

การแก้ปัญหาการทรุดตัวของบริเวณคอสะพานเนื่องจากน้ำหนักของชั้นดินถม เหนื่อ Geofom

ชวลิต นาคบรรพตกุล¹, รัชพล หงษ์ประพันธ์², ทัศนัย แปะยอด³, บารเมศ วรธนะภูติ⁴

^{1,2,3} นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ จำลองชั้นดินบริเวณคอสะพานที่มี Geofom ซึ่งช่วยลดน้ำหนักของชั้นดินถม และศึกษาทดลองเปรียบเทียบการทรุดตัวของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่มี Geofom และทรายเป็นวัสดุถม และตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่มีทรายเป็นวัสดุถมเพียงอย่างเดียว โดยหาอัตราส่วนความหนาของชั้นทรายเหนื่อ Geofom ที่เหมาะสม จากหลักการแรงลอยตัว โดยได้อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ และเมื่อทดลองหาค่าการทรุดตัวพบว่า ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่ใช้ทรายเป็นชั้นดินถมมีค่าการทรุดตัว 0.499 mm. ส่วนตัวอย่างที่ใช้ Geofom และทรายเป็นชั้นดินถมโดยใช้อัตราส่วน Geofom และทรายจากการทดลองหาค่า Buoyancy Force มีค่าการทรุดตัว 0.438 mm. จึงทำให้ทราบว่า การใช้ Geofom แทนวัสดุถมสามารถลดการทรุดตัวได้

ABSTRACT : This project have a purpose to simulate soil layer at under bridge-neck that apply the geofom that may reduce the weight that the soil action to the under ground soil and compare the settlement above pure soil and soil that apply the geofom and find the appropriate ratio above grade soil and geofom that make the structure will not fail by buoyancy force so the appropriate ratio from experimentation is 0.6 and settlement value is .499 mm from pure soil sample and .438 mm. from apply geofom sample so the result can make sure that geofom can reduce the settlement.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของผิวทางบริเวณคอสะพาน เป็นปัญหาที่เกิดจากการยุบตัวที่ต่างกันของดินฐานราก ถึงแม้ว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมทางหลวง ได้กำหนดแบบมาตรฐานในการก่อสร้าง

โครงสร้างปรับการทรุดตัว หรือนักวิชาการ วิศวกรการทาง ได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหาคความไม่ต่อเนื่องของผิวทางบริเวณคอสะพาน เช่น ศึกษาถึงการนำวัสดุมูลเบามาใช้แทนวัสดุถมบริเวณเชิงลาดสะพาน ปัญหาการทรุดตัวต่างระดับบริเวณคอสะพานในระยะยาวก็ยังคงเกิดขึ้นเนื่องจากความซับซ้อนของปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ

คณะผู้จัดทำได้ตั้งสมมติฐานขึ้นว่าการทรุดตัวต่างระดับบริเวณคอสะพานในระยะยาวนั้น อาจเกิดจากการแก้ไขปัญหโดยการใช้ Geofom ซึ่งคือวัสดุมูลเบามาใช้แทนวัสดุถมบริเวณเชิงลาดสะพาน โดยในการออกแบบ และก่อสร้าง ต้องใช้ดินถมส่วนหนึ่งเพื่อถมเหนือ Geofom ปัจจัยหนึ่งคือ เพื่อป้องกันแรงลอยตัวของ Geofom ซึ่งปริมาณดินถมเหนือชั้น Geofom นั้น อาจจะมีมากเกินไป และก่อให้เกิดน้ำหนกกดทับมาก ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของคอสะพานในระยะยาวได้ จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแรงลอยตัวของ Geofom ที่นำมาใช้แทนวัสดุถม เพื่อหาอัตราส่วนของความสูงดินถมเหนือ Geofom ต่อความสูงของ Geofom นั้น และนำอัตราส่วนที่ได้มาทำการทดสอบเพื่อหาปริมาณการทรุดตัวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อแก้ปัญหการทรุดตัวบริเวณคอสะพานตามสมมติฐานที่ว่า อาจเกิดจากความหนาของชั้นดินถมเหนือ Geofom ที่มากเกินไป ซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำหนกกดทับมาก โดยการศึกษาทดลองเพื่อค่าแรงลอยตัวของ

Geofom ที่ใช้แทนวัสดุถม และสามารถหาความสูงที่เหมาะสมของดินถมเหนือชั้น Geofom ได้ จากนั้นจึงนำอัตราส่วนระหว่างดินถม และ Geofom ที่ได้จากการทดสอบค่าแรงลอยตัวมาทดสอบหาค่าการทรุดตัวของดินถม และ Geofom เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Geofom แทนวัสดุถม และกรณีที่ใช้ดินถมทั้งหมดโดยไม่ใช้วัสดุมูลเบาทดแทน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

Geofom ที่ใช้ศึกษาทดลองทั้งหมด มีความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นเดียวกันกับที่ใช้ในงานก่อสร้างที่ใช้วัสดุมูลเบาทดแทนดินถม ดินตัวอย่างที่ใช้จำลองเป็นดินได้ชั้น Geofom คือ clay และที่ใช้จำลองเป็นชั้นวัสดุถมคือ sand ของเหลวที่ใช้ทดสอบแรงลอยตัวของ Geofom คือ น้ำ การทดลองที่ใช้วิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวของทั้งสองกรณีได้นำหลักการบางส่วนมาจากวิธี

Consolidation Test



ภาพที่ 1 การทรุดตัวของสะพานในประเทศนอร์เวย์ (SveinAlfheim, 2011)



ภาพที่ 2 การทรุดตัวของคอสะพานทำให้ร้าวกันแตกแยกตัว (สมโพธิ อยู่ไว, 2554)

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การทดลองหาค่า Buoyancy Force

2.1.1 อุปกรณ์ที่สำคัญของการทดลอง Buoyancy ประกอบด้วย

1. Geofoam ขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 21 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตรพร้อมทำเครื่องหมาย
2. ตู้ปลาขนาด กว้าง 30.5 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 39 เซนติเมตร
3. ภาชนะใส่ทราย
4. ทราย
5. ชุดลวดร่อนใช้ตัดโฟม
6. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด .005 กิโลกรัม

2.1.2 ขั้นตอนการทดสอบการหาแรงลอยตัว

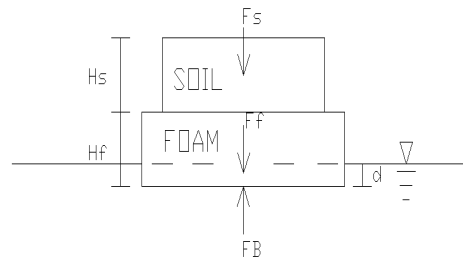
1. นำโฟมตัวอย่างมาทำการตัดด้วยลวดร่อนจนได้ขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 21 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร
2. ทำเครื่องหมายที่โฟมบริเวณขอบ เป็นระยะห่างทุกๆ 1 เซนติเมตร
3. นำโฟมวางลงบนผิวน้ำ และนำภาชนะใส่ทรายวางลงบน โฟมที่เตรียมไว้
4. นำทรายที่เตรียมไว้ ใส่ลงในภาชนะใส่ทรายจนกระทั่ง

น้ำหนักของทรายได้กดทับลงบนแผ่น โฟมจนกระทั่งแผ่นโฟมจมลงในน้ำจนถึงบริเวณที่ทำเครื่องหมายไว้

5. นำทรายในภาชนะไปทำการชั่งน้ำหนัก และจัดบันทึกน้ำหนักของทรายถม

6. หลังจากการชั่งน้ำหนัก นำทรายและภาชนะมาวางลงบนแผ่นโฟมอีกครั้ง ทำตามขั้นตอน ที่ 4 และ 5 ขึ้นมาจนกระทั่งครบทุกระยะที่ทำเครื่องหมายไว้บนโฟม

2.1.3 ผลการทดลองหาค่า Buoyancy Force



ภาพที่ 3 แผนภาพอิสระของ Buoyancy Force

$$F_s + F_f = F_b$$

$$\rho_s V_s g + \rho_f V_f g = \rho_w V_d g$$

$$\rho_f = \frac{(\rho_w V_d g - \rho_s V_s g)}{V_f g}$$

หาค่าอัตราส่วนดินถม

$$\rho_s V_s = M_s$$

$$\rho_s (W \times L \times D) = M_s$$

$$\text{จาก } \rho_s (A_f \times D) = M_s$$

หากสมมติว่าทำการเกลี่ยดินให้สม่ำเสมอและหน้าตัดเท่าโฟมจะได้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหา Buoyancy Force และ

อัตราส่วน Geofoam กับดินถมที่เหมาะสม

ความลึกของโฟมที่จมน้ำ	ปริมาตรทั้งหมด cm ³	ครั้งที่ 1 (g)	ครั้งที่ 2 (g)	ครั้งที่ 3 (g)	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนาแน่นดิน (cm)	อัตราส่วนความสูงดินต่อความลึกทั้งหมด (cm)	foam density
1	300	263.93	264.01	263.97	263.97	0.533272727	0.533272727	24.02
2	600	568.89	568.89	568.9	568.8933333	1.149279461	0.574639731	20.737777
3	900	865.21	865.22	865.21	865.2133333	1.747905724	0.582635241	23.191111
4	1200	1166.92	1166.87	1166.87	1166.886667	2.357346801	0.5893367	22.075555

2.2 การทดลองหาค่าการทรุดตัวของดินใต้

Geofoam เปรียบเทียบกับดินแบบเดิม

2.2.1 อุปกรณ์ที่สำคัญของการทดลองวัดค่าการทรุดตัว

1. ตู้ปลาขนาด กว้าง 30.5 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 39 เซนติเมตร
2. ครอบอะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร จำนวนสองท่อน
3. แผ่นอะคริลิกใสเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9.5 เซนติเมตร จำนวน 5 แผ่น
4. ดินเหนียวจากชั้นดินในกรุงเทพฯ
5. ทรายถมเปียก
6. น้ำ
7. แท่งเหล็ก 2 หุน ยาว 50 เซนติเมตร จำนวนสองแท่ง
8. เครื่องมือต่างๆ
 - เครื่องมือเจาะรูขนาด 2 หุน
 - เครื่องมือตัดพลาสติก
 - กาวประสานอะคริลิก
9. แผ่นน้ำหนัก 10 กิโลกรัม 2 แผ่น
10. แท่งโฟมทรงกระบอกสูง 15 เซนติเมตร
12. ฝักอชชนิดแผ่นชนิดม้วน
13. Dial gauge พร้อมชุดขาตั้งจำนวนสองชุด

14. แท่นวางน้ำหนัก ทำจากปูนปลาสเตอร์จำนวนสองชุด

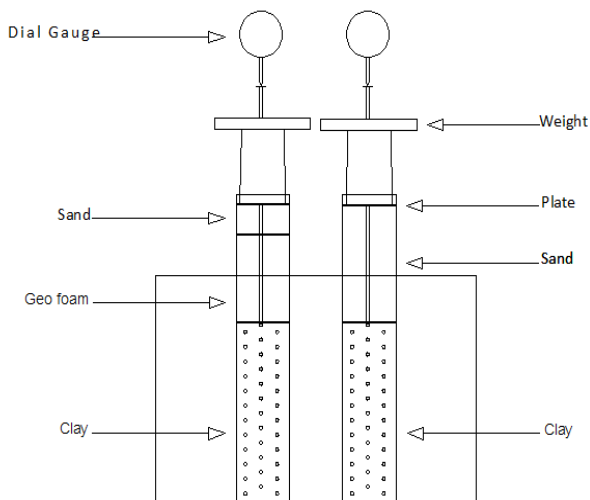
2.2.2 ขั้นตอนการทำการทดสอบการทรุดตัวของชั้นดินใต้ Geofoam

1. ทำการจัดเตรียมกระบอกลใส่ดินโดยการเจาะรูที่ท่ออะคริลิกโดยรอบแบ่งเป็น 5 แถวแถวละ 12 รูโดยให้ห่างกันในแต่ละแถวละ 1 นิ้ว
2. ทำการปิดปลายท่อด้วยแผ่นอะคริลิกโดยใช้กาวประสาน
3. นำฝักอชที่เตรียมไว้มาปิดรูที่ทำการเจาะไว้แล้ว เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ดินไหลออกมาระหว่างทำการทดลอง
4. นำตัวอย่างดินที่ได้มาผสมน้ำจนมีลักษณะเป็นเลนใช้เทได้ และจึงนำไปกรอกลงในกระบออะคริลิกทั้งสองเพื่อทำให้ดินจากทั้งสองกระบอามีสภาพเหมือนกัน และมีช่องว่างน้อยที่สุด
5. ใช้แผ่นน้ำหนักทำการกดดินทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้ดินเกิดการคายน้ำของดินเหนียว และเพื่อให้เนื้อของดินเหนียวแน่นขึ้น
6. จัดทำก้านวัดระดับ โดยนำแผ่นอะคริลิกมาเจาะรูและร้อยแท่งเหล็ก 2 หุนไว้ตรงกลางและใช้กาวยึดไว้ และเจาะรูแผ่นอะคริลิกทุกแผ่นเพื่อจะได้ร้อยแท่งเหล็กทะลุได้ตลอด
7. นำดินเหนียวที่ได้ทำการไล่น้ำออกไปแล้ว มาจำลองสภาพจริง โดยกระบอแรกทำการใส่แผ่นอะคริลิกที่ติดก้านวัดเหนือชั้นดินเหนียวและตามด้วย ชั้นของ Geofoam ลงไปแล้วกั้นด้วยแผ่นอะคริลิกจากนั้น ถมโฟมด้วยทราย ส่วนกระบอที่สองให้ใช้ทรายถมจนทั้งสองกระบอามีชั้นทรายสูงเท่ากัน โดยกั้นดินแต่ละชั้นด้วยแผ่นอะคริลิก และวางแท่นรับน้ำหนักปูนปลาสเตอร์

8. นำ Dial guage มาติดตั้งไว้กับก้านวัดเพื่อทำการวัดค่า เฉพาะการทรุดตัวของระดับชั้นดินเหนียวโดยจะอ่านค่าได้จาก dial gauge

9. นำน้ำหนักที่เตรียมไว้มาบรรทุกลงบนแท่นวางน้ำหนักปูนปลาสเตอร์ ทั้งสองกระบอกและทำการอ่านและบันทึกค่าจาก Dial gauge ที่ติดไว้บริเวณปลายก้านวัด โดยอ่านค่าตามระยะเวลาตามทฤษฎี

Consolidation test



ภาพที่ 4 กระบอกใส่ดินหลังใส่แผ่นน้ำหนัก

2.2.3 ผลการทดลองหาค่าการทรุดตัวของดินได้

Geofoam เปรียบเทียบกับดินแบบเดิม

ตารางที่ 2 การทรุดตัวของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่มี

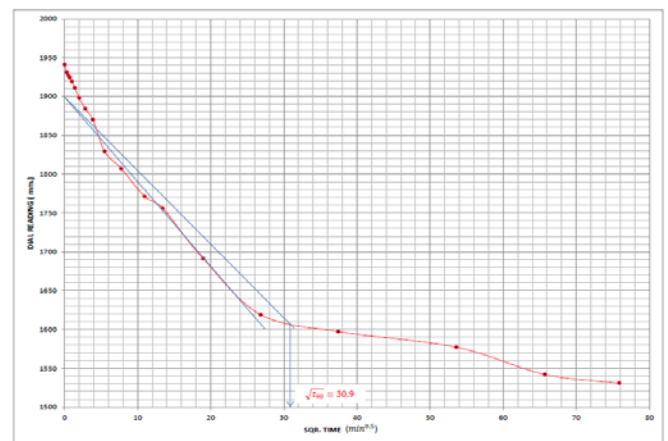
Geofoam และทรายเป็นชั้นดินถม

กระบอกใหม่				
DATE	TIME	ELAPSED TIME	SQR. TIME	DIAL READING(10^{-2} mm.)
	16.3	0	0	1941
		0.1	0.31	1931
		0.25	0.5	1927
		0.5	0.71	1924
		1	1	1919
		2	1.41	1911
		4	2	1898
		8	2.83	1884
		15	3.87	1870
		30	5.48	1829
		60	7.75	1807
		120	10.95	1771
		180	13.42	1756
		360	18.97	1691
		720	26.83	1619
		1440	37.94	1597
		2880	53.6	1572
		4320	65.73	1442

ตารางที่ 3 การทรุดตัวของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่มี

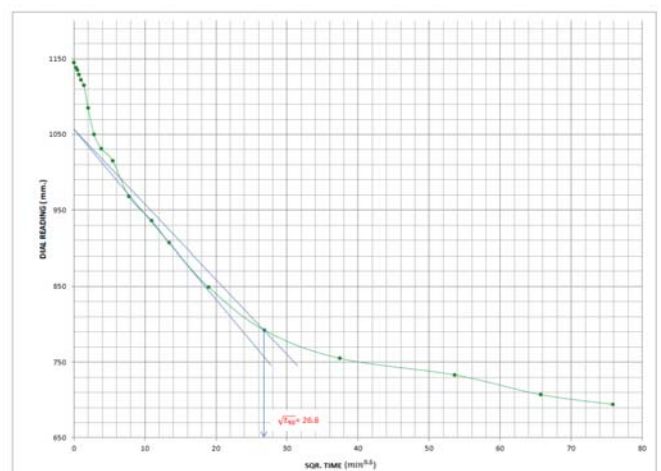
ทรายเป็นชั้นดินถม

กระบอกทราย				
DATE	TIME	ELAPSED TIME	SQR. TIME	DIAL READING(10^{-2} mm.)
	16.3	0	0	1145
		0.1	0.31	1138
		0.25	0.5	1135
		0.5	0.71	1129
		1	1	1122
		2	1.41	1115
		4	2	1085
		8	2.83	1050
		15	3.87	1031
		30	5.48	1015
		60	7.75	968
		120	10.95	936
		180	13.42	907
		360	18.97	849
		720	26.83	792
		1440	37.94	755
		2880	53.6	733
		4320	65.73	707



ภาพที่5 กราฟแสดงการทรุดตัวเทียบกับเวลาของ

ตัวอย่างที่ใช้ทรายเป็นชั้นวัสดุถม



ภาพที่6 กราฟแสดงการทรุดตัวเทียบกับเวลาของ

ตัวอย่างที่ใช้ Geofoam และทรายเป็นวัสดุถม

จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าค่าการทรุดตัวของตัวอย่างที่ชั้นทรายเป็นชั้นวัสดุถมเพียงอย่างเดียวมีค่า 4.51mm. และค่าการทรุดตัวของตัวอย่างที่ใช้ Geofom และทรายเป็นชั้นวัสดุถมมีค่า 4.09mm.

จากภาพที่ 5 และ 6 พบว่าค่า t_{90} ของตัวอย่างที่ใช้ทรายเป็นชั้นวัสดุถมเพียงอย่างเดียวมี 718.24 min. และค่า t_{90} ของตัวอย่างที่ใช้ Geofom และทรายเป็นชั้นวัสดุถมมีค่า 945.81 min

3. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่า Buoyancy force ของ Geofom ที่นำมาใช้เป็นวัสดุถมบริเวณใต้คอสะพาน โดยใช้ Geofom ที่มีความหนาแน่น 1.25 lb/ft³ ทำให้ทราบค่าอัตราส่วนความสูงของ Geofom ต่อความสูงของดินถมเหนือ Geofom ที่เหมาะสมที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหา Geofom ลอยขึ้นมาทำอันตรายต่อถนน เนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ซึ่งเกิดจากน้ำใต้ดิน มีค่าเท่ากับ 1:0.59 โดยนำค่าอัตราส่วนนี้ไปทำการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ เพื่อหาค่าการทรุดตัวของชั้นดินจำลองใต้คอสะพานซึ่งใช้ความสูงของ Geofom และดินถมเหนือ Geofom ที่ได้มาจากอัตราส่วนความสูงของ Geofom ต่อความสูงของชั้นดินถมดังกล่าว เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองชั้นดินใต้คอสะพานที่มีทรายเป็นชั้นวัสดุถมเพียงอย่างเดียว

จากการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำโดยใช้ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น มีค่า Water Content = 71.88%, Liquid Limit = 48.40%, Plastic Limit=27.39%, Plasticity Index (P.I.) = 21.01% และแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าค่าการทรุดตัวของตัวอย่างที่ใช้ Geofom และทรายเป็นชั้นวัสดุถมมี

ค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ชั้นทรายเป็นชั้นวัสดุถมเพียงอย่างเดียว ซึ่งตรงตามสมมติฐานว่าการใช้ Geofom แทนวัสดุถมบริเวณใต้คอสะพานโดยใช้อัตราส่วนความสูงของ Geofom ต่อความสูงของชั้นดินถมตามผลจากการทดลอง Buoyancy Force นั้น จะช่วยลดการทรุดตัวของชั้นดินบริเวณใต้คอสะพานได้ เนื่องจากการใช้ชั้นของ Geofom ซึ่งเป็นวัสดุถมเวลาเข้ามาแทนชั้นดินถม จะลดน้ำหนักที่กระทำต่อชั้นดิน จึงทำให้เกิดการทรุดตัวน้อยกว่าการใช้ดินถมเพียงอย่างเดียว

จากภาพที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าค่า t_{90} ของตัวอย่างที่ใช้ Geofom และทรายเป็นชั้นวัสดุถมมีค่ามากกว่าการใช้ทรายเป็นชั้นวัสดุถมเพียงอย่างเดียว เนื่องจากน้ำหนักที่กดทับในการใช้ดินถมเพียงอย่างเดียวจะมีค่ามากกว่าการใช้ Geofom เป็นวัสดุถม และเนื่องมาจากน้ำหนักที่มากกว่ากดลงไปบนชั้นดินเหนียวอ่อนจะทำให้ดินเกิดการอัดตัวคายน้ำได้เร็วกว่า

จากผลต่างๆที่ได้ทำการทดสอบได้ชี้ให้เห็นว่า Geofom เป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาแก้ปัญหาการทรุดตัวบริเวณคอสะพาน เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบากว่าดินถม ทำให้สามารถก่อสร้างได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้ดินถมเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ ดร.บารเมศ วรรณะภูดี ที่คอยชี้แนะและให้คำปรึกษาอันมีค่ากับคณะผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา

บรรณานุกรม

บารเมศ วรรณะภูดี, อภินิติ โชติสังกาศ, สรศักดิ์ เชี่ยวศิริกุล, กฤษณ์ เสาว์เวียง, อรุณ ปราบมาก และ คมพันธ์ จินดาวัฒน์. 2553. โครงการปรับปรุงการออกแบบและมาตรฐานโครงสร้างปรับการทรุดตัวบริเวณคอสะพาน. รายงานความก้าวหน้าของกรวิจัยครั้งที่ 2. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.