การศึกษาการรับแรงแบกทานของดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยซีเมนต์

สถาพร ด่อนแก้ว และ เชิดชนินทร์ หมดมลทิน*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุถมทางด้านกำลังรับแรงแบกทาน โดยได้สร้างคันดินมวลเบาขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 1.5 เมตร และทดสอบกำลังรับแรงแบกทานของดินในสนามด้วยวิธี Plate Bearing Test ตามมาตรฐาน ASTM D1194 ในการทดสอบครั้งนี้ใช้น้ำหนักต้านทานแบบคงที่ขนาด 3.5 ตัน ผลจากการทดสอบในภาคสนามนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับแรงแบกทาน จากนั้นเจาะเก็บตัวอย่างดินบริเวณคันดินทดลอง เพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์กำลัง สำหรับนำไปใช้วิเคราะห์และเปรียบเทียบโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) จากการศึกษาค่ากำลังรับแรงแบกทานของดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ (Plate Bearing Test) ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวกับแรงแบกทานของดิน จากการทดสอบภาคสนามทั้ง 2 แห่ง พบการวิบัติของดินเมื่อค่าการทรุดตัวเท่ากับ 20 และ 21 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีค่ารับน้ำหนักประลัยเท่ากับ 23 และ 24 ตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ มีค่ารับน้ำหนักบรรทุก 44 ตันต่อตารางเมตร เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสนาม พบว่ามีความสอดคล้องกัน และได้ผลตรงกับกำลังรับแรงแบกทานของดินในสนาม

คำสำคัญ : ดินซีเมนต์, กำลังน้ำหนักบรรทุก, ไฟไนต์เอลิเมนต์

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้ติดต่อ, อีเมล์ : kaew_kating@hotmail.com, chirdchaninm@yahoo.comรับเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2556 ตอบรับเมื่อ 19 มีนาคม 2557

The Research of Bearing Capacity of Cement treated soil admixed with Airfoam

Sathaporn Donkaew and Chirdchanin Modmoltin*

Abstract

This research is to study the bearing capacity of the cement treated soil admixed with air foam for applying as fill material. The lightweight embankment with 4 meters length, 4 meters wide and 1.5 meters high was instrumented. Accordind to ASTM D1194, Plate Bearing Test was conducted using 3.5 tons of dead load. Moreover, the relationship between loads and settlements was illustrated. Thereafter, the samples of soil around the embankment area were collected to find the strength parameters for analyzing and comparing with the finite element method (FEM). The results of the bearing capacity of the cement treated soil admixed with air form study are first, the steel plate that used for testing has settlement to 20 and 21 millimeter. Second, the maximum bearing capacity is equal to 44 tons per square meter. Finally, the ultimate strength is equal to 23 and 24 tons per square meter. The comparison between the result that uses finite elements method and result from the field shows that both of them have the same direction

Keywords : Soil Cement, Finite Element Method

Department of Civil and Environmental Technology, College of Industrial Technology
King Mongkut University of Technology North Bangkok.
* Corresponding author, E-mail: kaew_kating@hotmail.com, chirdchaninm@yahoo.com Received 26 November 2013, Accepted 19 March 2014

1. บทนำ

ปัจจุบันการก่อสร้างในเขตเมืองในกรุงเทพและเขตเทศบาลของจังหวัดต่างๆ ขยายตัวเป็นปริมาณมาก ซึ่งพื้นที่ก่อสร้างส่วนมากอยู่ในระดับต่ำจึงจำเป็นต้องถมดินก่อน เพื่อให้มีความสูงจากระดับเดิมหรือระดับถนน เพื่อป้องกันปัญหาน้ำท่วม และการทรุดตัวในอนาคต ตลอดจนเป็นการวางแผน เพื่อรองรับการก่อสร้างถนนใหม่ที่สูงขึ้นกว่าระดับถนนเดิม ในการออกแบบเพื่อก่อสร้างงานทางด้านวิศวกรรมโยธาทุก เช่น การก่อสร้างถนน อาคารบ้านเรือน และ เขื่อน ตลอดจนโครงสร้างอื่นที่ทำการก่อสร้างบนผิวดิน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินบริเวณที่จะทำงานก่อสร้าง เพื่อใช้ในการออกแบบฐานรากของอาคารหรือโครงสร้าง การศึกษาคุณสมบัติของดินนั้น จะต้องเก็บตัวอย่างดิน เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของดินทั้งในห้องปฏิบัติการและดินในสนาม

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการปรับปรุงคุณภาพดินเชิงวิศวกรรมได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงโดยวิธีเคมีหรือชีวภาพ เช่นการใส่สารซีเมนต์ลงไปผสมในดินหรือการใช้จุลินทรีย์บางประเภท เพื่อสร้างสารประกอบซีเมนต์หรือเรียกว่าไบโอซีเมนต์ [1]

การประยุกต์ใช้วัสดุถมดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยซีเมนต์ หรืออาจจะเรียกว่า “ดินซีเมนต์ผสมโฟมอากาศ” จึงเป็นอีกทางเลือกใหม่ ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุชนิดนี้จะมีน้ำหนักเบา นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีชื่อเรียกว่า SGM(Super Geo-Material) [2] เป็นวัสดุที่ได้จากดินโคลนเหลือจากการก่อสร้างและมีกำลังต่ำ จากนั้นผสมซีเมนต์ให้แข็งตัวขึ้น นำไปผสมกับโฟมอากาศให้มีน้ำหนักลดลงเป็นวัสดุทดแทนวัสดุถมที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ดี นอกจากนี้ยังมีการทดสอบว่าวัสดุชนิดนี้ช่วยลดแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวได้ดี การมีน้ำหนักเบาจึงทำให้ลดการทรุดตัวของดินบริเวณที่รองรับได้เป็นอย่างดี ซึ่งในปัจจุบันได้มีการวิจัยร่วมกันระหว่างของกรมทางหลวงของไทยกับประเทศญี่ปุ่น โดยการนำวัสดุดินซีเมนต์ผสมโฟมอากาศไปเป็นวัสดุถมบริเวณคอสะพานและคันดินถมซึ่งช่วยลดการทรุดตัวได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำวัสดุดินซีเมนต์ผสมโฟมอากาศมาใช้เป็นวัสดุถมที่ใช้ปรับระดับพื้นที่ซึ่งมีกำลังต่ำกว่าวัสดุถมคอสะพาน โดยการลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ นอกจากนั้น ยังทำการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าลอยและเพิ่มปริมาณโฟมอากาศ [3]

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการถมดินที่ปราศจากการบดอัดดิน เนื่องจากวัสดุที่ใช้อยู่ในลักษณะกึ่งของเหลว ดินเหนียวที่ใช้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงเป็นการใช้วัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์ แล้วยังจะช่วยลดปริมาณการใช้ดินถม จึงเป็นการลดการใช้ทรัพยากรดินอย่างสิ้นเปลือง ลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งดินถม เกิดการประหยัดพลังงานที่เป็นปัญหาใหญ่ในปัจจุบัน ทั้งยังช่วยลดราคาค่าถมดินซึ่งส่งผลโดยตรงกับสภาวะเศรษฐกิจโลกในปัจจุบัน ทำให้เกิดการกระตุ้นอุตสาหกรรมการก่อสร้างเพิ่มยิ่งขึ้น ก่อให้เกิดผลประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม

2. น้ำหนักบรรทุกของดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยซีเมนต์ในภาคสนาม

2.1 ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมของดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยซีเมนต์

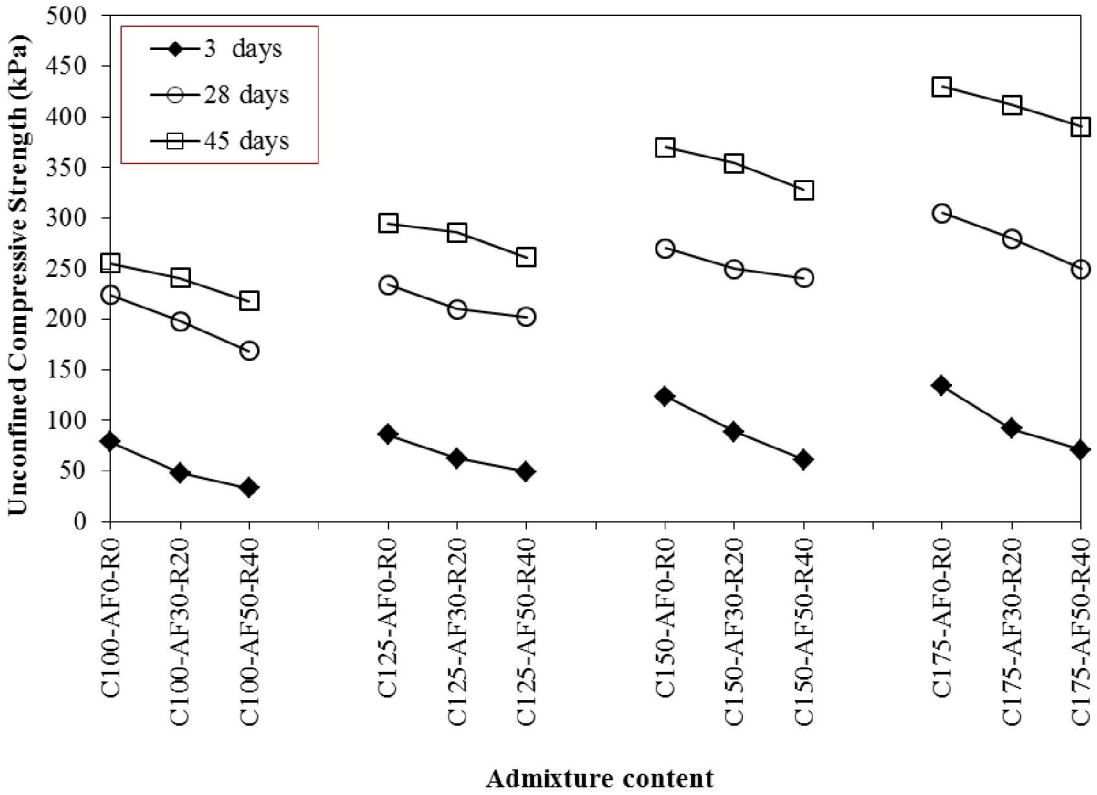
ดินที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นดินเหนียวกรุงเทพ ปั่นจนเป็นน้ำโคลนเก็บตัวอย่างในถัง และเตรียมน้ำยาเคมีชนิดสารเพิ่มฟองอากาศ (Foaming Chemical Agent) มาผสมผ่านเครื่องผลิตโฟม กับน้ำในอัตราส่วน 1:30 (ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ) กวนให้เข้ากัน แล้วเทลงในเครื่องผสมโฟมจนปริมาณเนื้อโฟมออกมาอย่างสม่ำเสมอ ตรวจสอบหน่วยน้ำหนักของโฟมให้มีอัตราส่วนปริมาตรต่อหน่วยน้ำหนักโฟมอยู่ในช่วง20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม จากนั้นผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วผสมโฟมอากาศจนเนื้อโฟมเข้ากันเป็นอย่างดี ในการวิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนผสมที่แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมที่ทำการศึกษา

ตัวอย่าง	ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อปริมาตรดินเปียก (กก./ลบ.ม)	เปอร์เซ็นต์ฟองอากาศต่อปริมาตรดินเปียก	เปอร์เซ็นต์เถ้าลอยต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์
C100-AF0-R0	100	0	0
C100-AF30-R20	100	30	20
C100-AF50-R40	100	50	40
C125-AF0-R0	125	0	0
C125-AF30-R20	125	30	20
C125-AF50-R40	125	50	40
C150-AF0-R0	150	0	0
C150-AF30-R20	150	30	20
C150-AF50-R40	150	50	40
C175-AF0-R0	175	0	0
C175-AF30-R20	175	30	20
C175-AF50-R40	175	50	40

หมายเหตุ : C = ปูนซีเมนต์ (Cement) AF = โฟมอากาศ (Air Foam) R = เถ้าลอย (Fly Ash)

จากการนำเถ้าลอยมาผสมแทนปูนซีเมนต์ พบว่าเมื่ออายุบ่มที่น้อย (3 วัน) ความสามารถในการรับแรงอัดของดินเหนียวที่ผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าเถ้าลอยที่ผสมซีเมนต์ค่อนข้างมาก แต่เมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะใกล้เคียงหรือมากกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Siliceous) (ในทางคอนกรีตจะเรียกว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน) ที่สัดส่วนปริมาตรปูนซีเมนต์ 175 (กก./ลบ.ม.) สามารถรับกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดผ่านมาตรฐานงานดินถมของกรมทาง ดังแสดงในรูปที่ 1

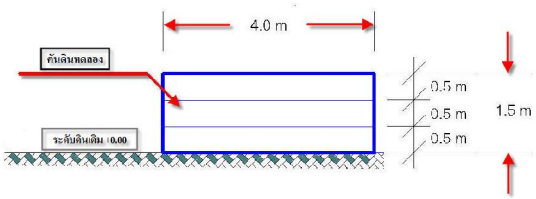


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด กับอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาการบ่มที่มีอายุการบ่ม 3 28 และ 45วัน [4]

จากการทดลองกำลังรับแรงอัดของดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์โดยมีเถ้าลอยแทนที่ จะมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียวเนื่องจากอายุการบ่มที่น้อย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นยังอยู่ในช่วงของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น Calcium Ions ที่จะมาทำปฏิกิริยาปอซโซลานยังน้อยอยู่ ประกอบกับเมื่อมีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแล้วทำให้ปริมาณของซีเมนต์ลดลง ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นจึงน้อยกว่าตามไปด้วยเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น Calcium Ions ที่ผลิตออกมามากขึ้น ปฏิกิริยาปอซโซลาน จึงเกิดมากขึ้น ทำให้กำลังรับแรงอัดของดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์โดยมีเถ้าลอยแทนที่มีค่ามากขึ้น และเริ่มใกล้เคียงกับกำลังของดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียวที่อายุการบ่ม 28 วัน และมีแนวโน้มที่จะพัฒนากำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่อายุการบ่ม 45 วัน มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าลอยดังที่กล่าวไว้ในช่วงแรก

2.2 ขั้นตอนการสร้างคันดินทดลอง

ในการศึกษานั้น เนื่องจากพื้นที่ในการก่อสร้างคันดินทดลองมีขนาดเล็กและมีการรบกวนของการจราจรในบริเวณใกล้เคียง ผู้วิจัยจึงป้องกันปัญหาดังกล่าวโดยเว้นระยะ 8 เมตรจากถนนใกล้เคียง คันดินทดลองมีขนาด ความกว้าง 4 เมตร ความยาว 4 เมตร และความสูง 1.5 เมตร โดยใช้ดินเหนียวผสมปูนซีเมนต์ปรับปรุงด้วยโฟมอากาศ ทำการผสมและเทลงแบบ 3 ชั้น แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปหน้าตัดของคันดินทดลอง

การหาอัตราส่วนผสมของดินมวลเบาในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดสอบอัตราส่วนผสมหลายตัวอย่างในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งได้ส่วนผสมดินเหนียวอ่อนน้ำยาเคมี และปูนซีเมนต์ จากนั้นนำอัตราส่วนที่เหมาะสมกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมาใช้ ซึ่งอัตราส่วนผสมของดินมวลเบามีดังต่อไปนี้ ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อดินเหนียวเปียกเท่ากับ 175 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนระหว่างน้ำยาเคมีต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 30 โดยปริมาตร และสัดส่วนฟองอากาศต่อปริมาตรดินเปียกเท่ากับร้อยละ 50

หลังจากที่ทำการผสมดินโฟมซีเมนต์ และทำการเทเข้าแบบคันดินทดลองเป็นที่เรียบร้อย ทิ้งระยะเวลาเพื่อให้กำลังของดินโฟมซีเมนต์เพิ่มขึ้นตามเวลาที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 แสดงคันดินทดลองในภาคสนาม

2.3 ขั้นตอนการทดสอบ Plate Bearing Test

เลือกพื้นที่ที่จะทำการทดสอบแล้วทำการขุดหลุมตามขนาดที่มีความเหมาะสม (กว้างอย่างน้อย 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นเหล็กที่ใช้) การเตรียมหลุมต้องเตรียมหลุมเสร็จใหม่ๆ แล้วทำการทดสอบ เพื่อป้องกันผิวดินแห้ง หรือผิวดินแห้งก่อนการทดสอบ ควรขุดดินเก่าออกเล็กน้อยจนถึงผิวดินที่มีความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content) นำแผ่นเหล็กกลมทดสอบลงบนพื้นดินแล้วปรับให้ได้ระดับ ประกอบนั่งร้านหรือชุดอุปกรณ์ต้านทานแรงดันบนหลุมทดสอบ (น้ำหนักต้าน) โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่กึ่งกลางของแผ่นเหล็กทดสอบ ติดตั้งชุดการทดสอบ Plate Bearing Test ทำการทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักขึ้นต่อๆ ไปตามที่กำหนดไว้จนกระทั่งดินวิบัติ (ค่าทรุดตัวมีค่ามากกว่า 25 มม.) หยุดทำการทดสอบ ลดแรงกดลงเป็นศูนย์ อ่านค่าคืนตัว (Rebound) โดยการทดสอบนั้นเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1194 [5]

รูปที่ 4 การทดสอบ Plate Bearing Test

รูปที่ 5 น้ำหนักต้านทานของการทดสอบ

รูปที่ 6 การใช้ลูกปูนเป็นน้ำหนักต้านทาน

2.4 ขั้นตอนการหาน้ำหนักต้านทาน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด จะได้ค่ากำลังของดิน ซึ่งสามารถนำมาปรับแก้กับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเหล็กกดทดสอบ จะได้ค่าน้ำหนักต้านทานคงที่ โดยมีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงการคำนวณ

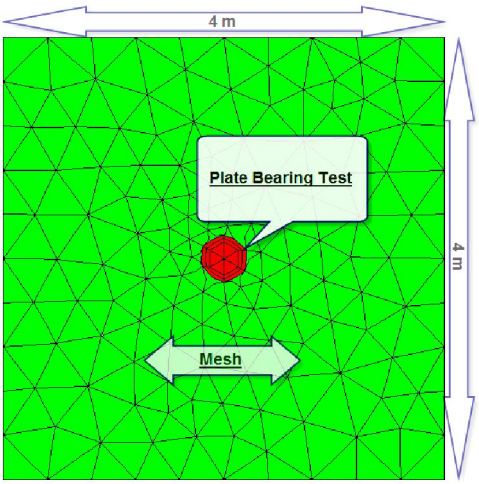
ช่องที่	รายการ	ขนาด	หน่วย
①	ค่ากำลังของดิน	2.8	kg/cm^2
②	พื้นที่หน้าตัดแผ่นเหล็ก	707	cm^2
① × ②	น้ำหนักต้านทาน	1980	kg
④	น้ำหนัก.ลูกปูน	6	kg
③/④	ใช้ลูกปูนทั้งหมด	330	ลูก

หมายเหตุ : งานวิจัยนี้ใช้ลูกปูนเป็นตัวทำน้ำหนักต้านทาน

3. การวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

คันดินทดลองที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และโฟมอากาศ และวางอยู่บนชั้นดินที่ทำการบดอัดแล้ว จะถูกจำลองด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยวิเคราะห์ให้เป็นแบบ 3 มิติ สำหรับรูปการแบ่งชิ้นส่วนย่อย (Mesh) แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งทางโปรแกรม PLAXIS 3D จะทำการแบ่ง Node โดยอัตโนมัติ [6]

การวิเคราะห์จะพิจารณาในสภาพที่ไม่มีการระบายน้ำ โดยจะพิจารณาการรับน้ำหนักบรรทุกของดินซีเมนต์ในแนวดิ่งเท่านั้น พร้อมทั้งจำลองการวิเคราะห์เมื่อเกิดการรับน้ำหนักบรรทุกแต่ละครั้ง โดยให้น้ำหนักเช่นเดียวกับที่ได้ทำการทดสอบ Plate Bearing Test



รูปที่ 7 การแบ่งชิ้นส่วนย่อย (Mesh) แบบ 2 มิติ ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

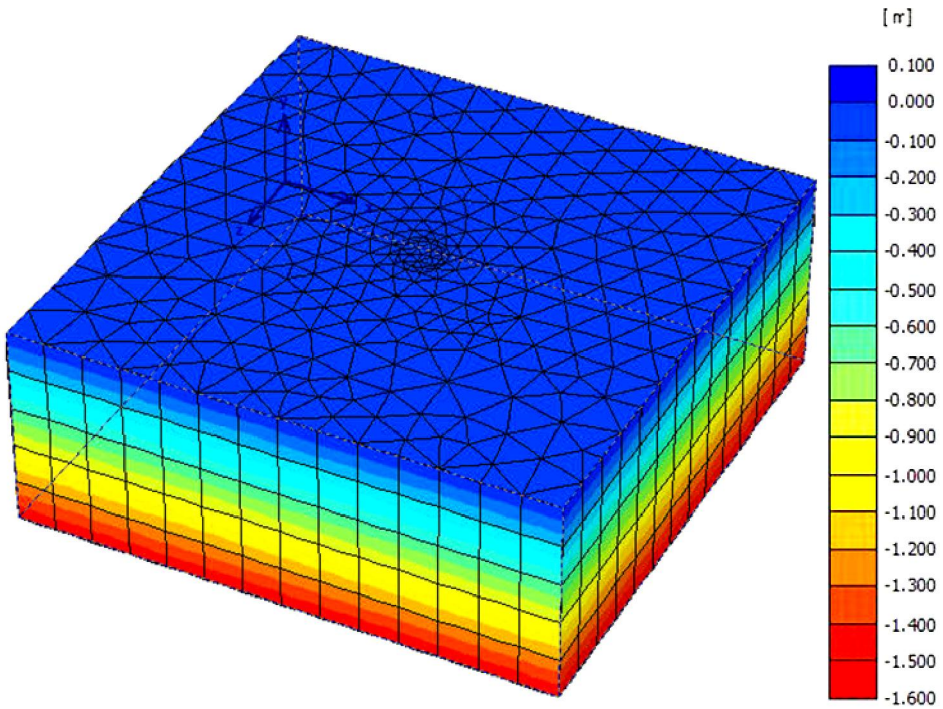
3.1 แบบจำลองที่แสดงถึงพฤติกรรมของวัสดุ (Material Behavior Models)

แบบจำลองที่สามารถเลือกใช้เพื่อจำลองพฤติกรรมของดินโฟมซีเมนต์ได้ คือ แบบจำลองของมอร์คูลอมป์ ส่วนค่าพารามิเตอร์ของแรงยึดเกาะและค่ามุมเสียดทานสามารถหาได้จากการทดสอบการรับแรงเฉือนตรง (Direct Shear Test) ค่าพารามิเตอร์ของโมดูลัสการยืดหยุ่นได้มาจากการผสมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการทดลองโดยมีอัตราส่วนผสมตามข้างต้นที่กล่าวไว้ และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด [3] โดยสมมติค่าอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 3 ค่า Parameters ต่างๆ ของดินโฟมซีเมนต์

Parameter	Lightweight Cemented	Unit
Model	Morh Coulomb	-
Type	Undrained	-
γ_{unsat}	17	kN/m^3
γ_{sat}	20	kN/m^3
E_{ref}	13000	kN/m^2
ν	0.35	-
C_{ref}	30	kN/m^2
φ	35	°

หมายเหตุ: ค่า Parameters ของดินโฟมซีเมนต์ ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อดินเหนียวเปียกเท่ากับ 175 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, อัตราส่วนระหว่างน้ำยาเคมีต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 30 โดยปริมาตร, และสัดส่วนฟองอากาศต่อปริมาตรดินเปียกเท่ากับร้อยละ 50



รูปที่ 8 การแบ่งชิ้นส่วนย่อยๆ (Mesh) แบบ 3 มิติ ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 4 ตารางน้ำหนักและการทรุดตัว

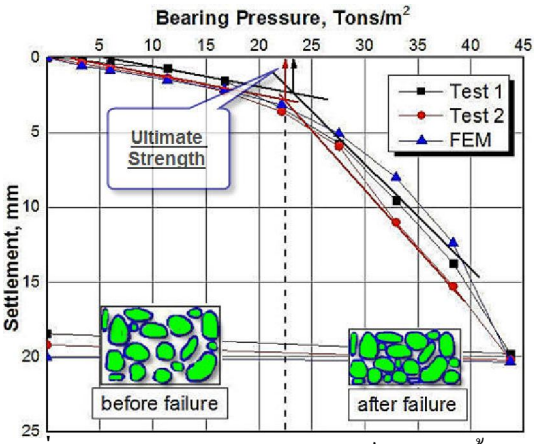
No.	Pressure (kN/m^2)	Settlement 1* (mm)	Settlement 2* (mm)	Settlement FEM** (mm)
1	0	0	0	0
2	32	0.14	0.18	0.56
3	59	0.42	0.47	0.84
4	111	0.71	0.80	1.5
5	164	1.53	1.72	2.15
6	217	3.38	3.50	3.16
7	270	5.71	5.93	5.07
8	323	10.11	11.00	8.01
9	376	13.73	14.27	12.39
10	429	19.79	20.22	20.32
Unload	0	18.43	19.19	20.02

หมายเหตุ : *ค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม **ค่าที่ได้จากการโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบในภาคสนาม

จากการทดสอบการรับน้ำหนักสูงสุดของดินทั้ง 2 หลุม ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นพฤติกรรมในการรับน้ำหนักของดิน พบว่าพฤติกรรมในการรับน้ำหนักที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อดินยังไม่วิบัติค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กจะมีค่าที่น้อย แต่เมื่อดินถึงจุดวิบัติแล้วค่าการทรุดของแผ่นเหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดิน รวมไปทั้งค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กที่จุดวิบัติ (Critical Settlement) ได้อย่างชัดเจน แสดงดังตารางที่ 4

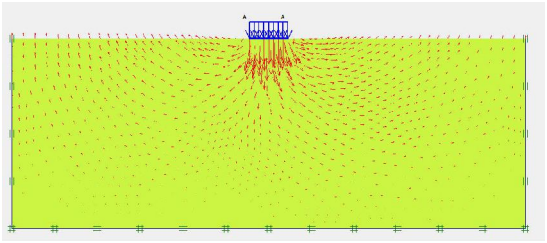


รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระยะการทรุดตัว

ผลที่ได้รับจากการทดสอบ Plate Bearing Test สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดกับการให้น้ำหนัก จากตารางที่ 2 พบว่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของทั้ง 2 หลุม มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีค่าที่แตกต่างเพียงเล็กน้อย สาเหตุและปัจจัยอันเนื่องมาขั้นตอนจากการผลิตและการเทดินซีเมนต์เหลวลงไปในคันดินทดลอง

4.2. ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์และคำนวณผลทางโปรแกรมไฟไนต์-เอลิเมนต์ โดยใส่ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นพฤติกรรมในการรับน้ำหนักของดินดังต่อไปนี้



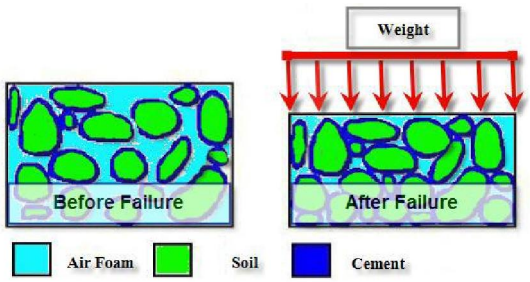
รูปที่ 10 เมื่อมีแรงมากระทำกับดิน

จากการทดสอบกำลังรับแรงแบกทานของดินโฟมซีเมนต์ของคันดินในสนามและโปรแกรมไฟไนต์เอลิ-เมนต์นั้น พบว่าค่าการทรุดตัวมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบการผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดสอบในสนาม พฤติกรรมการทรุดตัวในช่วงแรกนั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากวัสดุมีคุณสมบัติแบบอีลาสสติก แต่เมื่อผ่านจุดที่วิบัติของดินไปแล้ว พบว่าค่าการทรุดในสนามมีค่าทรุดตัวลงมากกว่าค่าการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากวัสดุที่เป็นดินผสมโฟมซีเมนต์นั้น ภายหลังจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินหรือแรงเชื่อมประสานของวัสดุไปแล้วพฤติกรรมโครงสร้างดินนั้นก็จะเกิดการยุบตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลที่ได้ต่างจากวิธีการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์

5. สรุปผล

ผลจากการศึกษาหาค่ากำลังรับแรงแบกทานของดินผสมโฟมอากาศปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ (Plate Bearing Test) ซึ่งได้ค่ามาจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของดิน พบว่าทั้ง 2 หลุมการทดสอบ มีการวิบัติที่การทรุดตัวลงเท่ากับ 19.79 และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่ารับน้ำหนักบรรทุก 43 ตันต่อตารางเมตร และมีค่ารับน้ำหนักประลัยเท่ากับ 23 และ 24 ตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 11 การทรุดตัวของดินเมื่อทำการทดสอบ Plate Bearing Test

ผลจากการวิเคราะห์ทางโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในช่วงต้นกราฟการทรุดตัวมีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับผลการทดสอบในสนาม ภายหลังจากจุดวิบัติไปแล้ว พบว่าค่าการทรุดในสนามมีมากกว่าค่าการทรุดตัวทางโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เนื่องจากโครงสร้างของวัสดุดินโฟมซีเมนต์นั้น จะยึดเกาะกันด้วยพันธะทางซีเมนต์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาคุรุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] K.Piriyakul and J.Iamchaturapatr, “Biocementation through Microbial Calcium Carbonate Precipitation” The Journal of Industrial Technology 9 (3), 2012, pp. 195-218

[2] Tsuchida, T. 1995 “Super Geo-Material” Project in coastal zone, Proceeding of International Symposium On Coastal Ocean Space Utilization COSU’95 Yokohama.

[3] K.Keawprasert, P.Rachuphimon and A.Dongsai, 2011 “The study of Cement treated Clay with Airfoam in the field” Bachelor Project Report, Department of Civil and Environmental Technology, College of Industrial Technology King Mongkut’s University of Technology North Bangkok. (in Thai)

[4] K. Khumyong, C. Waevdee and S. Wimoulchat, 2010 “Stabilization of Clay by using Cement mixed Air foam” Bachelor Project Report, Department of Civil and Environmental Technology, College of Industrial Technology King Mongkut’s University of Technology North Bangkok. (in Thai)

[5] ASTM D1194 – 94, Standard Test Method for “Bearing Capacity of soil for Static Load and Spread Footings”, 15 March 1994

[6] P.Wuttipaung, K.Petchgate and S.Prasertwinitkul “Finite Element Modeling of Full Scale Test Embankment on Cement Columm in Soft Clay”, The Journal of King Mongkut’s University of technology North Bangkok 14 (1), 2004, pp. 34-42. (in Thai)