การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของฐานรากตื้นบนดินลมหอบแบบขอนแก่นจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ

The Behavior of Shallow Foundation on Loess Subsoil from Physical Modeling

โกศวัต ช่างจัตุรัส (Kosawat Changjutturas) *
ดร.พงศกร พรรณรัตนศิลป์ (Dr.Pongsakorn Punrattanasin) **

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอผลการศึกษาพฤติกรรมและค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากตื้น บนดินลมหอบแบบขอนแก่น จากการทดสอบกับแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ภายใต้ชุดเครื่องมือทดสอบใหม่ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อใช้วิเคราะห์รูปแบบการวิบัติของดิน ซึ่งเครื่องมือสามารถจำลองการให้แรงกระทำต่อฐานรากชนิดต่างๆ ได้อีกด้วย จากความสัมพันธ์ของแรงและการเคลื่อนตัว สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่ากำลังแบกทานของดินได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำดินลมหอบแบบขอนแก่น ซึ่งมีปัญหาเรื่องการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นมาทำการศึกษาเป็นครั้งแรก โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ชุดทดสอบคือ ตัวอย่างแบบคงสภาพในสภาพความชื้นตามธรรมชาติ และในสภาพการเพิ่มความชื้น ผลการทดลองที่ได้แสดงค่ากำลังน้ำหนักของดินซึ่งจะลดลงเมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น และจากชุดทดสอบแบบโปร่งใสทำให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนตัว ซึ่งสามารถวิเคราะห์รูปแบบการวิบัติของมวลดินใต้ฐานรากได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ศึกษากับดินลมหอบที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์อีกด้วย โดยผลการทดสอบแสดงให้ว่าปูนซีเมนต์ได้ช่วยเพิ่มค่ากำลังน้ำหนักให้มากขึ้น

ABSTRACT

This research is to study the behavior and the bearing capacity of shallow foundation on loess subsoil. The study is performed only in the laboratory by using the 1g-physical modeling test. The new equipment was newly designed and developed in order to study the type of soil failure after performing the loading test. The load-settlement relationship from the test can indicate the bearing capacity of the soil. In this study, the Khon Kaen loess was selected as a first project in the use of this new equipment. The undisturbed samples were excavated from the field and to be tested under natural water content and under wet conditions. The results show that the addition water can dramatically reduce the bearing capacity of the loess and the image recorded during the test shows the shape of soil deformation under the shallow footing. The study also performed with the treated loess by adding the cement to the soil. The results show cement can dramatically increase the bearing capacity of the soil.

คำสำคัญ : ดินลมหอบ การวิบัติของดิน กำลังรับน้ำหนัก

Key Words : Loess soil, Soil failure, Bearing capacity

---

* *นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

** *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

บทนำ

ดินชั้นบนสุดในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าเป็นดินซึ่งเกิดจากการพัดพาโดยลม นิยมเรียกกันว่าดินลมหอบ (Loess) ดินชนิดนี้จะปกคลุมเป็นบริเวณกว้างในหลายจังหวัด ความหนาเฉลี่ยของชั้นดินนี้ประมาณ 5-6 เมตรจากระดับผิวดิน ดินลมหอบที่พบในตอนบนของภาคอีสานมักจะมีสีแดง โดยจะพบมากในจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดใกล้เคียง ชื่อเรียกมอดินแดงสำหรับมหาวิทยาลัยขอนแก่นก็มาจากสีแดงของดินลมหอบ ส่วนในตอนล่างเช่นในจังหวัดนครราชสีมา ดินลมหอบจะมีสีเหลือง (Phien-wej et al., 1992) หากจำแนกดินตามประเภททางวิศวกรรมจะพบว่าเป็นดินทรายละเอียดปนทรายแป้ง (Silty sand) จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าทั้งดินลมหอบสีแดงและเหลืองจะมีค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินน้อยมาก ความแข็งแรงหรือกำลังรับแรงเฉือนของดินจะมีค่าสูงมากเมื่อดินอยู่สภาพแห้ง แต่กำลังดังกล่าวจะลดลงอย่างมากเช่นกันเมื่อปริมาณความชื้นในดินสูงขึ้น การก่อสร้างอาคารส่วนใหญ่ในภาคตะวันเฉียงเหนือมักจะมีขนาดเล็กและไม่สูงมากนัก ดังนั้นฐานรากที่ใช้มักถูกออกแบบให้เป็นฐานรากตื้นที่มีระดับฐานรากตั้งอยู่บนดินลมหอบ ปัญหาที่พบบ่อยกับอาคารต่าง ๆ ที่มีฐานรากตื้นตั้งอยู่บนดินนี้ ก็คือมีการสูญเสียกำลังและเกิดการทรุดตัวขึ้นเมื่อดินมีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นในระดับที่ไม่เท่ากันในแต่ละฐานราก ปัญหาจะพบบ่อยกับการรั่วซึมของน้ำจากห้องน้ำไปยังฐานรากบางฐาน การแก้ปัญหาในปัจจุบันอาคารต่าง ๆมักจะหลีกเลี่ยงการก่อสร้างฐานรากตื้นบนดินลมหอบ แต่มักจะนิยมเลือกใช้เสาเข็มแทน แต่ปัญหาที่ตามมาของการใช้ฐานรากแบบเสาเข็มกับอาคารขนาดเล็ก ก็คือราคาค่าก่อสร้างจะเพิ่มสูงขึ้นมากตามไปด้วย ในหลายปีที่ผ่านมามีนักวิจัยจำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Punrattanasin et al., 2002 และ วัชรินทร์และอภิชิต, พ.ศ.2546) ได้ทำวิจัยโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการและทดสอบในสนาม เพื่อหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบนี้ ให้มีกำลังที่สูงขึ้นโดยสามารถลดอัตราในการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักลงได้ โดยการศึกษาพบว่าการนำดินลมหอบมาผสมกับเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มสูงขึ้น จากแนวคิดนี้หากมีการนำดินดังกล่าวไปใช้เป็นดินซึ่งรองรับฐานรากตื้นที่รับแรงไม่สูงมากนักก็อาจจะช่วยลดปัญหาการวิบัติได้และยังจะช่วยให้ค่าก่อสร้างอาคารลดลงได้ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้จัดทำขึ้น เพื่อศึกษาค่ากำลังรับน้ำหนักและพฤติกรรมของฐานรากตื้นที่ตั้งอยู่บนดินลมหอบในสภาพความชื้นปกติและในสภาพที่มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่จะทำการศึกษาเก็บมาจากในสนามแล้วจะถูกนำมาจำลองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เปรียบเสมือนเป็นชั้นดินลมหอบจริง นอกจากนี้ตัวอย่างดินลมหอบที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ ก็ถูกนำมาทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินธรรมชาติ ซึ่งจะเห็นความแตกต่างทางด้านกำลัง ผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการสามารถนำเสนอรูปแบบของการวิบัติของดินใต้ฐานรากได้อีกด้วย ดังนั้นจึงเป็นทางเลือดหนึ่งที่จะทำให้วิศวกรที่เกี่ยวข้องกับดินชนิดนี้สามารถแก้ไขปัญหาที่อาจจะพบในอนาคตได้เมื่อเข้าไปเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างบนดินชนิดนี้

วิธีการทดลอง

เพื่อศึกษาค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน และพฤติกรรมของดินที่เปลี่ยนไปใต้ฐานราก ผู้วิจัยจึงได้ทำการประดิษฐ์ชุดเครื่องมือทดสอบการให้แรงต่อฐานรากใหม่ขึ้นมา เพื่อใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยเครื่องมือชุดนี้ ถูกออกแบบภายใต้เงื่อนไขของความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือ โดยเน้นถึงความประหยัดในการสร้าง ได้มีการทำอุปกรณ์และเครื่องมือบางส่วนที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการหรือสามารถหาซื้อได้ในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ อีกทั้ง

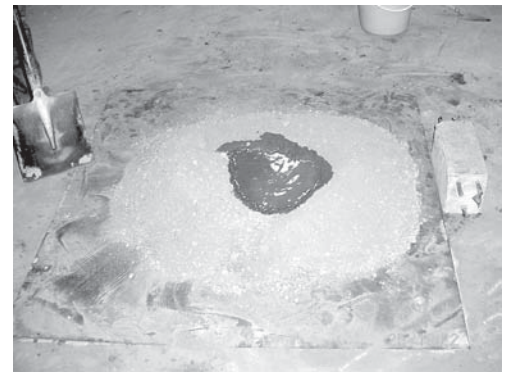
เครื่องมือนี้ยังต้องสามารถนำไปใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของดินและฐานรากชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย สำหรับวิธีการศึกษาสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ ดังต่อนี้

1. การเตรียมตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ตัวอย่างดินแบบคงสภาพที่เก็บในที่(Undisturbed sample) และตัวอย่างดินลมหอบที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ (Cement-treated soil)

ในตัวอย่างแต่ละชุดยังแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ คือที่ความชื้นธรรมชาติ (Natural water content condition) และในสภาวะการเพิ่มความชื้น (Wet condition) โดยตัวอย่างคงสภาพถูกเก็บในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อเก็บมาแล้วตัวอย่างดินจะถูกนำมาบรรจุในถังทดสอบ โดยจะทำการปรับแต่งระดับของผิวดินให้ราบเรียบก่อนจะนำฐานรากตื้นมาทำการทดสอบ โดยฐานรากที่ใช้จะเป็นแบบ Strip footing ซึ่งมีความกว้าง 5.0 ซม. และยาว 40.0 ซม. ส่วนตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ จะใช้ปริมาณซีเมนต์หนักเป็น 8% ของน้ำหนักดินแห้ง เข้าไปผสมกับน้ำที่ปริมาณความชื้นเท่ากับความชื้นธรรมชาติของตัวอย่างดินที่เก็บในที่ เพื่อที่จะสามารถควบคุมให้ความชื้นของการทดลองทั้ง 2 สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ โดยอัตราส่วนผสมของซีเมนต์นี้ได้มาจากผลการทดลองของกลุ่มผู้วิจัยในอดีต (วัชรินทร์และอภิชิต, พ.ศ.2546) โดยรูปที่ 2 เป็นรูปแสดงขณะผสมตัวอย่างดินแห้งกับซีเมนต์ด้วยความชื้นที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ส่วนรูปที่ 3 เป็นภาพแสดงการบดอัดตัวอย่างดินหลังจากได้ผสมตัวอย่างดิน ซีเมนต์และน้ำเข้าด้วยกัน ในตารางที่ 1 ได้สรุปคำอธิบายของการทดสอบทั้ง 4 ตัวอย่าง ในการจำลองสภาพการเพิ่มความชื้นได้ใช้สเปรย์ฉีดที่ผิวหน้าของตัวอย่าง โดยจะควบคุมปริมาณน้ำที่จะฉีดให้กับตัวอย่างแบบคงสภาพ และตัวอย่างที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้มีปริมาณเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อเตรียมตัวอย่างใส่เข้าไปในถังบรรจุตัวอย่างแล้วเสร็จ จะทำการติดตั้งหมุดวัดการเคลื่อนตัว เพื่อจะศึกษาการเคลื่อนที่ของมวลดินใต้ฐานราก หมุดจะติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ กันบนผิวหน้าของดิน หากมีการเคลื่อนตัวของหมุดเหล่านี้เมื่อเปรียบเทียบกับหมุดอ้างอิงภายนอกจะสามารถนำมาศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดินใต้ฐานรากได้ รูปที่ 5 ซึ่งเป็นตัวอย่างของดินที่ได้รับการติดตั้งหมุดวัดการเคลื่อนตัวแล้ว

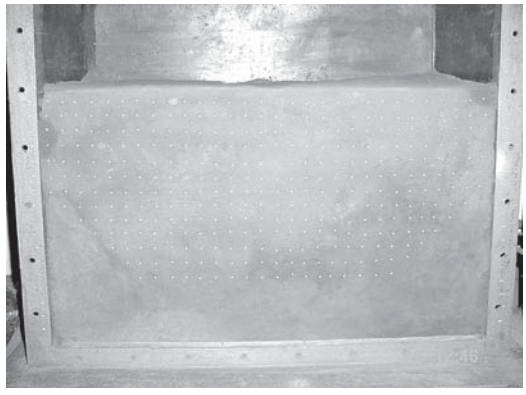
รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ



รูปที่ 2 การผสมดินแห้งเข้ากับปูนซีเมนต์

รูปที่ 3 การบดอัดตัวอย่างลงไปในถังบรรจุตัวอย่าง

รูปที่ 4 การเพิ่มความชื้นให้กับตัวอย่างดิน



รูปที่ 5 การติดตั้งหมุดวัดการเคลื่อนตัวที่ความลึกต่าง ๆ

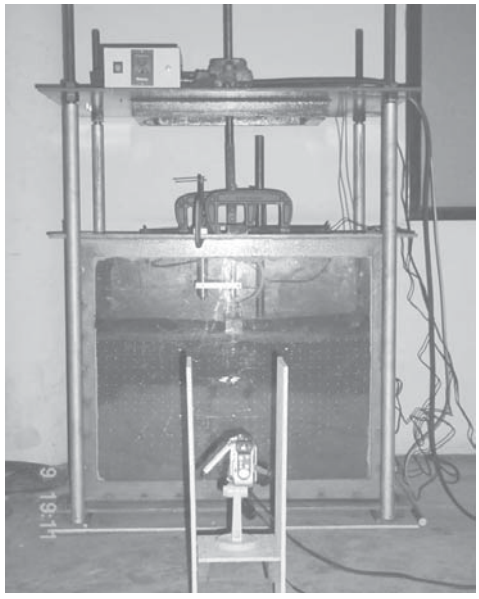
ตารางที่ 1 คำอธิบายการทดสอบต่าง ๆ

ชื่อการทดสอบ	คำอธิบาย
การทดสอบที่ 1	ตัวอย่างดินแบบคงสภาพในสภาวะความชื้นธรรมชาติ
การทดสอบที่ 2	ตัวอย่างดินแบบคงสภาพในสภาพการเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้น
การทดสอบที่ 3	ตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และบดอัดในสภาพความชื้นธรรมชาติ
การทดสอบที่ 4	ตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และบดอัดในสภาพการเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้น

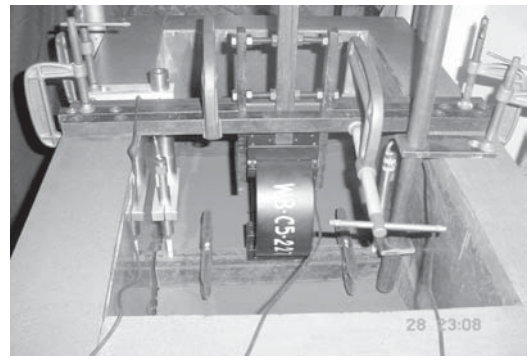
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ 1) ถังบรรจุตัวอย่างแบบโปร่งใส วัตถุประสงค์ของการใช้ถังแบบโปร่งใส ก็เพื่อจะทำให้สามารถมองเห็นและสามารถบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของดินได้ โดยสามารถนำมาวิเคราะห์รูปแบบการวิบัติของมวลดินได้ 2) ชุดอุปกรณ์ให้แรงและเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของฐานราก จะประกอบไปด้วยชุดมอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วหรืออัตราในการให้แรงที่ความเร็วต่าง ๆได้ ในการวัดค่าของแรงที่เกิดขึ้นจะใช้เครื่องมือวัดแรง (Proving Ring) ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ส่วนการเคลื่อนที่ของฐานรากจะใช้เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัว (LVDTs) 1 คู่วางบนฐานรากโดยจะวางไว้ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้และยังสามารถวัดการหมุนหากฐานรากมีการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของชุดเครื่องมือทดสอบ ส่วนในรูปที่ 7 ได้แสดงรายละเอียดของเครื่องมือวัดต่าง ๆ บนฐานรากซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือวัดแรงและการเคลื่อนตัว 3) ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพและประมวลผล ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ ในการทดลองนี้จะใช้ชุดวัดสัญญาณแบบพกพา (Portable Data Logger)

ซึ่งมีความละเอียดและแม่นยำสูงมาใช้ในการบันทึกค่าต่าง ๆ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ จะส่งผ่านไปยังเครื่องบันทึกอัตโนมัติในรูปแบบของการวัดสัญญาณแบบที่เกิดขึ้นจริงแบบทันท่วงที (Real Time Recording) ส่วนอุปกรณ์บันทึกภาพจะใช้กล้องวีดีโอในการบันทึกภาพการเคลื่อนตัวของมวลดิน ในขณะทำการทดสอบ ภาพที่บันทึกได้จะแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของดิน เมื่อมีแรงมากระทำที่เวลาต่าง ๆ โดยข้อมูลทั้งหมดจะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมจำนวน 2 ชุด คือ ชุดแรกใช้บันทึกค่าจากชุดวัดสัญญาณแบบพกพา (Portable Data Logger) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของฐานรากและแรงที่มากระทำ และอีกชุดจะใช้บันทึกภาพจากกล้องวีดีโอ ซึ่งจะได้ภาพขณะทำการทดสอบในทุกช่วงเวลา



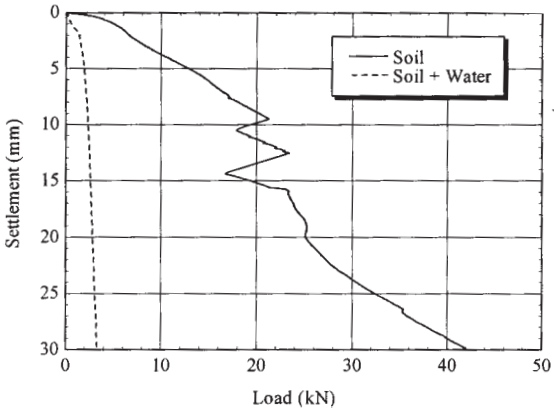
รูปที่ 6 ถังบรรจุตัวอย่างแบบโปร่งใสและอุปกรณ์ให้แรงในแนวดิ่งซึ่งประกอบไปด้วยชุดมอเตอร์



รูปที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงและการเคลื่อนตัว

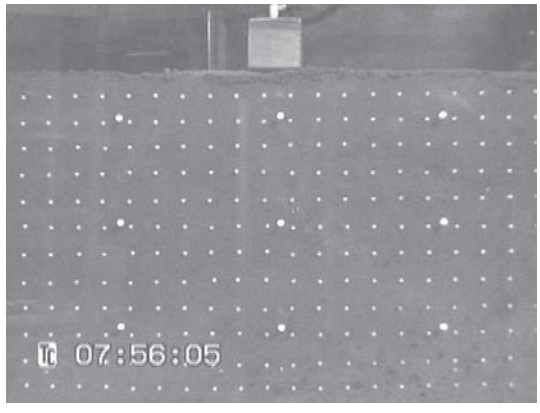
ผลการวิจัย

สำหรับตัวอย่างดินแบบคงสภาพ ที่ทดสอบในสภาพความชื้นตามธรรมชาติ จากการทดลองสามารถหาค่าแรงกระทำต่อฐานรากสูงสุด (Maximum load) ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวและแรงกด ดังแสดงในรูปที่ 8 จากกราฟสามารถหาค่าแรงกดสูงสุดก่อนเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินได้เท่ากับ 21 kN ซึ่งเกิดที่ระดับการทรุดตัว 9 มม. แต่ทั่วไปมักไม่นิยมใช้ค่าแรงสูงสุดไปใช้งานหากมีการทรุดตัวเกิดขึ้นมาก แต่จะใช้ค่าแรงที่การทรุดตัวที่ 10% ของความกว้างฐานราก (0.1B) แทน ซึ่งในการศึกษานี้ความกว้างของฐานรากคือ 50 มม. ซึ่งจะให้ค่าแรงเท่ากับ 13 kN เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน (Ultimate bearing capacity) ต่อไป จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีเส้นหยักหลายเส้นเกิดขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของแรง สาเหตุของรอยหยักเหล่านี้เกิดขึ้นจากการแตกร้าวของตัวอย่างเมื่อมีแรงกระทำสูงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้ชัดเจนจากภาพของดินหลังทำการทดสอบ โดยรอยแตกร้าวเหล่านี้เกิดขึ้นในลักษณะคล้ายกับการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต สำหรับตัวอย่างดินคงสภาพหากพิจารณาเบื้องต้นจะพบว่าจะมีความแข็งแรงมากและมีลักษณะคล้ายก้อนคอนกรีต โดยรูปก่อนและหลังทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงกดสามารถศึกษาได้จากรูปที่ 9 และ 10

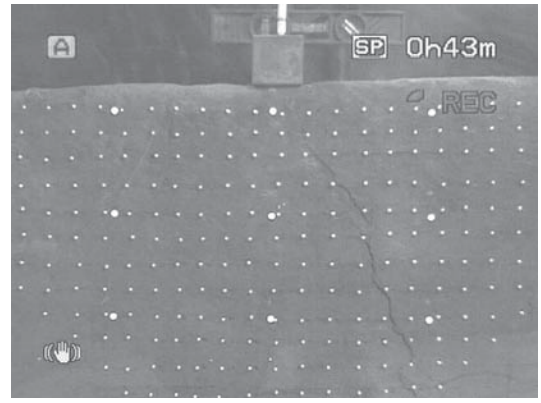


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Settlement ของตัวอย่างดินแบบคงสภาพ

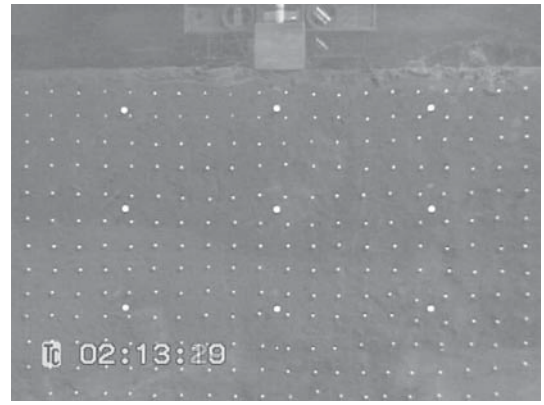
เมื่อนำก้อนตัวอย่างดินแบบคงสภาพใหม่มาทำการทดสอบ โดยก่อนเริ่มต้นได้เพิ่มความชื้นเข้าไปในตัวอย่างดิน เมื่อทำการทดสอบแล้วจะพบว่าค่าแรงสูงสุดที่ดินสามารถรับได้ โดยดูจากรูปที่ 8 มีค่าลดลงอย่างมากโดยค่าสูงสุดที่รับได้มีค่าประมาณ 3 kN หากวิเคราะห์ที่การทรุดตัว 0.1B ค่าแรงที่รับได้จะเหลือเพียง 2 kN ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า น้ำที่ใส่เข้าไปได้ไปทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินของดินลมหอบลง ทำให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินลดลง สำหรับภาพก่อนและหลังการทดสอบของตัวอย่างดินในสภาพเพิ่มความชื้น สามารถดูได้ในรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



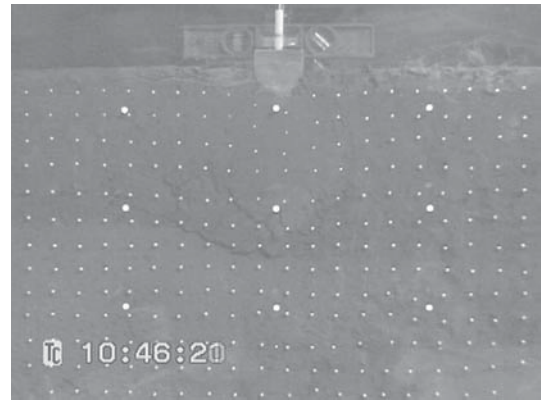
รูปที่ 9 ตัวอย่างดินคงสภาพความชื้นธรรมชาติก่อนเริ่มทำการทดสอบ



รูปที่ 10 ตัวอย่างดินคงสภาพความชื้นธรรมชาติหลังทำการทดสอบ

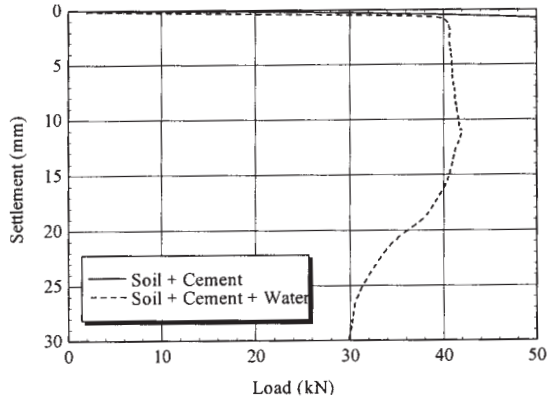


รูปที่ 11 ตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้รับการเพิ่มความชื้นก่อนเริ่มทำการทดสอบ

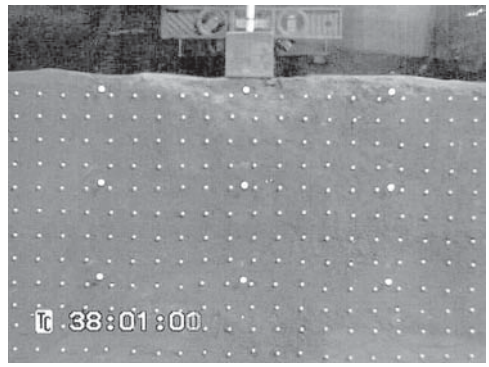


รูปที่ 12 ตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้รับการเพิ่มความชื้นหลังทำการทดสอบ

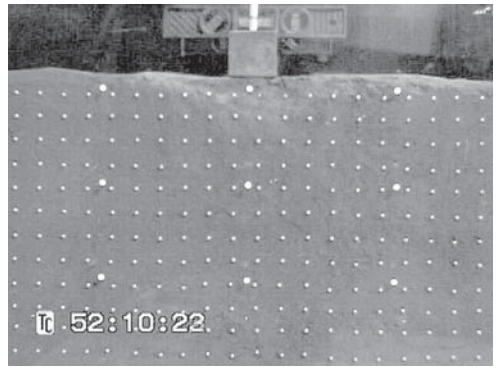
จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การเพิ่มปูนซีเมนต์เพียงแค่ 5-10% ของน้ำหนักดินแห้งสามารถช่วยให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มสูงขึ้น แต่การศึกษาที่ผ่านมาได้ทำเฉพาะการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนเท่านั้น ไม่มีผู้ใดได้ทำการศึกษาถึงค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเลย ดังนั้นในโครงการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำตัวอย่างดินที่ผสมซีเมนต์มาทำการศึกษาด้วย จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างของดินลมหอบ ที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ 8% ทำให้ค่าความต้านแรงที่กดเข้าไปกับตัวอย่างมีค่าสูงมากกว่า 50 kN ดังแสดงในรูปที่ 13 แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ออกแบบไว้ให้สามารถเพิ่มแรงกดได้เพียง 50 kN ทำให้ผลจากการทดสอบไม่สามารถหาค่ากำลังรับแรงสูงที่สุดของตัวอย่างดินผสมซีเมนต์นี้ได้ แต่จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่แรงกด 50 kN ค่าการทรุดตัวเกิดขึ้นเพียง 1 มม. เท่านั้น หลังจากนั้นได้นำตัวอย่างดินผสมซีเมนต์ชุดใหม่ มาทำการทดสอบแต่ก่อนเริ่มกดแรงลงไปที่ฐานราก ตัวอย่างดินซีเมนต์ได้รับการเพิ่มความชื้น ในปริมาณเดียวกับที่ได้ทดสอบกับตัวอย่างแบบคงสภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของซีเมนต์ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน โดยค่าแรงกดสูงสุดที่ดินรับได้ รับได้สูงถึง 41 kN ที่การทรุดตัว 2 มม. แต่เมื่อเพิ่มแรงให้มากกว่า 41 kN ดินไม่สามารถต้านทานแรงต่อไปได้อีกโดยดูจากการทรุดตัวที่เพิ่มมากขึ้น พฤติกรรมการรับน้ำหนักดูได้จากความสัมพันธ์ของการทรุดตัวและแรง สำหรับตัวอย่างนี้จะมีลักษณะคล้ายกับผลการทดสอบที่กระทำกับตัวอย่างของก้อนคอนกรีต รูปที่ 14-17 แสดงการเคลื่อนตัวของตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ เมื่อนำค่าการทรุดตัวและแรงกระทำต่อฐานรากของตัวอย่างดินทั้ง 4 ตัวอย่างมาเขียนรวมกันจะได้ดังแสดงในรูปที่ 18 ส่วนตารางที่ 2 ได้สรุปค่ากำลังน้ำหนักของดินในสภาวะต่างๆ ไว้ โดยมีค่ากำลังสูงสุดและค่ากำลังของดินที่การทรุดตัว 10% ของความกว้างฐานราก



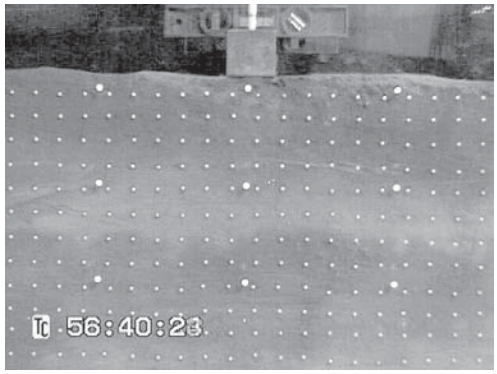
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Settlement ของตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์



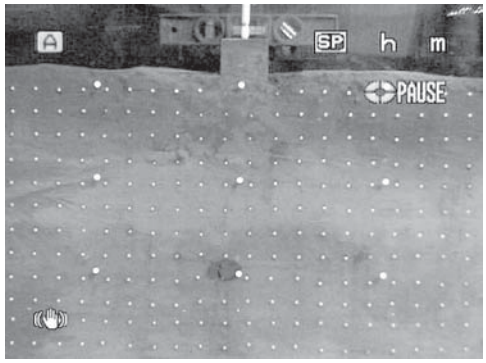
รูปที่ 14 ตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์สภาพความชื้นธรรมชาติก่อนเริ่มทำการทดสอบ



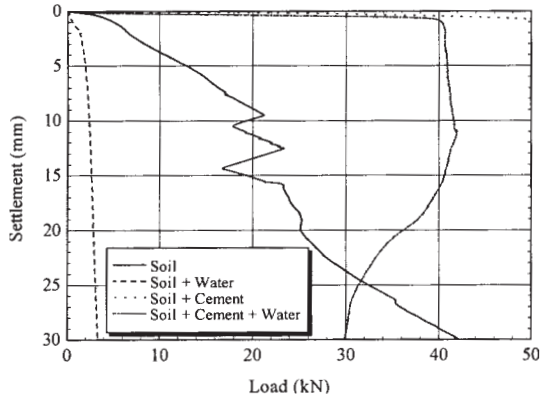
รูปที่ 15 ตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์สภาพความชื้นธรรมชาติหลังทำการทดสอบ



รูปที่ 16 ตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ที่ได้รับการเพิ่มความชื้นก่อนเริ่มทำการทดสอบ



รูปที่ 17 ตัวอย่างดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ที่ได้รับการเพิ่มความชื้นหลังทำการทดสอบ



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Settlement ของตัวอย่างดินทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบ

ตารางที่ 2 ค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากในรูปของแรง

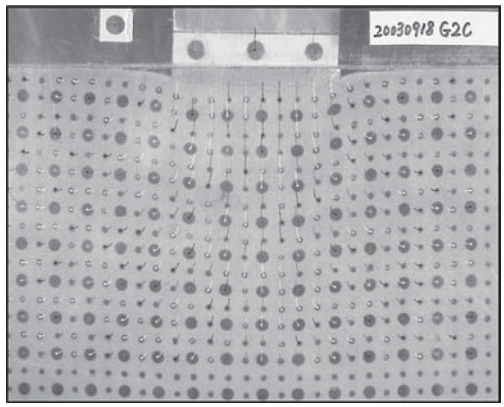
การทดสอบที่	ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุด (kN)	การทรุดตัวที่ตำแหน่งแรงสูงสุด (mm)	ค่ากำลังรับน้ำหนักที่การทรุดตัว 0.1B (kN)	การทรุดตัว 0.1B (mm)
1	21.0	9.0	13.0*	5.0
2	3.0	> 5.0	2.0*	5.0
3	NA	NA	NA	5.0
4	41.0*	1.0	41.0	5.0

*เป็นค่าที่เลือกใช้ NA = ไม่สามารถหาค่าได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัย เพื่อศึกษาพฤติกรรมและค่ากำลังรับน้ำหนักของดินลมหอบในสภาวะต่าง ๆ จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยแบบจำลองเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้จัดทำขึ้นใหม่ โดยชุดอุปกรณ์แบบโปร่งใสทำให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นในระหว่างการรับน้ำหนัก ตัวอย่างดินลมหอบในสภาพความชื้นธรรมชาติได้ถูกเก็บมาทดสอบ เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนัก จากการทดสอบพบว่าปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปในตัวอย่างดิน ทำให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของดินลมหอบลดลงอย่างมาก ซึ่งจะไปสอดคล้องกับปัญหาของอาคารที่ใช้ฐานรากตื้นตั้งอยู่บนดินชนิดนี้ จากการศึกษายังพบอีกว่าการเพิ่มและผสมปูนซีเมนต์เข้าไปในตัวอย่างดินแล้วทำการบดอัด สามารถเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินให้สูงขึ้นได้ และเมื่อนำตัวอย่างของดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้วมาทดสอบ ด้วยการเพิ่มความชื้นค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน ยังคงสูงกว่าตัวอย่างดินแบบคงสภาพในสภาวะความชื้นธรรมชาติ ส่วนข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ในเรื่องของการเคลื่อนตัวของมวลดินยังไม่ได้นำมาทำการแปลผล โดยผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบของการวิบัติของดินและ Displacement vector ที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในตัวอย่างในรูปที่ 22



รูปที่ 22 ตัวอย่างการวิเคราะห์ Displacement vector ที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

วัชรินทร์ กาสลัก และอภิชิต เรืองวัฒนานนท์, 2546. การปรับปรุงวัสดุท้องที่: กรณีศึกษาของการปรับปรุงดินลมหอบขอนแก่น. โครงการนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Phien-wej, N., Pientong, T., Balasubramaniam, A.S., 1992. Collapse and strength characteristics of loess in Thailand. Engineering Geology. Vol. 32, pp. 59-72.

Punrattanasin, P., Subjarassang, A., Kusakabe, O., Nishimura, T., 2002. Collapse and erosion of Khon Kaen loess with treatment option. Proceedings of the First International Conference on Scour of Foundations, pp.1081-1095.