

การตรวจสอบคุณสมบัติที่ต่างกันทางกายภาพของดินเหนียวด้วยความเร็วคลื่นเฉือน

Examination of Anisotropy of Clay using Shear Wave Velocity

กীরติกานต์ พิริยะกุล¹

1. บทนำ

ความเร็วคลื่นเฉือนเป็นพารามิเตอร์สำคัญค่าหนึ่งสำหรับงานวิศวกรรมปฐพีและวิศวกรรมแผ่นดินไหว ในอดีต Mengé [1] ได้ทำการทดลอง Seismic Cone Penetration Test (SCPT), Spectral Analysis of Surface Wave (SASW), Seismic Refraction Test (SRT) เพื่อศึกษาความเร็วคลื่นเฉือนอิลาสติกของชั้นดินเหนียวในสนาม Haegeman และ Mengé [2] อธิบายวิธีการวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนอิลาสติกและการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านกำลังของดิน โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบทั้งจากในสนามและในห้องปฏิบัติการ Karl [3] ศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของดินในสนามโดยใช้การทดสอบ SCPT

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบเชิงข้อมูลที่ได้จากในสนามกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้อุปกรณ์เป็นเคอร์อีลีเมนต์ Multi-Directional Bender Element (BE) ภายในเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนทั้งภายใต้สภาวะ Isotropic และ Anisotropic เพื่อวัดความเร็วคลื่นเฉือนอิลาสติกที่ระดับความเครียดต่ำกว่า 10^{-3} % ซึ่งอุปกรณ์เป็นเคอร์อีลีเมนต์นี้ช่วยให้การทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถวัดความเร็วคลื่นเฉือนอิลาสติกบนตัวอย่างดินเหนียวได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

2. การเตรียมการทดลอง

2.1 สถานที่ทำการทดลอง

สภาพทางธรณีวิทยาของสถานที่ทำการวิจัยนี้ถูกอธิบายอย่างละเอียดโดย Mengé [1] ซึ่งอยู่ที่เมือง Sint-Katelijne-Waver ประเทศเบลเยียมเป็นชั้นดินเหนียวที่เรียกว่า “ดินเหนียวบูม (Boom Clay)” มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันตลอดความลึก โดยเป็นดินเหนียวที่เกิดในสมัยโอลิโกซีน (Oligocene) ของยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) ในช่วงแรกของสมัยไพลสโตซีน (Pleistocene) ชั้นดินเหนียวบูมนี้ถูกทับด้วยชั้นทรายนีโอจีน (Neogene Sand) หนาประมาณ 40 เมตร เป็นเวลา 5-7 ล้านปี หลังจากนั้นชั้นทรายนีโอจีนก็ถูกกัดเซาะชะล้างออกไปเมื่อราว 500,000 ปีที่ผ่านมา ซึ่งจากข้อมูลทางธรณีวิทยาชั้นดินเหนียวบูมไม่เคยถูกน้ำหนักอื่นนอกเหนือจากชั้นทรายนีโอจีน 40 เมตร กดทับ ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินเหนียวบูม 2 ตัวอย่างดังนี้ ตัวอย่าง A เก็บที่ระดับความลึก 5 เมตร และตัวอย่าง B เก็บที่ระดับความลึก 8 เมตร ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวบูม

¹ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

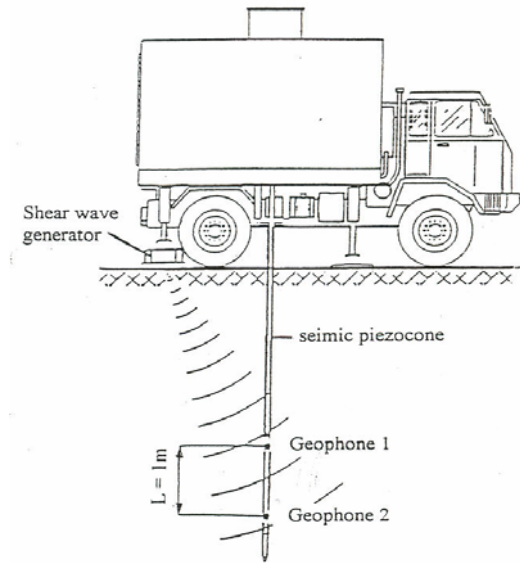
ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวมูน

Parameters	unit	A	B
w_{LL}	(%)	65.38	57.51
w_{PL}	(%)	22.23	21.02
I_p	(%)	43.15	36.49
G_s	(-)	2.71	2.70
w	(%)	29.42	28.25
ρ	(kg/m ³)	2030	2042

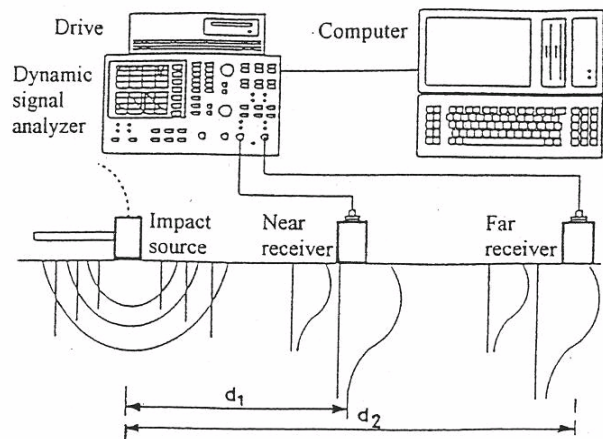
เมื่อ w_{LL} คือขีดจำกัดเหลว, w_{PL} คือขีดจำกัดพลาสติก, I_p คือดัชนีพลาสติก, G_s คือความถ่วงจำเพาะ, w คือปริมาณความชื้นในดิน และ ρ คือความหนาแน่น

2.2 การทดสอบด้วยกรวยหยั่งแบบสั้น

การทดสอบด้วยกรวยหยั่งแบบสั้น Seismic Cone Penetration Test (SCPT) พัฒนารูปร่างขึ้นจากการทดสอบด้วยกรวยหยั่ง Cone Penetration Test (CPT) แบบอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบเข้ากับจีโอโฟนสามแกนขนาดเล็กซึ่งจะสามารถวัดความเร็วของคลื่นเนื้ออนิลาติกที่ถูกส่งจากผิวดิน โดยใช้คลื่นดิ่งลงบนแกนเหล็กที่ทาบอยู่โดยรอบรูปที่ 1 การทดสอบจะส่งคลื่นเนื้ออนิลาติกจากผิวดินและรับคลื่นนี้ทุกๆ ความลึก 0.5 เมตร โดยทำการวัดความเร็วคลื่นเนื้ออนิลาติกจากระยะทางจากจุดกำเนิดคลื่นจนถึงตำแหน่งของจีโอโฟนภายในอุปกรณ์ SCPT กับเวลาการเดินทางของคลื่นเนื้ออนิลาติก จากข้อมูลที่บ้านที่กได้สามารถนำไปคำนวณหาความเร็วของคลื่นเนื้ออนิลาติกได้



รูปที่ 1 การทดสอบด้วยกรวยหยั่งแบบสั้น [2]

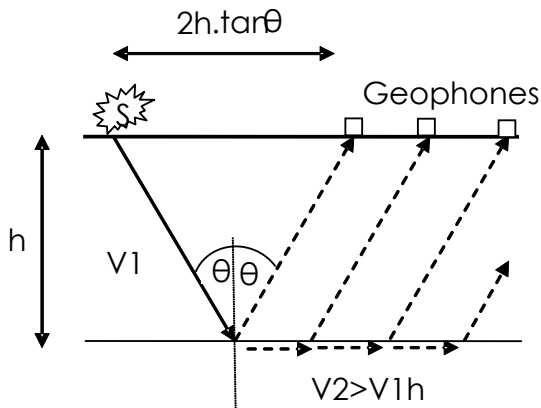


รูปที่ 2 การทดสอบ Spectral Analysis of Surface Wave [2]

2.3 การทดสอบด้วยวิธี Spectral Analysis of Surface Wave

การทดสอบด้วยวิธี Spectral Analysis of Surface Wave (SASW) เป็นการทดสอบโดยอาศัยคุณลักษณะของ Surface Waves ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยทำการวัดความเร็วของ Surface Waves แล้วคำนวณกลับหาความเร็วของคลื่นเนื้ออนิลาติก รูปที่ 2 แสดงการทดสอบ SASW ตัวส่งสัญญาณจะใช้น้ำหนักตกกระทบบนหรือค้อนเป็นตัวกำเนิดคลื่น

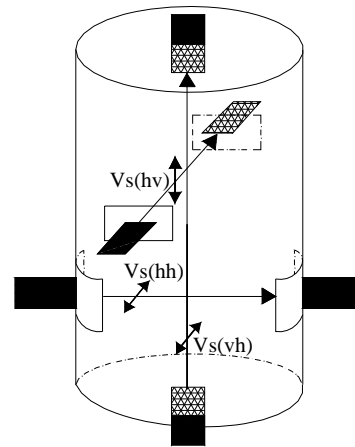
และใช้ตัวเซ็นเซอร์วัดความเร็วในแนวตั้งที่มีความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) เท่ากับ 1 Hz เป็นตัวรับสัญญาณ ความเร็วของคลื่นเฉือนจะถูกวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม WinSASW จากมหาวิทยาลัย University of Texas at Austin ซึ่งอธิบายวิธีการวิเคราะห์อย่างละเอียดใน Job [4]



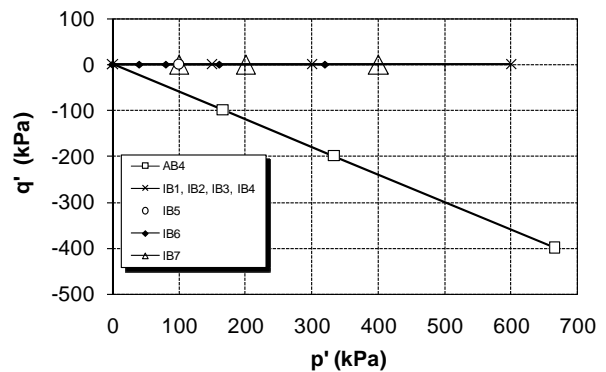
รูปที่ 3 การทดสอบคลื่นไหวสะเทือนหักเห SRT

2.4 การทดสอบคลื่นไหวสะเทือนหักเห

การทดสอบคลื่นไหวสะเทือนหักเห Seismic Refraction Test (SRT) ดังแสดงในรูปที่ 3 อาศัยหลักการที่คลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่มีค่าความยืดหยุ่นและความหนาแน่นสูง ในการทดสอบจะใช้ก้อนตีสงบนแผ่นเหล็กที่วางอยู่บนผิวดินเพื่อสร้างคลื่นสั้นสะเทือนที่ผิวดิน จากนั้นวัดเวลาที่คลื่นเดินทางจากจุดที่ค้อนตีสงสัญญาณคลื่นสั้นสะเทือนไปยังชุดอุปกรณ์รับคลื่นจีโอโฟนจำนวน 12 ตัว แต่ละตัววางห่างกัน 2 เมตร สัญญาณจะถูกส่งที่ผิวดินห่างจากจีโอโฟนตัวแรกเป็นระยะทางจาก 0-50 เมตร ซึ่งระยะนี้จะสามารถวิเคราะห์ความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินที่มีความหนา 12-14 เมตร ได้



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์เป็นเดอริอัสลิเมนต์ (BE) บนตัวอย่างดินเหนียว



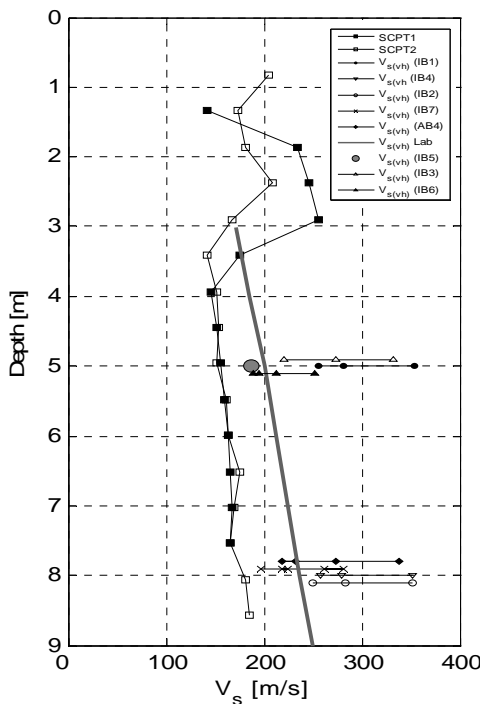
รูปที่ 5 เส้นทางหน่วยแรงในการทดสอบแรงอัดสามแกน

2.5 การทดสอบเป็นเดอริอัสลิเมนต์

การทดสอบเป็นเดอริอัสลิเมนต์ (Bender Element Test) เพื่อหาความเร็วคลื่นเฉือนจะใช้ตัวเซ็นเซอร์แบบ Piezoceramic โดยที่คลื่นเฉือนจะถูกส่งและรับด้วยเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ด้านปลายของตัวอย่างดิน ความเร็วคลื่นเฉือนสามารถคำนวณได้จากระยะทางระหว่างเซ็นเซอร์กับเวลาเดินทางของคลื่นเฉือน โครงการวิจัยนี้ใช้วิธีใหม่ที่สามารถใช้วัดความเร็วคลื่นเฉือนได้หลายทิศทาง (Multi-Directional Bender Element Technique) ซึ่งวิธีนี้ถูกอธิบายโดยละเอียดใน Fioravante และ Capoferri. [5] รูปที่ 4 แสดงทิศทางการเดินทางของคลื่นเฉือนในตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบแรงอัดสามแกนและคำนวณหาความเร็วคลื่น

เงื่อนไขได้ 3 แบบดังนี้ $V_{s(vh)}$, $V_{s(hh)}$ และ $V_{s(hv)}$ โดย $V_{s(vh)}$ คือความเร็วคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง $V_{s(hh)}$ คือความเร็วคลื่นเฉือนซึ่งเคลื่อนที่ในแนวราบและคลื่นเฉือนสั้นในแนวราบ และสุดท้าย $V_{s(hv)}$ คือความเร็วคลื่นเฉือนซึ่งเคลื่อนที่ในแนวราบและคลื่นเฉือนสั้นในแนวตั้ง

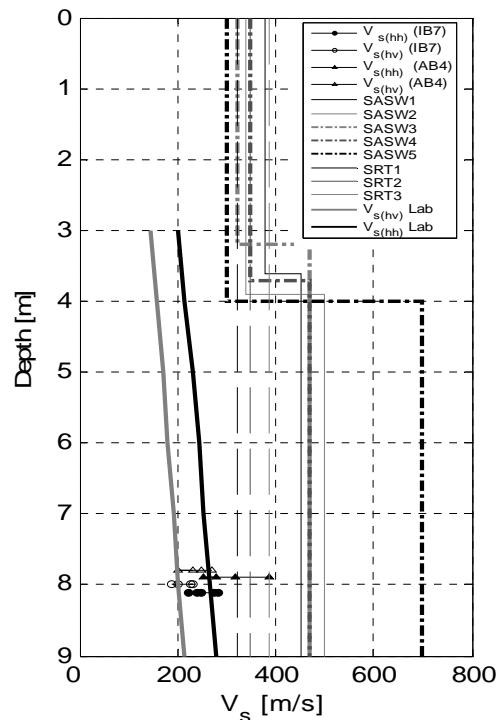
อุปกรณ์ทดสอบแรงอัดสามแกนจะสามารถอัดตัวอย่างดินเหนียวมุมสู่สถานะทั้ง Isotropic และ Anisotropic สำหรับการทดสอบในสถานะ Isotropic จะใช้สัญลักษณ์ IBx และสำหรับการทดสอบในสถานะ Anisotropic ที่ (K=2.0) จะใช้สัญลักษณ์ ABx ซึ่ง I หมายถึง Isotropic, A หมายถึง Anisotropic, B หมายถึง Boom Clay และ x คือลำดับที่ของการทดสอบ โดยรูปที่ 5 แสดงเส้นทางของหน่วยแรง (Stress Paths)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง $V_{s(vh)}$ กับความลึกของชั้นดิน

3. ผลการทดลอง

รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบวัดความเร็วคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งตามระดับความลึกของชั้นดิน จากผลการทดสอบในภาคสนามของ SCPT และในห้องปฏิบัติการทดสอบแรงอัดสามแกนทั้งในสถานะ Isotropic และ Anisotropic พบว่าความเร็วของคลื่นเฉือนเพิ่มขึ้นตามความความลึกของดิน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนเคลื่อนที่ในแนวราบ $V_{s(hh)}$ และ $V_{s(hv)}$ กับความลึกของชั้นดิน

รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบการวัดความเร็วคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวราบ ซึ่งจากผลการทดสอบในภาคสนามของ SASW, SRT และในห้องปฏิบัติการทดสอบแรงอัดสามแกนทั้งในสถานะ Isotropic และ Anisotropic พบว่าความเร็วของคลื่นเฉือนจากห้องปฏิบัติการต่ำกว่าจากภาคสนามทั้งนี้อาจเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าความเร็วคลื่นเฉือนจาก SASW และ SRT นี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐาน Linear Elastic Isotropic ซึ่งไม่เหมาะสมกับชั้นดินเหนียวมุมที่มีคุณสมบัติเป็น Anisotropy และเมื่อ

เปรียบเทียบผลการทดลองจากรูปที่ 6 กับรูปที่ 7 พบว่าตัวอย่างดินเหนียวบวมที่ทดสอบมีความเป็น Anisotropy ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วของคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวราบมีค่าเป็นสองเท่าของความเร็วของคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง

4. สรุป

ความเร็วของคลื่นเฉือนสามารถแสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันทางกายภาพ (Anisotropy) ของชั้นดินได้ โดยชั้นดินเหนียวบวมที่เมือง Sint-Katelijn-Waver ในประเทศเบลเยียมมีความเป็น Anisotropy ค่อนข้างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วของคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวราบมีความแตกต่างกันมาก โดยความเร็วของคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวราบจะสูงกว่าในแนวตั้งประมาณ 1-2 เท่า นอกเหนือจากนี้จากผลการทดสอบวัดความเร็วคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งในภาคสนามของ SCPT และในห้องปฏิบัติการทดสอบแรงอัดสามแกนทั้งในสถานะ Isotropic และ Anisotropic พบว่าความเร็วของคลื่นเฉือนเพิ่มขึ้นตามความความลึกของดิน แสดงให้เห็นว่ากำลังของดินเพิ่มขึ้นตามความลึก ส่วนผลการทดสอบวัดความเร็วคลื่นเฉือนที่เคลื่อนที่ในแนวราบในภาคสนามของ SASW, SRT และในห้องปฏิบัติการ พบว่าความเร็วของคลื่นเฉือนจากห้องปฏิบัติการต่ำกว่าจากภาคสนามทั้งนี้อาจเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าความเร็วคลื่นเฉือนจาก SASW และ SRT นี้อยู่ภายใต้สมมติฐาน Linear Elastic Isotropic ซึ่งไม่เหมาะสมกับชั้นดินเหนียวบวมนี้ที่เป็น Anisotropy

เอกสารอ้างอิง

- 1 P. Mengé. Soil investigation results at Sint-Katelijne-Waver (Belgium). *Proc. Screw Piles-Installation and Design in Stiff Clay*, 2001, pp. 19-62.
- 2 W. Haegeman and P. Mengé. In situ and laboratory shear wave velocity measurements of the Boom clay. *Proc. the 15th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical*

Engineering: the First Intern. Conf. of the Third Millennium, 2001, pp. 415-418.

- 3 L. Karl. Dynamic soil properties out of SCPT and bender element tests with emphasis on material damping, *PhD thesis*, Ghent University, 2005.
- 4 S.H. Joh. *Software program, WinSASW2*, University of Texas, Austin, 1992.
- 5 V. Fioravante and R. Capoferri. On the using of multi-directional piezoelectric transducers in triaxial testing. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 24, No. 3, 2001, pp. 243-255.