทคัดย่อ

การพิบัติของถนนริมคลองในเขตพื้นที่ดินเหนียวอ่อนยังคงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้การพิบัติที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากหลายสาเหตุ แต่ในบทความนี้จะทำการศึกษสาเหตุที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองตามรอบฤดูกาลเป็นหลัก สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของถนนริมคลองโดยทั่วไปนิยมจำลองพฤติกรรมของถนนจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในระยะเวลาสั้นเพียงเท่านั้น บทความจึงนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์เสถียรภาพของถนนริมคลองที่ขึ้นกับเวลาสำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองตามรอบฤดูกาลที่เกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์จะใช้วิธีการทางตัวเลข Finite Element ในรูปแบบของ Coupled stress ซึ่งได้ถูกนำมาจำลองอิทธิพลของ stress deformation และ stress pore water pressure เพื่อจำลองแรงดันน้ำในมวลดินและการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้น โดยผลการศึกษาพบว่ากรณีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำดังกล่าวมีผลทำให้เสถียรภาพของถนนริมคลองลดต่ำลงได้

คำสำคัญ: การจำลองความเค้นคู่ควบ, ถนนริมคลอง, ดินเหนียวอ่อน

Abstract

The failure of road embankment along the canal on soft clay has been occurring frequently. One of the major factors causing this failure is the fluctuation of water level in the canal. The conventional stability analysis of road embankment along the canal only models the short term behavior of water drawdown. So, this paper presents stability analysis of road embankment by seasonal fluctuation of water level which is a long term cycle. The analysis was performed using finite element method. The coupled stress analysis was used to simulate the pore-water pressure response and deformations that occur during seasonal fluctuation of water level. From the analysis, it was determined that the stability of road embankment along the canal can be reduced by seasonal fluctuation of water level.

Keywords: Coupled stress, Road embankment, Soft clay

1. บทนำ

การก่อสร้างคลองการชลประทานมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อส่งน้ำในช่วงฤดูแล้งรวมถึงการระบายน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก ซึ่งส่วนมากการก่อสร้างของคันคลองได้จากการขุดดินตะกอนจากท้องคลองมาถมเพื่อขยายความกว้างของการระบายน้ำ ซึ่งต่อมาได้มีการปรับเปลี่ยนการใช้คันคลองเป็นฐานรากของถนนเพื่อการสัญจรและยกระดับให้สูงขึ้นเพื่อป้องกันน้ำท่วม[5] โดยลักษณะของโครงสร้างถนนดังกล่าวจึงเป็นคันดินถมที่สูงและมีลาดชันลงสู่ท้องคลอง ประกอบกับชั้นดินฐานรากในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน[4] จึงทำให้มีความสามารถต้านทานแรงเฉือนต่ำและส่งผลให้ถนนมีสภาวะง่ายต่อการพิบัติมากกว่าถนนบนชั้นดินแข็ง และอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุให้เกิดการพิบัติของถนนริมคลองคือความสูงของระดับน้ำภายในคลอง ซึ่งระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตลอดเวลาก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงดันน้ำในมวลดิน (pore-water pressure) และกำลังรับแรงเฉือนของคันถนนลดลงได้

เพื่อศึกษาผลกระทบต่อเสถียรภาพของถนนริมคลองบนชั้นดินเหนียวอ่อน บทความนี้จึงได้จำลองพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล ร่วมกับการวิเคราะห์อิทธิพลของแรงดันน้ำที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของถนนโดยตรง

2. การวิเคราะห์เสถียรภาพคันทางด้วยวิธี conventional method

โดยทั่วไปการพิจารณาเสถียรภาพของถนนริมคลองจะมีกรณีสำหรับการวิเคราะห์สองรูปแบบคือกรณีความปลอดภัยระยะสั้นๆ พิจารณาในกรณีหลังการก่อสร้างใหม่ๆ โดยที่ยังไม่มีน้ำในคลอง ซึ่งเป็นช่วงเวลานั้นๆหลังการก่อสร้าง ส่วนกรณีที่สองคือกรณีความปลอดภัยระยะยาว คือกรณีที่ระดับน้ำอยู่ที่ระดับปกติ ระดับน้ำต่ำสุด และระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งกรณีพิจารณาเสถียรภาพความปลอดภัยทั้งหมดนี้เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ผลการคำนวณแรงดันน้ำภายในมวลดิน ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น พร้อมทั้งไม่ได้คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินที่เกิดขึ้นในระยะยาว

3. การวิเคราะห์เสถียรภาพคั่นทางด้วยวิธี Finite element ในรูปแบบ Coupled stress method

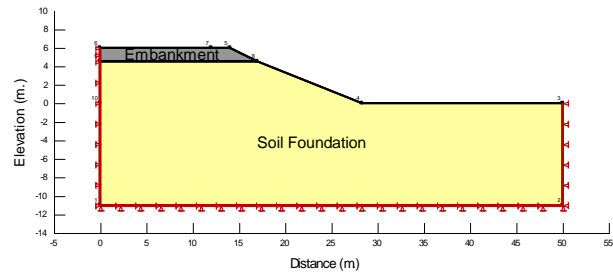
การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองตามช่วงฤดูกาลนั้นส่งผลโดยตรงต่อระดับน้ำในชั้นดินฐานรากของถนนริมคลองและสูญเสียกำลังความแข็งแรงลงจนอาจจะพิบัติในที่สุด นอกจากนั้นดินยังมีพฤติกรรมที่มีการเสียรูปตามเวลา (Time-dependent deformation) ภายใต้หน่วยแรงคงที่ และจากลักษณะดังกล่าวการคำนวณด้วยวิธี Conventional method ยังไม่สามารถพิจารณาพฤติกรรมของแรงดันน้ำ (pore-water pressure) ร่วมกับการเคลื่อนตัว (deformation) ของถนนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้ เสถียรภาพของถนนริมคลองจึงควรมีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element Analysis โดยใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบความเค้นคู่ควบ (Coupled Stress) เพื่อศึกษาถึงข้อสังเกตดังกล่าว ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะคำนวณการไหลซึมไปพร้อมกับการคำนวณการเคลื่อนตัวของมวลดิน และเพื่อที่จะนำผลไปเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ Conventional method การศึกษานี้จะใช้ความเค้น (Stress) ที่ได้จากการวิเคราะห์ Coupled stress นำไปคำนวณเสถียรภาพของถนนริมคลองด้วยวิธี Limit Equilibrium อีกครั้งหนึ่ง

4. ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ Coupled stress method

4.1 คั่นทาง และชั้นดินฐานราก

ในการวิเคราะห์จะกำหนดให้ชั้นดินคั่นทางถนนตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท [6] จากข้อมูลการสำรวจและเก็บข้อมูลลาดชันของถนนริมคลอง [1], [6] พบว่ามีความลาดชันของคั่นทางเฉลี่ย 1:2 (V:H) และผิวคั่นทางกว้าง 10 เมตร โดยกำหนดให้วัสดุมี 2 ประเภทคือ ชั้นคั่นทาง (Road Embankment) มีความหนา 1 เมตร และชั้นดินฐานรากเป็นดินเหนียวอ่อน (Soil Clay) มีความหนา 16 เมตร และกำหนดให้แบบจำลองมีความกว้าง 40 เมตร โดยขอบเขตล่างของแบบจำลองไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง (Total Fixibility) และ

ขอบเขตด้านข้างของ แบบจำลองไม่สามารถเคลื่อนตัวในแนวราบ (Horizontal Fixibility)



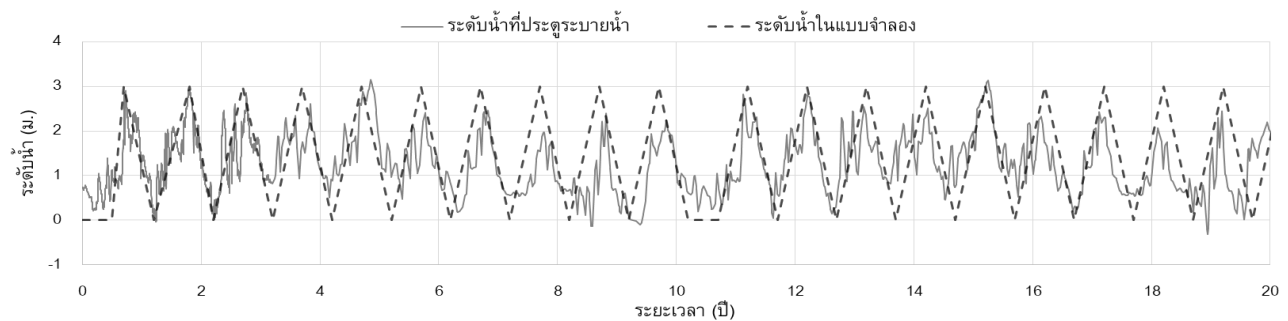
รูปที่ 1 หน้าตัดถนนริมคลองบนชั้นดินเหนียวอ่อน

4.2 คุณสมบัติชั้นดินฐานราก

จากผลการทดสอบหาคุณสมบัติชั้นดินโดยการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างและข้อมูลชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ [1] แสดงในตารางที่ 1

4.3 ข้อมูลระดับน้ำภายในคลองโดยกรมชลประทาน

รูปแบบการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานคลองรังสิตประยูรศักดิ์ส่วนใหญ่เป็นการใช้ประโยชน์ในรูปของการเกษตรกรรม การอุปโภค และแหล่งจับสัตว์น้ำ ฯลฯ [3] ซึ่งการควบคุมระดับน้ำภายในคลองรังสิตประยูรศักดิ์ได้ถูกควบคุมการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำโดยกรมชลประทานเพื่อจ่ายน้ำให้กิจกรรมดังกล่าวพร้อมทั้งได้มีการบันทึกระดับน้ำในคลองที่ประตูระบายน้ำ ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลระดับน้ำของประตูระบายน้ำกลางคลองรังสิตประยูรศักดิ์เป็นตัวแทนในการนำมาเทียบเคียงอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลอง เนื่องจากข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากการบันทึกนั้นไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำลองระดับน้ำในโปรแกรมโดยใช้อัตราการขึ้น-ลงของระดับน้ำใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้นั้นที่แท้จริงจากประตูระบายน้ำ ซึ่งจะใช้จำนวนรอบในการวิเคราะห์ 20 ปี ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองตามรอบปี

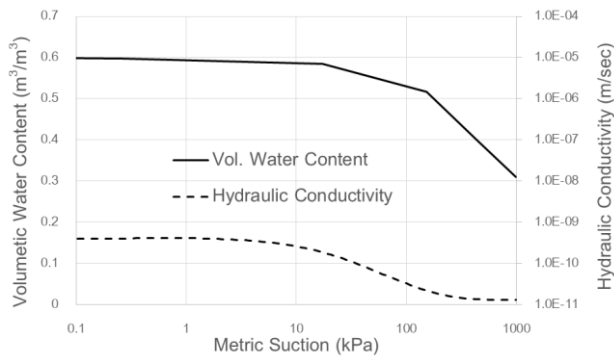
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของชั้นดินจากผลการทดสอบ [1]

Materials	Soil Type	Undrained Elastic modulus	Drained Elastic modulus	Poisson's ratio	Unit weight	Effective Cohesion	Effective friction angle	K saturate
		(kPa)	(kPa)	(V)	(kN/m ³)	(kPa)	(Degree)	(m/s)
Road Embankment	Crust	8000	8000	0.3	20	10	20	1 x 10 ⁻⁸
Soil Foundation	Soft clay	3000 (200S _u)*	2667 (8/9E _u)	0.35	18	15	15	3 x 10 ⁻¹⁰

หมายเหตุ : * จากผลการเทียบความสัมพันธ์ของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ [2]

4.4 ข้อมูลความสัมพันธ์ของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

การวิเคราะห์เสถียรภาพของมวลดินในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำภายในมวลดิน ซึ่งลักษณะของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำจะใช้การจำลองในรูปแบบ Drained Parameter โดยความสัมพันธ์ Soil Water Characteristic Curve (SWCC) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพจาก [7] (รูปที่ 3)

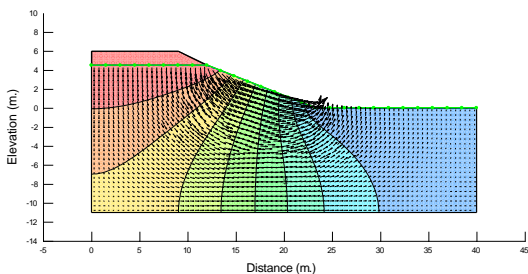


รูปที่ 3 SWCC และ Hydraulic Conductivity สำหรับการจำลองในโปรแกรม

4.5 วิธีการวิเคราะห์

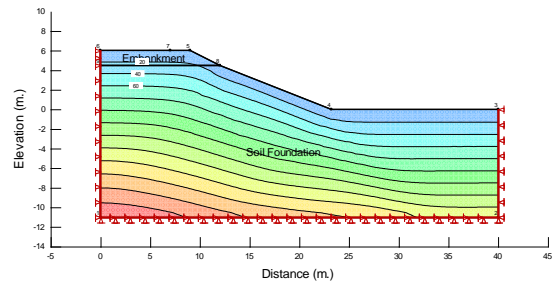
ขั้นตอนการวิเคราะห์พฤติกรรมของแบบจำลอง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

4.5.1 Steady State เป็นการจำลองสภาวะการไหลซึมในชั้นดินฐานรากเป็นสภาวะเริ่มต้น (รูปที่ 4)



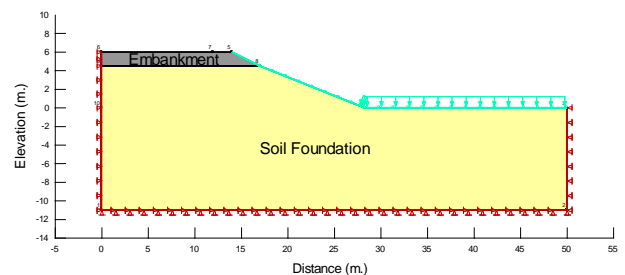
รูปที่ 4 Flow line

4.5.2 Initial State เพื่อจำลองสภาวะความเค้นเริ่มต้นของชั้นดินฐานราก สำหรับนำไปใช้คำนวณในลำดับต่อไป (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 Initial stress

4.5.3 วิเคราะห์ Coupled Stress โดยการเพิ่มฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองที่ขอบเขต (Boundary) ของลาดคลอง

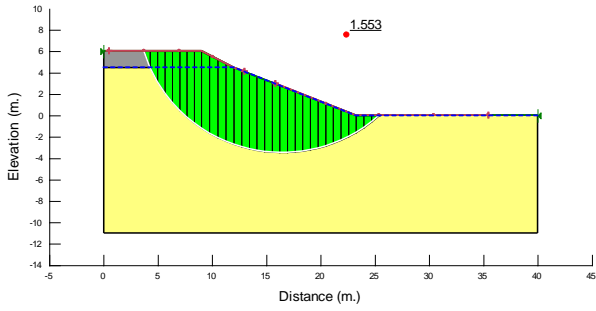


รูปที่ 6 ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ

5. อัตราส่วนความปลอดภัยจากเงื่อนไขการวิเคราะห์กรณีต่าง ๆ

5.1 Conventional Method

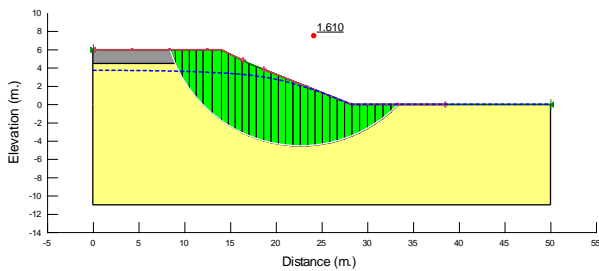
การวิเคราะห์เสถียรภาพในเงื่อนไขของระดับน้ำที่ลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) ที่นิยมในปัจจุบันโดยวิธี Limit Equilibrium Method (LEM) ซึ่งจะกำหนดให้ระดับน้ำค้างอยู่ในมวลดินส่วนน้ำในคลองอยู่ระดับต่ำสุด และระดับน้ำในคลองอยู่ระดับต่ำสุดซึ่งจะจำลองให้ลาดคลองอยู่ในสภาวะที่ง่ายต่อการพังถล่มมากที่สุด เพื่อจะได้อัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดในเงื่อนไข



รูปที่ 7 ผลวิเคราะห์เสถียรภาพจากการวิเคราะห์ Limit Equilibrium

5.2 Transient

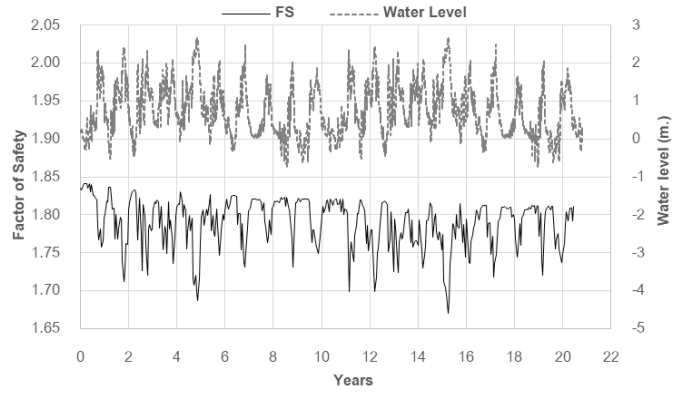
การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้วยวิธี Transient flow ในโปรแกรมนี้จะแสดงผลเฉพาะแรงดันน้ำในมวลดินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งแรงดันน้ำจะส่งผลต่อความเค้นประสิทธิผลในมวลดิน โดยจะนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนความปลอดภัยของคันคลองต่อไปจากการวิเคราะห์ที่ต่อด้วย Limit Equilibrium Method (LEM) อีกหนึ่งขั้นตอนตลอด step time



รูปที่ 8 ผลวิเคราะห์เสถียรภาพจากการวิเคราะห์ Transient

5.3 Coupled Stress

การวิเคราะห์ความเค้น แรงดันน้ำและการทรุดตัว ด้วยวิธี Coupled Stress with Pore Water Pressure Change สามารถจำลองให้มีพฤติกรรมของการเกิดและการสลายของแรงดันน้ำซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเค้นประสิทธิผลและการทรุดตัวในเวลาเดียวกันด้วยวิธี Finite Element Method (FEM) จากการจำลองการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามรอบฤดูกาลด้วยวิธี Coupled stress analysis ในโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์เป็นความเค้นประสิทธิผลในมวลดิน ซึ่งอัตราส่วนความปลอดภัยของคันคลองจำเป็นต้องวิเคราะห์เสถียรภาพต่อด้วย Limit Equilibrium อีกหนึ่งขั้นตอนตลอด step time เหมือนกับวิธี Transient จึงจะได้ผลอัตราส่วนความปลอดภัย ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 อัตราส่วนความปลอดภัยในขณะระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา

6. การเปรียบเทียบอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, FS) จากการวิเคราะห์รูปแบบ Conventional Method และการวิเคราะห์โดยวิธี coupled stress analysis

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการวิเคราะห์เสถียรภาพของถนนริมคลอง

เงื่อนไข	วิธีวิเคราะห์	ระดับน้ำในคลอง	Factor of Safety (minimum)
Rapid Drawdown	LEM	ระดับน้ำต่ำสุด	1.49
Transient	LEM	ในรอบ 20 ปี	1.61
Coupled Stress	FEM	ในรอบ 20 ปี	1.40

7. บทสรุป

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามฤดูกาลที่อยู่ภายในคลองด้วยวิธีการจำลองทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้น-ลงตามฤดูกาล ด้วยการจำลองวิธี Coupled Stress มีผลทำให้แรงดันน้ำภายในมวลดิน (Pore water pressure) เพิ่มขึ้นสะสมตามเวลาไปเรื่อยๆ ซึ่งแรงดันน้ำภายในมวลดินดังกล่าวมีอิทธิพลโดยตรงกับกำลังรับแรงเฉือนภายในมวลดิน จึงเป็นผลทำให้ถนนริมคลองมีเสถียรภาพลดลงเป็นผลให้มีความเสี่ยงในการพิบัติเพิ่มขึ้น ส่วนการวิเคราะห์ conventional slope stability method จะได้ผลอัตราส่วนความปลอดภัยที่ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

เนื่องด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนมีความตบแน่นค่อนข้างสูงซึ่งมีสถานะใกล้เคียงกับ Undrained soil จึงทำให้การจำลองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำภายในมวลดิน (pore water pressure) และมวลดินใช้เวลามากในการเคลื่อนตัวจนเกิดการพิบัติของถนนคันคลอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมทางหลวงชนบท บริษัท ซีลาจีไอเทคนิค จำกัด และ บริษัท กรุงเทพจีไอเทคนิค จำกัด สำหรับข้อมูลผลการสำรวจและทดสอบชั้นดิน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทางหลวงชนบท. โครงการสำรวจออกแบบถนนทางหลวงชนบทเลียบบคลองชลประทานที่ 13 ฝั่งตะวันออก จังหวัดปทุมธานี
- [2] ก้องรัฐ นกแก้ว (2547). การศึกษาพฤติกรรมทางกลในระหว่างการก่อสร้างคันทางบนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] จันทรา ทองคำเกา (2541). รูปแบบการใช้น้ำในเขตคลองชลประทานรังสิตใต้. รายงานการวิจัย
- [4] เชิดพันธุ์ อมรกุล (2553). ฐานข้อมูลชั้นดินทางวิศวกรรมบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ (2558). การพิบัติของถนนริมคลองกรณีภัยแล้ง พ.ศ. 2558. *เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ*, หน่วยวิจัยการออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพีศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท(2556). แบบมาตรฐานงานทาง.
- [7] อภินิติ โชติสังกาศ (2555). กลศาสตร์ของดินไม่มีน้ำ. หจก. ฟรีวัน, หน้า 3-8