

ผลกระทบของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันต่อพฤติกรรมของดินบดอัด

Effect of heterogeneity on compacted soil behavior

ณภัทร ชัยสิทธิ์สงวน¹ ปิ่นพรพล นันทนิธิวรกุล² และ วีรยุทธ โคมลิวลาศ³

1,2,3 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) ต่อพฤติกรรมของดินบดอัดและเปรียบเทียบผลการบดอัดของการจัดเรียงตัวแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) และการบดอัดของการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) ทั้ง 5 แบบ โดยการออกแบบอุปกรณ์และวิธีการทดสอบให้สามารถติดตามพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดิน อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อเพิ่มความแม่นยำและติดตามพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดินจากผลการวิเคราะห์พบว่าการจัดเรียงตัวแบบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) สามารถทำให้ความหนาแน่นของดินแห้งหลังการบดอัดมีค่ามากกว่าการจัดเรียงตัวแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) คำสำคัญ : วัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน, วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน, พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดิน, เทคโนโลยีดิจิทัลการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

This research aims to study the effects of Heterogeneity on the behavior of compacted soil and comparing the compaction effect of homogeneity and model arrangement. All five types of heterogeneity by designing equipment and testing methods to be able to monitor soil movement behavior. In addition, digital computer image processing technology is applied to analyze test results to increase accuracy and track soil movement behavior. From the analysis results, it was found that the arrangement of the models Heterogeneity The dry soil density after compaction was able to be greater than that of homogeneity.

Keywords: Heterogeneity, Homogeneity, Soil movement behavior, Image processing

1. คำนำ

การบดอัดดินเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินทำให้เกิดการเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างเม็ดดินทำให้ความหนาแน่นแห้งของดินเพิ่มขึ้น ลดขนาดช่องว่างของดิน โดยใช้พลังงานเชิงกลมากระทำต่อดินในปริมาณความชื้นที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความแน่น (Density) สูงตามต้องการหรือตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการบดอัดดินคือ ชนิดของดิน ซึ่งครอบคลุมถึงจัดเรียงตัวของเม็ดดิน รูปร่างของเม็ดดิน ความถ่วงจำเพาะของดิน ปริมาณและชนิดของแร่ดิน ปัจจัยที่สองคือพลังงานการบดอัดดิน และปัจจัยสุดท้ายคือปริมาณความชื้น (Water content) จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของอนุภาคดิน เมื่อปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้นน้ำจะทำให้เม็ดดินอ่อนนุ่มและทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นให้เม็ดดินเคลื่อนตัวได้ง่าย ทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าไปแทรกระหว่างกันได้ง่ายจึงทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลงหรือความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าปริมาณน้ำในดินมีมากเกินไป น้ำส่วนเกินจะเข้าไปแทนที่เม็ดดินและแทรกในโพรง (Pore) ทำให้ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดลดลง ซึ่งปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการบดอัดดิน (Optimum Moisture Content) หรือ OMC โดยค่า OMC หาได้จากการทดสอบความหนาแน่นแบบมาตรฐาน (Standard Proctor test) ซึ่งวัสดุที่นำมาทดลองจะเป็นวัสดุที่มีลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)

ผู้จัดทำจึงเกิดข้อสงสัยว่าในการเตรียมดินเพื่อการบดอัด ถ้าวัสดุทดสอบไม่สามารถผสมดินและน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) จะทำให้มีพื้นที่บางจุดที่ได้น้ำมากเกินไปและมีบางจุดที่ได้น้ำน้อยเกินไป หรือวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) จะส่งผลต่อการบดอัดอย่างไร

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) ต่อพฤติกรรมของดินบดอัด และเปรียบเทียบผลการบดอัดของการจัดเรียงตัวแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) และการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) โดยการออกแบบอุปกรณ์และวิธีการทดสอบให้สามารถติดตามพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดิน อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลประมวลผลภาพ (Image processing) ในการวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อเพิ่มความแม่นยำและติดตามพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดิน

2. วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ดินขาว (kaolin clay)

ดินขาว (kaolin clay) ที่ใช้ในการทดลองจัดทำมาจาก บริษัทชินชนะดินขาว จำกัด จากจังหวัดระนอง ดินขาวดังกล่าวถูกใช้โดยไม่มีการดัดแปลงเพิ่มเติมทางเคมีใดๆ โดยมีคุณสมบัติพื้นฐานดังแสดงในหัวข้อ 3.3 ซึ่งดินขาวจะมีองค์ประกอบสำคัญคือ แร่เคลโอไลต์ (Kaolinite) จะจัดอยู่ในกลุ่มของแร่ดินเหนียว โดยทั่วไปมีสีขาวหรือสีครีม มีองค์ประกอบทางเคมี $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ เป็นหนึ่งในแร่อุตสาหกรรมที่สำคัญ เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก เครื่องสุขภัณฑ์ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

2.2 วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous materials)

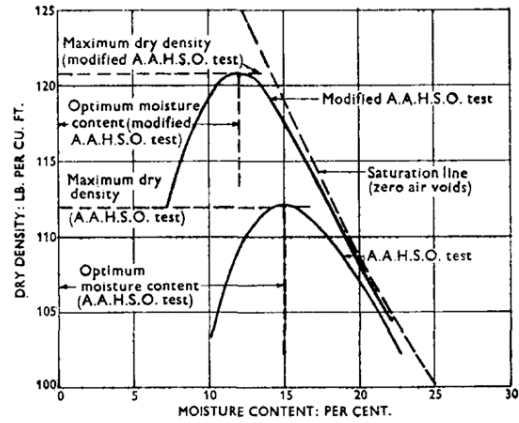
วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous materials) เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบสม่ำเสมอตลอดวัสดุ สามารถประกอบด้วยวัสดุผสมกันแต่ไม่สามารถแยกส่วนหรือแยกออกเป็นวัสดุต่างๆ โดยการกระทำทางกล เช่น การคลายเกลียว การตัด การบด การเจียร และการขัดถู ดังนั้นวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันไม่จำเป็นต้องมีองค์ประกอบที่เหมือนกันตลอด ทรายใดที่มาตราส่วน โครงสร้าง หรือการกระจายของวัสดุที่มีองค์ประกอบต่างกันไม่สามารถทำให้วัสดุเหล่านี้แยกออกจากกันโดยใช้วิธีการทางกลได้

2.3 วัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous materials)

วัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous materials) เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบไม่สม่ำเสมอตลอดวัสดุ ประกอบด้วยวัสดุผสมกันและสามารถแยกส่วนหรือแยกออกเป็นวัสดุต่างๆได้ โดยการกระทำทางกล เช่น การคลายเกลียว การตัด การบด การเจียร และการขัดถู ดังนั้นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันจำเป็นต้องมีองค์ประกอบที่ต่างกันและสามารถทำให้วัสดุเหล่านี้แยกออกจากกันโดยใช้วิธีการทางกลได้

2.4 การบดอัดดิน

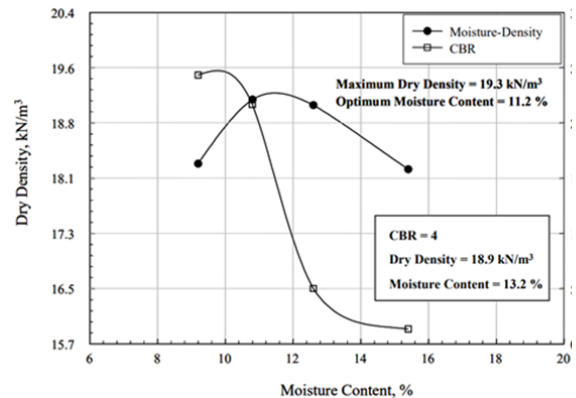
การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่อนุภาคของดินถูกทำให้อัดแน่นขึ้นด้วยด้วยพลังงาน ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการบดอัดของดินคือปริมาณความชื้นและพลังงานการบดอัดที่ใช้ โดยมีความหนาแน่นแห้งของดินเป็นเกณฑ์ของการบดอัดดิน (รูปที่ 2-1) ดินที่มีความชื้นที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content) จะมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด และสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความชื้นต่ำ ดินจะแข็งและบดอัดได้ยากดังนั้นจึงมีความหนาแน่นต่ำและมีปริมาณอากาศสูง เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ทำให้เม็ดดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ ส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งสูงขึ้นและปริมาณอากาศที่ต่ำกว่า เมื่อความชื้นเพิ่มสูงเกินความชื้นที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content) น้ำและอากาศจะรวมกันเข้าแทรกในโพรง (Pore) ทำให้อนุภาคดินแยกจากกันส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดลดลง นอกจากนี้พลังงานการบดอัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความชื้นที่เหมาะสมที่สุดลดลงและทำให้ความหนาแน่นสูงสุดเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2-1) จะเห็นว่าผลของการบดอัดที่เพิ่มขึ้น (Modified A.A.H.S.O. test) จะส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งเพิ่มมากขึ้นและจะน้อยลงอย่างชัดเจนเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเกินกว่าความชื้นที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น (William, 1949)^[1]

2.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น-ความหนาแน่นแห้ง-CBR

แคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (CBR) เป็นค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น (water content) อย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 2-2) แคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (CBR) ลดลงอย่างไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อดินมีปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น พฤติกรรมนี้เกิดจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคดินมีแรงเสียดทานน้อยลงและทำให้โครงสร้างในดินอ่อนแอ ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียรูปมากขึ้น



รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น-ความหนาแน่นแห้ง-CBR (Kwon and Tutumluer, 2007)^[2]

2.6 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ค่าเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของวัสดุสามารถหาได้จากสมการ 2-1 เมื่อวัสดุที่ได้รับแรงเป็นวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous material) ในกรณีนี้ที่แบ่งวัสดุออกเป็นพื้นที่หน้าตัดคงที่ (A) ได้รับแรงในแนวแกน (P) กระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ (centroid) ของหน้าตัดแท่งวัสดุ (Hibberler, 1997)^[3]

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-1)$$

2.7 Digital Image Correlation (DIC)

Digital Image Correlation (DIC) เป็นนวัตกรรมที่ใช้เทคนิคทางแสง ใช้สำหรับการวัดความเครียดและการกระจัด DIC ใช้งานง่าย ต้นทุนต่ำ นอกจากนี้ยังแม่นยำมากกว่าวิธีการวัดแบบปกติ สามารถนำไปปรับใช้กับงานที่หลากหลาย หลักการทำงานของ DIC เปรียบเทียบภาพถ่ายดิจิทัลของตัวอย่างทดสอบในช่วงเวลาต่างๆของการเสียรูป โดยการติดตามบล็อกของจุดภาพ (Pixel) ระบบทำงานโดยจะต้องสุ่มและเลือกจุดที่มีลักษณะเฉพาะด้วยช่วงของระดับคอนทราสต์และความเข้มที่แตกต่าง ระบบสามารถวัดการเคลื่อนตัวของพื้นผิว สร้างเวกเตอร์การเปลี่ยนรูปและความเครียดในแบบ 2D และ 3D ระบบมีการพัฒนาเพื่อให้ได้ความละเอียดของจุดภาพ (Pixel) ที่สูงและช่วยให้ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันการถ่ายภาพดิจิทัลโดยทั่วไป เช่น โทรศัพท์มือถือ มีประสิทธิภาพมากกว่าในอดีตมากทำให้สามารถทำงานร่วมกับ DIC ได้เป็นอย่างดี ซอฟต์แวร์ (Software) ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ GOM Correlate (McCormick และ Lord, 2010)^[4]

2.8 การบดอัดแบบสถิตและพลวัต

การบดอัดแบบสถิต ดินจะถูกบดอัดด้วยแรงคงที่แบบค่อยเป็นค่อยไป ดินจะถูกบรรจุในภาชนะและทำการบดอัดโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบหรือแท่นกด (Turnbull, 1950)^[5] (Olivier & Mcsbah, 1971)^[6] และ (Reddy & Jagadish, 1993)^[7]

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบการบดอัดแบบสถิต (Static compaction) และพลวัต (Dynamic) พบว่ามีข้อดีและข้อเสียของวิธีการบดอัดแบบต่างๆ (Leonards, 1953)^[8], (quoting Mayo, 1939)^[9] ได้ทดสอบการบดอัดแบบสถิตเพื่อเตรียมตัวอย่าง โดยใช้เข็มเจาะเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อหน่วยในตัวอย่างทดสอบการบดอัดแบบสถิต พบว่าจำเป็นต้องใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว (254 มม.) เพื่อลดแรงเสียดทานด้านข้างจนถึงจุดที่ความแปรผันของน้ำหนักต่อหน่วยภายในชั้นงานทดสอบน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Dawson, 1959)^[10] ทำการวัดความแปรผันของความหนาแน่นภายในชั้นงานทดสอบที่อัดเป็นชั้นๆ ด้วยวิธีการบดอัดแบบสถิต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (101.6 และ 152.4 มม. ตามลำดับ) ความหนาแน่นเฉลี่ยในชั้นที่สามจากด้านล่างสูงกว่าในชั้นที่สามจากด้านบนกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ (Whitman et al, 1960)^[11] พบว่าวิธีการบดอัดแบบสถิตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอย่างมากภายในชั้นงานทดสอบ แต่เมื่ออัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเหลือ 1:2 การแปรผันของความหนาแน่นจะหยุดมีนัยสำคัญ (Shackel, 1970)^[12] ได้คิดค้นวิธีการวัดความหนาแน่นแบบไม่ทำลายโดยใช้รังสีแกมมาและสามารถวัดความหนาแน่นได้ทุกๆ 10.2 มิลลิเมตร ชั้นงานทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร อัดแน่นแบบสถิต เขาพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความหนาแน่น ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่ออัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น (Gau และ Olson, 1971)^[13] เปรียบเทียบการบดอัดแบบพลวัตและสถิตโดยใช้เพนโดมิเตอร์ขนาดเล็ก สรุปว่าการบดอัดแบบสถิตให้ตัวอย่างที่สม่ำเสมอที่สุด แม้ว่ากรบดอัดแบบพลวัตอาจเป็นตัวแทนของสภาพสนามมากกว่า สอดคล้องกับ (Leonards, 1953)^[8] ที่ว่า

การบดอัดที่เหมาะสมมากที่สุดเกิดจากการบดอัดแบบสถิต จากการศึกษา ค้นคว้าจะเห็นได้ว่าการบดอัดแบบสถิตให้ตัวอย่างทดสอบที่สม่ำเสมอมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้ตัดสินใจเลือกวิธีทดสอบแบบสถิต

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์ทดสอบ

3.1.1 อุปกรณ์ทดสอบ

ชั้นนอกสุดจะเป็นโครงเหล็กขนาด 30x30x35 ซม. เว้นช่องตรงกลางให้มองเห็นการเคลื่อนที่ของดินขนาด 25x27 ซม. ชั้นถัดมาจะเป็นกรอบอะคริลิกหนา 2.5 ซม. ขนาด 30x30x35 ซม. ชั้นถัดมาจะเป็นฐานและเสาเหล็ก โดยเสาเหล็กจะติดอยู่ที่มุมทั้งสี่ของฐาน จากนั้นจะใส่ดินตามรูปแบบที่กำหนดและใส่แผ่นเหล็กสำหรับกดที่มีการเจาะรูไว้ที่มุมทั้งสี่ เพื่อใช้เป็นรูสำหรับใส่เสาเหล็ก มีจุดประสงค์เพื่อให้แผ่นเหล็กสำหรับกดเคลื่อนตัวในแนวระดับ สุดท้ายจะเป็นเหล็กทรงกระบอกเพื่อเพิ่มความสูงโมลด์ ประกอบขึ้นจากเหล็กทรงกระบอกหนา 5 มม. สูง 150 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. ใช้สำหรับเพิ่มระยะการกดให้ตัวโมลด์ (รูปที่ 3-1)



รูปที่ 3-1 อุปกรณ์ทดสอบ

3.1.2 Dial Gauge

3.1.3 Dial gauge

3.1.4 เลเซอร์วัดระดับ

3.1.5 เครื่อง Amsler รูน capacity 20 tons

3.1.6 โปรแกรม GOM Correlate, Auto Cad

3.1.7 กล้องวิดีโอ

3.1.8 ขาดังกลิ้ง

3.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินขาว (kaolin clay) ซึ่งดินที่ได้มาจะเป็นก้อนขนาดใหญ่ จึงต้องทำการทุบและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ก่อนใช้งาน โดยการจัดเตรียมดินจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

3.2.1 ดินสีขาว เป็นส่วนหลักที่ใช้บดอัด จะมีการผสมน้ำกับดินตามปริมาณความชื้นที่กำหนด โดยการคลุกเคล้าดินจะใช้เครื่องมือดินและใช้สเปรย์ฉีดน้ำเพื่อช่วยให้ดินไม่จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ใหญ่ อีกทั้งหลังจากผสมดินกับน้ำเสร็จแล้ว ดินที่มีปริมาณความชื้น 25% 30% 35% จะมีการร่อนดินอีกครั้งเพื่อเป็นการแยกดินที่จับตัวเป็นก้อนขนาด

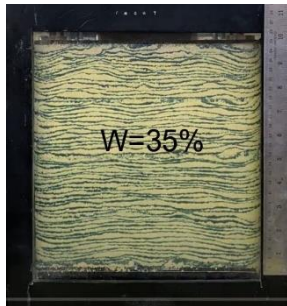
ใหญ่ออก แต่ดินในส่วนปริมาณความชื้น 40% 45% จะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนดินเหนียวขนาดใหญ่ ไม่สามารถร่อนได้

3.2.2 ดินสีต่า จะมีการผสมดินกับสีผสมอาหารสีต่าตามเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น ในแต่ละกรณีการทดลองเพื่อเป็นการย้อมสีดิน และจะทำการโรยดินสีต่าไปที่ผิวด้านข้างเพื่อให้เกิดสีดินที่แตกต่างกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลและติดตามพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนตัวผ่านคอมพิวเตอร์ได้

3.3 การทดลอง 5 แบบ

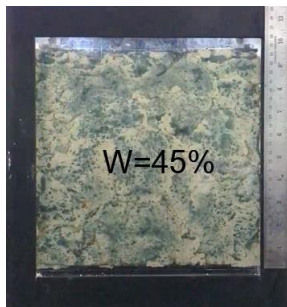
การจัดเรียงดินใส่อุปกรณ์ทดสอบที่มีขนาด 25x25x25 เซนติเมตร โดยมีรูปแบบการจัดเรียงทั้งหมด 5 แบบดังนี้

3.3.1 Homogeneity 35 คือดินทั้งหมดมีปริมาณความชื้น 35 %



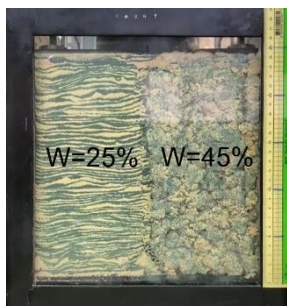
รูปที่ 3-2 การจัดเรียงดิน (Homo35)

3.3.2 Homogeneity 45 คือดินทั้งหมดมีปริมาณความชื้น 45 %



รูปที่ 3-3 การจัดเรียงดิน (Homo45)

3.3.3 Heterogeneity left25right45 (H.V.) คือดินครึ่งซ้ายและครึ่งขวามีปริมาณความชื้น 25% และ 45% ตามลำดับ



รูปที่ 3-4 การจัดเรียงดิน (H.V.)

3.3.4 Heterogeneity upper45lower25 (H.H.) คือดินครึ่งบนและดินครึ่งล่างมีปริมาณความชื้น 45% และ 25% ตามลำดับ



รูปที่ 3-5 การจัดเรียงดิน (H.H.)

3.3.5 Heterogeneity random (Random) คือ ดินมีปริมาณความชื้น 25% 30% 40% และ 45% จัดเรียงตัวแบบสุ่ม เมื่อมองจากด้านบน



รูปที่ 3-6 การจัดเรียงดิน (Random)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 ทดสอบคุณสมบัติของดินขาวด้วยการทดสอบ Atterberg's limit, Specific gravity และ การบดอัดแบบมาตรฐาน

3.4.2 จัดเรียงดินและทำการบดอัดแบบสถิตถึงแรง 200 กิโลกรัม

3.4.3 เก็บค่าปริมาณความชื้นก่อนและหลังการทดสอบ

3.4.4 บันทึกวิดีโอเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการบดอัดและการเคลื่อนตัวของดิน ที่แรง 200 กิโลกรัม

4. ผลการทดสอบ

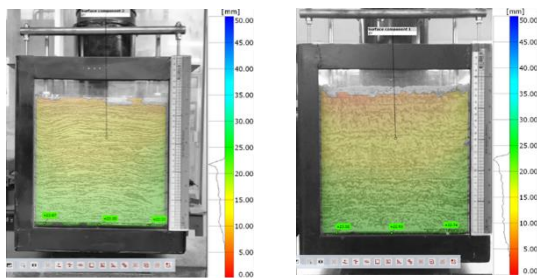
4.1 คุณสมบัติของดินขาว

Shrinkage Limit %	25
Plastic Limit %	29.21
Liquid Limit %	60
Specific Gravity	2.807
ปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด	35 %
ความหนาแน่นแห้งที่ OMC	13.120 KN/m ³

4.2 ผลการวิเคราะห์จากการประมวลผลด้วยภาพถ่าย

4.2.1 การเคลื่อนตัวแนวตั้ง

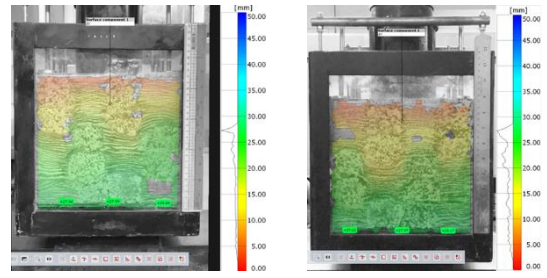
-Homogeneity 35 (Homo35)



(a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

รูปที่ 4-1 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Homo35)

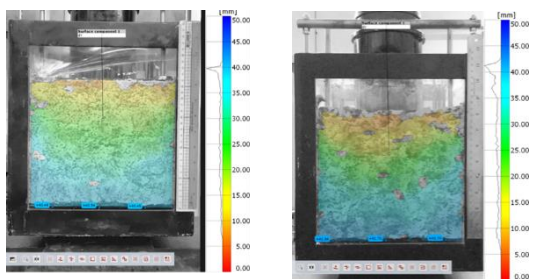
-Heterogeneity Random (Random)



(a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

รูปที่ 4-5 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Random)

-Homogeneity 45 (Homo45)



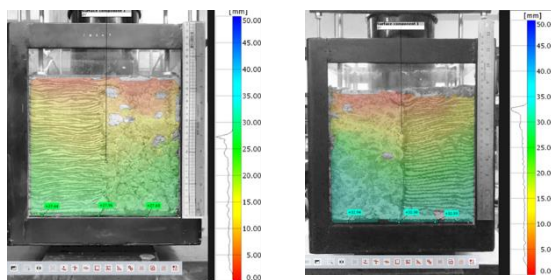
(a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

รูปที่ 4-2 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Homo45)

ตารางที่ 4-1 ระยะเวลาของแต่ละแบบการทดลอง

Sample	ปริมาณความชื้น	ระยะยวบ (mm)		
		ด้านหน้า	ด้านหลัง	ค่าเฉลี่ย
(Homo35)	35	22.23	22.56	22.395
(Homo45)	45	40.490	41.760	41.125
(H.V.)	Left25 Right45	31.326	31.576	31.451
(H.H.)	Upper 45	30.540	30.770	30.655
	Lower 25	12.770	10.670	11.72
(Random)	25 30 40 45	28.170	27.920	28.045

- Heterogeneity Left 25 Right 45 (H.V.)



(a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

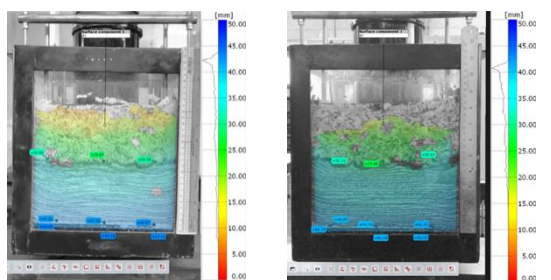
รูปที่ 4-3 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (H.V.)

จากรูปการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ที่ประมวลผลจากโปรแกรม เมื่อสังเกตจากสีที่เปลี่ยนไปบ่งบอกถึงระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่ต่างกันในแต่ละระดับ ซึ่งดินจะรักษาระนาบการเคลื่อนที่ที่เท่าๆกัน โดยที่สามารถนำค่าการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากโปรแกรมไปหาระยะยวบตัวได้ ดังตารางที่ 4-1

4.2.2 ความเค้นในแนวตั้ง

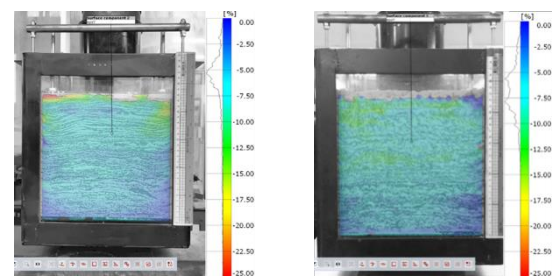
-Homogeneity 35 (Homo35)

- Heterogeneity Upper 45 Lower 25 (H.H.)



(a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

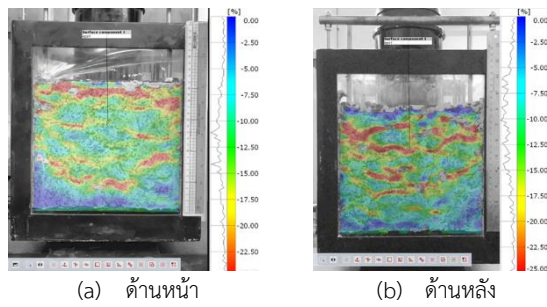
รูปที่ 4-4 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (H.H.)



(a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

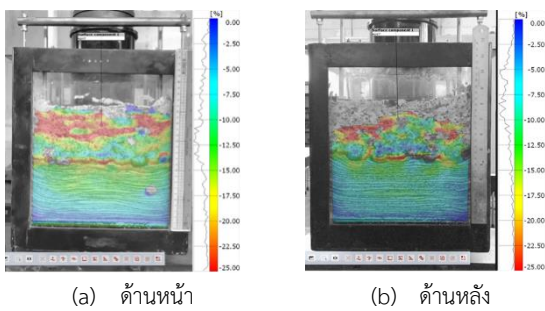
รูปที่ 4-6 ความเครียดในแนวตั้ง (Homo35)

-Homogeneity 45 (Homo45)



รูปที่ 4-7 ความเครียดในแนวตั้ง (Homo45)

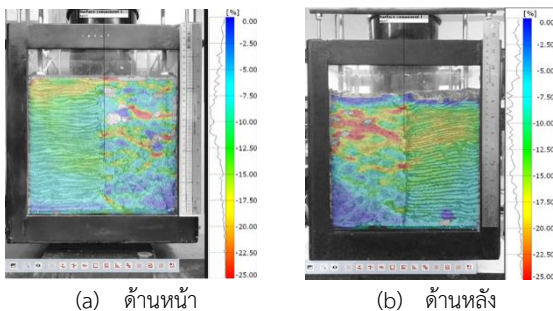
- Heterogeneity Upper 45 Lower 25 (H.H.)



รูปที่ 4-8 ความเครียดในแนวตั้ง (H.H.)

พิจารณา Heterogeneity Upper 45 Lower 25 (H.H.) เมื่อดูระยะการยุบตัว ตารางที่ 4.4 จะพบว่าระยะการยุบตัวของดินในปริมาณความชื้น 45% มีค่า 30.655 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าดินใน ส่วนปริมาณความชื้น 25% ที่มีค่า 11.720 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าดินใน ส่วนปริมาณความชื้น 45% ส่งผลต่อการยุบตัวเป็นอย่างมากเนื่องจากปริมาณความชื้นที่มากกว่า จะทำให้ดินไม่แข็งแรง เสียรูปร่าง และมีค่ามอดุลัส (Young's Modulus) ต่ำ ส่วนดินที่มีปริมาณความชื้น 25% จะมีการยุบตัวที่น้อยเนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่า (Kwon and Tutumluer, 2007) [2]

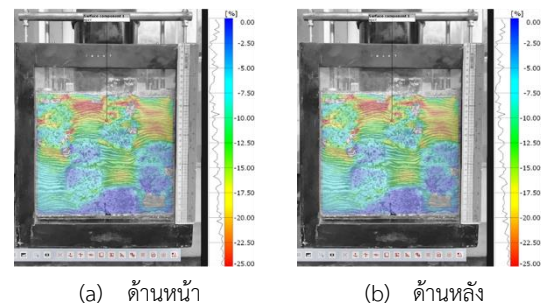
- Heterogeneity Left 25 Right 45 (H.V.)



รูปที่ 4-9 ความเครียดในแนวตั้ง (H.V.)

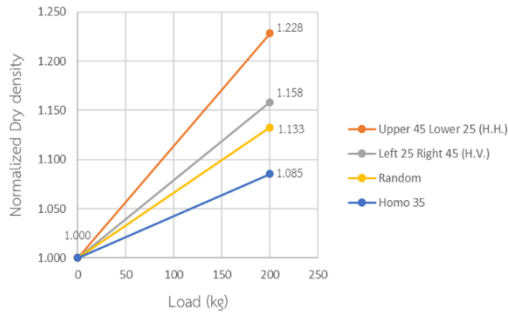
ในการทดสอบการจัดเรียงตัวแบบ Heterogeneity Left 25 Right 45 (H.V.) จะเห็นว่าดินในฝั่งซ้ายและขวามีระยะยุบตัวเท่ากัน (δ) มีความสูงเท่ากัน (L) และพื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกัน (A) เมื่อพิจารณา ร่วมกับสมการที่ 2-1 จะสามารถพิจารณาให้ δ , L, A มีค่าเท่ากัน ทำให้แรงในแนวแกนแปรผันตรงกับค่ามอดุลัส เมื่อให้แรงกับวัสดุที่มีมอดุลัสต่างกัน วัสดุที่มีค่ามอดุลัสสูงกว่า จะได้รับแรงในแนวแกนที่มากกว่า ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่มีค่ามอดุลัสน้อยกว่า จะได้รับแรงที่น้อยกว่าเช่นกัน (Hibberler, 1997)^[3] เมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวแบบ (H.V.) แรงที่มากกว่าจะถูกถ่ายให้กับดินที่มีมอดุลัสมากกว่า ซึ่งก็คือดินที่มีปริมาณความชื้น 25% จึงส่งผลให้เกิดความเครียดในแนวตั้งที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับแถบสีความเครียดใน (รูปที่ 4-9) คือดินที่มีปริมาณความชื้น 25% จะเกิดความเครียดในแนวตั้งในทุกระดับความสูง ต่างจากดินที่มีปริมาณความชื้น 45% จะเกิดความเครียดเฉพาะส่วนบน บ่งบอกว่าดินที่มีความแข็งแรงที่มากกว่าคือดินที่มีปริมาณความชื้น 25% ขัดขวางการเคลื่อนที่ของดินที่มีปริมาณความชื้น 45%

-Heterogeneity Random (Random)



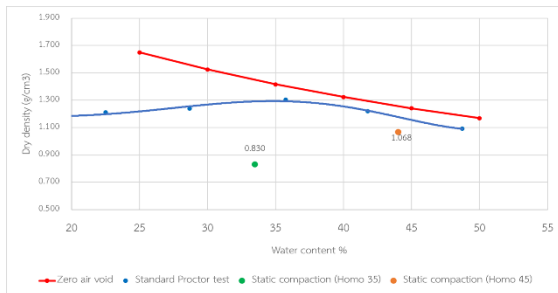
รูปที่ 4-10 ความเครียดในแนวตั้ง (Random)

ในการจัดเรียงตัวแบบ (Random) จะเหมือนกับการจัดเรียงแบบ (H.H.) ผสมกับการจัดเรียงตัวแบบ (H.V.) ซึ่งจากหลักการที่ใช้ในการพิจารณาการทดลอง 2 กรณีก่อนหน้า (H.H. และ H.V.) คือ ดินที่มีปริมาณความชื้น 25% และ 30% จะมีค่ามอดุลัสมากกว่าดินที่มีปริมาณความชื้น 40% และ 45% (Kwon and Tutumluer, 2007)^[2] และเมื่อมีแรงมากระทำ แรงที่มากกว่าจะถูกถ่ายให้กับดินที่มีมอดุลัสมากกว่า (Hibberler, 1997)^[3] เมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวแบบ (Random) ในลักษณะนี้ จะเห็นได้ว่าความเครียดในแนวตั้ง (รูปที่ 4-10) ดินในส่วนที่มีปริมาณความชื้น 25% และปริมาณความชื้น 30% จะปรากฏแถบสีเหลืองและสีแดง แสดงว่ามีการยุบตัวมากกว่าดินที่มีปริมาณความชื้น 40% และปริมาณความชื้น 45% ซึ่งให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับการจัดเรียงตัวแบบ (H.V.) จึงคาดว่า การจัดเรียงตัวแบบ (Random) ในลักษณะนี้ จะมีอิทธิพลของการจัดเรียงตัวแบบ (H.V.) มากกว่าการจัดเรียงตัวแบบ (H.H.) ซึ่งเมื่อพิจารณา ร่วมกับกราฟ Normalize Dry density ที่แรง 0 และ 200 กิโลกรัม (รูปที่ 4-11) จะเห็นได้ว่าความชื้นมีค่าใกล้เคียงกัน



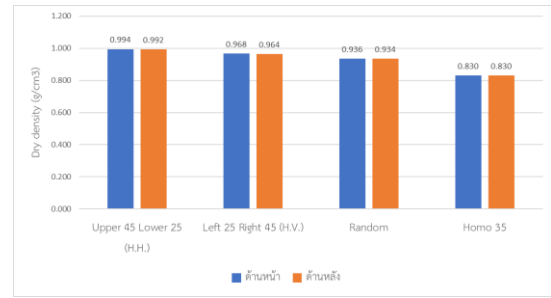
รูปที่ 4-11 Normalize Dry density ที่แรง 0 และ 200 กิโลกรัม

พิจารณากราฟการบดอัดแบบสถิตที่ 200 กิโลกรัม และการบดอัดแบบมาตรฐาน (รูปที่ 4-12) จะเห็นว่ากราฟการบดอัดแบบมาตรฐานจะมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ 35% ซึ่งการบดอัดด้วยวิธีนี้จะมีพลังงานที่ 593.7 kJ/m³ ส่วนกราฟการบดอัดแบบสถิตที่ 200 กิโลกรัม จะเยื้องลงมาทางขวามือ ด้านล่าง ทำให้คาดการณ์ได้ว่าการบดอัดแบบสถิตนี้จะมีพลังงานน้อยกว่า (William, 1949)^[1] และเมื่อพิจารณาการบดอัดของกรณี Homo 35 จะมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นแห้ง (Avg Dry density) ที่ 0.830 g/cm³ ซึ่งน้อยกว่าการบดอัดของกรณี Homo 45 ที่มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นแห้ง (Avg Dry density) ที่ 1.068 g/cm³ ซึ่งอาจคาดการณ์ได้ว่าการทดลองการบดอัดแบบสถิตที่แรง 200 กิโลกรัม ในครั้งนี้กระทำการทดลองอยู่ในฝั่งแห้งของกราฟการบดอัด (Compaction curve)



รูปที่ 4-12 กราฟการบดอัดแบบสถิตที่ 200 กิโลกรัม (Static compaction) และการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor test)

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งในแต่ละกรณี (รูปที่ 4-13) จะสามารถเรียงลำดับความหนาแน่นแห้งจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ H.H. > H.V. > Random > Homo35 และเมื่อพิจารณาข้อมูลจากแผนภูมิจะเห็นว่า ความหนาแน่นแห้ง (Dry density) ที่แรง 200 กิโลกรัม จากด้านหน้าและด้านหลังมีค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4-13 ความหนาแน่นแห้ง (Dry density) ที่แรง 200 กิโลกรัม ในกรณีต่างๆ

บท 5 สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) ต่อพฤติกรรมของดินบดอัดและเปรียบเทียบผลการบดอัดของการจัดเรียงตัวแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) และการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) ของดินขาว (kaolin clay) ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 ถ้าปริมาณน้ำที่เลือกใช้ในการบดอัดฝั่งแห้ง การเตรียมดินแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) สามารถทำการบดอัดได้ค่าความหนาแน่นแห้ง (Final dry density) ที่แน่นกว่า ดินที่เตรียมการแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)

5.1.2 การจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) ส่งผลต่อพฤติกรรมของดินบดอัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดเรียงตัวในแนวตั้ง พบว่าดินส่วนที่แห้งกว่าจะเป็นตัวควบคุมพฤติกรรมการยุบตัว

5.1.3 อุปกรณ์ทดสอบและเทคโนโลยีดิจิทัลการประมวลผลภาพ (Image processing) สามารถทำให้เห็นภาพและวิเคราะห์พฤติกรรมของดินที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันได้ (Heterogeneity)

5.2 ข้อเสนอแนะและแผนการดำเนินงานในอนาคต

การจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) เราออกแบบให้ดินมีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นแบบเส้นโค้งปกติที่ 35% ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบการบดอัดมาตรฐาน (Standard compaction test) จึงออกแบบให้มีการใช้ดินที่ปริมาณความชื้น 25% อยู่ฝั่งแห้ง และปริมาณความชื้น 45% อยู่ฝั่งเปียก แต่การบดอัดแบบสถิตที่แรง 200 กิโลกรัม มีพลังงานที่น้อยกว่าทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดเพิ่มขึ้นส่งผลให้การทดลองนี้กระทำอยู่ในฝั่งแห้งของกราฟการบดอัด การศึกษาครั้งนี้จึงไม่ครอบคลุมคำตอบทั้งหมดของการทดลองจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตดังนี้

5.2.1 หาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในการบดอัดแบบสถิตที่แรง 200 กิโลกรัม

5.2.2 ออกแบบการทดลองให้มีค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นแบบเส้นโค้งปกติที่ได้จาก ข้อ 5.2.1 เพื่อให้การทดลองครอบคลุมทั้งฝั่งแห้งและฝั่งเปียกของกราฟการบดอัด

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.ดร.วีรยุทธ โภมลวิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญาโท ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ จัดหาอุปกรณ์ ตรวจสอบโครงการวิจัยด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขอขอบคุณอ.ดร.ช่อธรรม ศรีนิล ที่กรุณาเสียสละเวลาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุง แก้ไขให้ปริญญาโทมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณรุ่นพี่ และ เพื่อน ๆ ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่คอย ให้คำปรึกษามาเป็นอย่างดี และที่ขาดไม่ได้ นั่นคือขอขอบคุณทางครอบครัว ของทางผู้วิจัยทั้งสองที่คอย สนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- [1] William, (1949). Compaction of Soils. Journal of the Institution of civil engineers. NO. 2. 1949-50, Paper No. 5724
- [2] Kwon and Tutumluer. (2007). Geomaterial Characterizations of Full Scale Pavement Test Sections for Mechanistic Analysis and Design. Newmark Civil Engineering Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois.
- [3] Hibberler. (1997). Mechanics of materials. 3rd Ed., Prentice-Hall, New Jersey, NY.
- [4] McCormick and Lord. (2010). Digital Image Correlation. UK's National Physical Laboratory.
- [5] Reddy & Jagadish, (1993). The static Compaction of Soils. Indian Institute of Science, United Kingdom. Geotechnique 43, No. 2, 337-341.
- [6] Olivier, M. & Mesbah, A. (1987). Influence of different parameters on the resistance of earth, used as a building material. Proc. Int. Conf. Mud Archit., Trivandrum, India. Bangalore: Hudco.
- [7] Turnbull, W. J., (1950). Compaction and strength tests on soils. In Lambe, T. W. & Whitman, R. V. Soil mechanics. New Delhi: Wiley Eastern
- [8] Leonards, (1953). G. A. "Strength Characteristics of Compacted Clays," Proceedings, American Society of Civil Engineers, Vol. 79, Paper 360.
- [9] Mayo, R. I. (1939). Compression Tests on Stabilized Soil Mixtures. M.Sc. thesis, Purdue University, Lafayette, Ind.
- [10] Dawson. (1959). Meetings Soils. ASTM STP 254, American Society for Testing and Materials, pp. 308-317.
- [11] Whitman et al. (1960) Roberts, J. E. and Man, S., One Dimensional Compression and Wave Velocity Tests,

and Responses of Soil to Dynamic Loads. Report 4, Publ. 106, Soil Engineering Division, Department of Civil and Sanitary Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

- [12] Shackel, B. (1970). Australian Road Research. Vol. 4, No. 5, pp. 12-31.
- [13] Gau and Olson. (1971). Journal of Materials, Vol. 6, pp. 874-888.