

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

ผลการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นผลจากการทดสอบดินเหนียวอ่อนที่ ถนนบางนา-ตราด กม. 28+600 เพื่อทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสเฉือน (Shear Modulus ,G) โดยการทดสอบแบบวิธี Bender Element ซึ่งติดตั้งในอุปกรณ์ Oedometer Test แบบมาตรฐาน ASTM และทำการทดสอบในสภาพจำลองตามธรรมชาติ กล่าวคือ ใช้สภาพแรงกดในแนวตั้ง (σ'_v) ที่กดทับตัวอย่างดิน ก่อนที่จะทำการเจาะสำรวจดินและใช้การเก็บตัวอย่างดินแบบกระบอกบาง (Piston Sample) ซึ่งนำทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม คือ Liquid Limit, Plastic Limit, Plastic Index, Density และ Water Content

การทดสอบ Shear Modulus ของดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพมหานคร ได้เคยมีการศึกษาของ Ashford et al ,1997 โดยการใช้การทดสอบแบบ Down Hole Test และ พิพัฒน์ ทองฉิม,1998 โดยการใช้การทดสอบแบบ Cyclic Triaxial Test ซึ่งทั้งผลการทดสอบทั้ง 2 แบบ พบว่าค่า Shear Modulus มีค่าที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีข้อสังเกตที่ว่า การทดสอบแบบ Down Hole Test ให้ค่าที่สูงกว่าแบบ Cyclic Triaxial Test

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติอื่นๆที่มีผลกระทบต่อค่าโมดูลัสเฉือน อาทิ เช่น ความถี่(Frequency),ความสูงคลื่น(Amplitude),ระยะห่างระหว่าง Bender Element , Overurden Pressure และคุณสมบัติทางวิศวกรรมพื้นฐานทั่วไป ที่สามารถทำให้เกิดแนวโน้มในการเพิ่มหรือลดลงของโมดูลัสเฉือนว่าเป็นอย่างไร หรือสามารถหาแนวทางการแก้ไขหรือเพิ่มค่าโมดูลัสเฉือนในการปรับปรุงหรือในการก่อสร้างต่อไป

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม

4.2.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรม

ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบครั้งนี้ ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวอ่อนจาก บริเวณ ถ. สายบางนา-บางปะกง กม.29-800 แสดงในตารางที่ 4.1 เป็นการสะดวกในการ วิเคราะห์ผลการทดสอบ จึงได้ทำการแบ่งชั้นดินออกเป็นชั้นๆ โดยพิจารณาจากชนิดของดิน ความหนาแน่นเปียก ปริมาณน้ำในธรรมชาติ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม

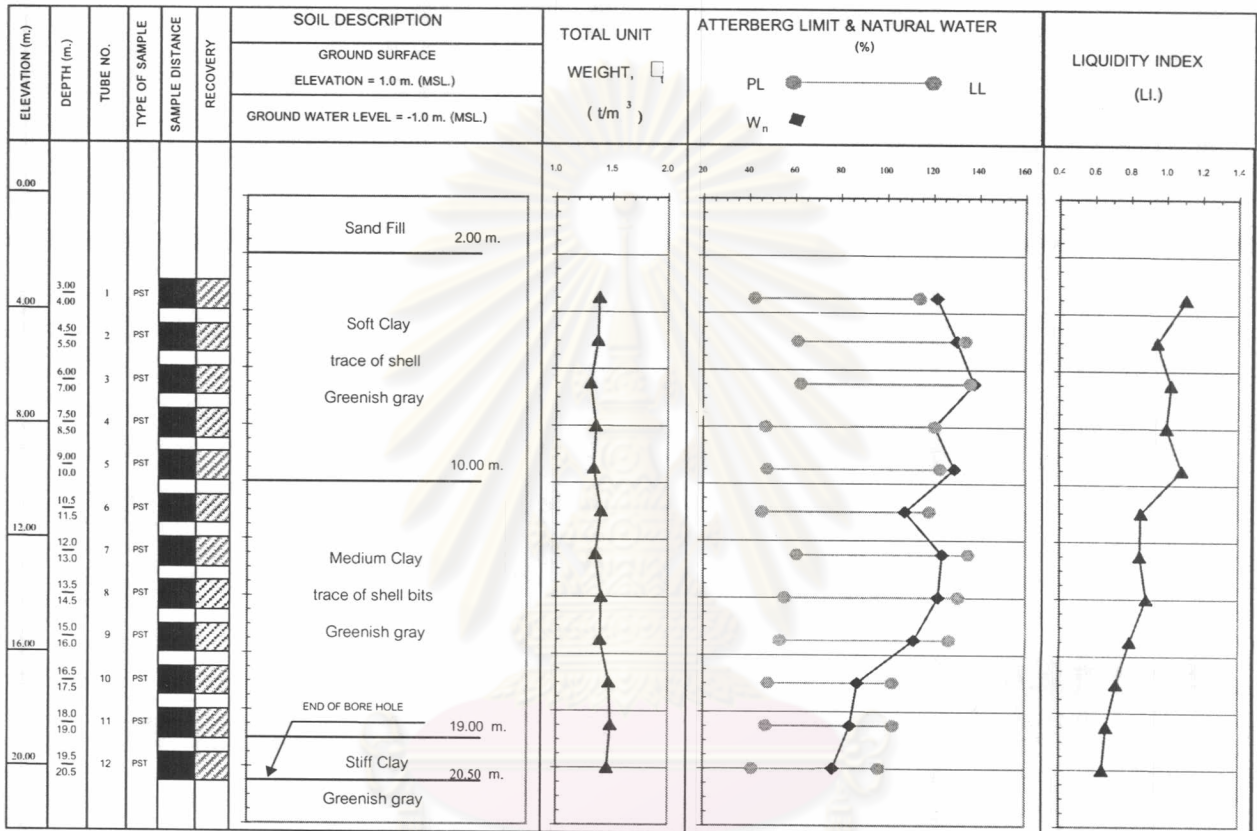
No	Depth (m)	Density (kg/m ³)	Water Content (%)	Atterberg Limit		
				LL	PL	PI
1	15	1430	121	125	50	65

4.2.2 ลักษณะทางกายภาพ

ดินที่ถูกนำมาใช้ทดสอบเป็นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อน เนื้อละเอียด สีดำปนสีเทา มีซากพืชและเปลือกหอยปนบางส่วน มีกลิ่นแรงซึ่งแสดงว่าเป็นดินที่เกิดจากการทับถมกันเป็น เวลานาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOIL BORING LOG
BANG NA - BANG PAKONG ROAD KM.29-800



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 4.1 Soil Boring Log ของตัวอย่างดินจากบริเวณ ถนน บางนา-ตราด กม. 28+600

4.3 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสเฉือนโดย Bender Element

จากการศึกษาข้อมูลการวิจัยต่างๆ พบว่ามีอิทธิพลหรือปัจจัยจากตัวหลายตัวแปรที่ส่งผลต่อการประเมินค่าโมดูลัส จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคลื่นแรงเฉือน และได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นแรงเฉือน

จากการส่งคลื่นแรงเฉือนด้วย Bender element ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์การอัดตัวคาน้ำแบบ 1 มิติ สามารถวัดเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่และคำนวณหาค่าโมดูลัสเฉือนแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเวลาการเคลื่อนที่, ความถี่, ความเร็วคลื่นแรงเฉือน และค่าโมดูลัสเฉือนที่ได้จากการคำนวณ

Amplitude (AVC)	±50			
frequency (Hz)	Time (ms)	Vs (m/s)	Strain	G (Mpa)
100	1.4	29.2	7.86E-02	1.409
150	1.3	30.7	7.19E-02	1.557
200	1.2	32.6	6.64E-02	1.758
250	1.1	35.7	5.64E-02	2.099
300	1.0	39.2	4.51E-02	2.540
350	1.0	40.2	3.75E-02	2.663
400	0.9	43.5	3.11E-02	3.125
450	0.9	45.8	2.52E-02	3.467
500	0.8	50.5	2.08E-02	4.207

(1) แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งคลื่น 50 VAC

Amplitude (AVC)	±100			
frequency (Hz)	Time (ms)	Vs (m/s)	Strain	G (Mpa)
100	1.35	29.59	1.53E-01	1.445
150	1.29	31.09	1.47E-01	1.595
200	1.16	34.41	1.31E-01	1.954
250	1.12	35.67	1.17E-01	2.099
300	1.02	39.24	9.16E-02	2.540
350	1.00	40.17	7.97E-02	2.663
400	0.92	43.52	6.90E-02	3.125
450	0.82	48.88	5.69E-02	3.943
500	0.77	52.22	4.31E-02	4.500

(2) แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งคลื่น 100 VAC

Amplitude (AVC)	±150			
frequency (Hz)	Time (ms)	Vs (m/s)	Strain	G (Mpa)
100	1.352	29.593	2.12E-01	1.445
150	1.287	31.091	1.91E-01	1.595
200	1.173	34.103	1.76E-01	1.919
250	1.102	36.290	1.53E-01	2.173
300	1.072	37.303	1.44E-01	2.296
350	0.996	40.174	1.21E-01	2.663
400	0.919	43.519	1.07E-01	3.125
450	0.843	47.476	8.21E-02	3.719
500	0.780	51.263	6.87E-02	4.336

(3) แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งคลื่น 150 VAC

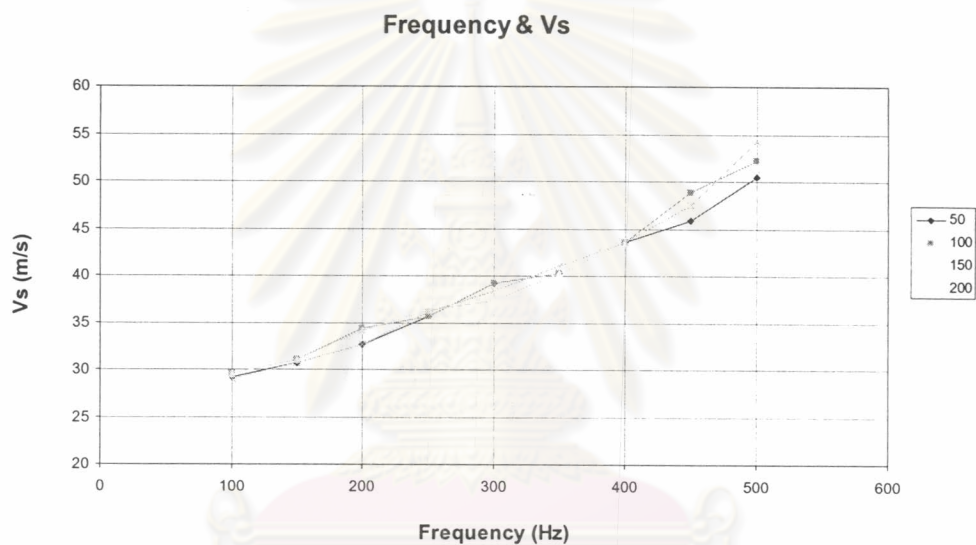
Amplitude (AVC)	±200			
frequency (Hz)	Time (ms)	Vs (m/s)	Strain	G (Mpa)
100	1.379	29.014	3.08E-01	1.389
150	1.302	30.719	2.68E-01	1.557
200	1.225	32.641	2.51E-01	1.758
250	1.109	36.081	2.23E-01	2.148
300	1.040	38.447	1.95E-01	2.439
350	0.976	40.980	1.57E-01	2.771
400	0.919	43.519	1.40E-01	3.125
450	0.843	47.476	1.52E-01	3.719
500	0.738	54.227	8.86E-02	4.852

(4) แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งคลื่น 200 VAC

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของอิทธิพลที่เกิดจากความถี่และความสูงคลื่นต่อความเร็วคลื่นแรงเฉือน, ความเครียดเฉือนและโมดูลัสเฉือน

1) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วคลื่นแรงเฉือน

เมื่อพิจารณาค่าในตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อความถี่ที่ใช้กำเนิดคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น จะ เป็นผลทำให้เวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นลดลง และเนื่องระยะเวลาในการเคลื่อนที่มีค่าคงที่ ดังนั้นค่า ความเร็วคลื่นแรงเฉือนที่คำนวณได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้นและเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความถี่ที่ใช้กำเนิด คลื่น ค่าความถี่กับความเร็วคลื่นแรงเฉือนมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และจากผลการ ทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าความเร็วคลื่นแรงเฉือนแปรผันตรงกับความถี่ที่ใช้กำเนิด

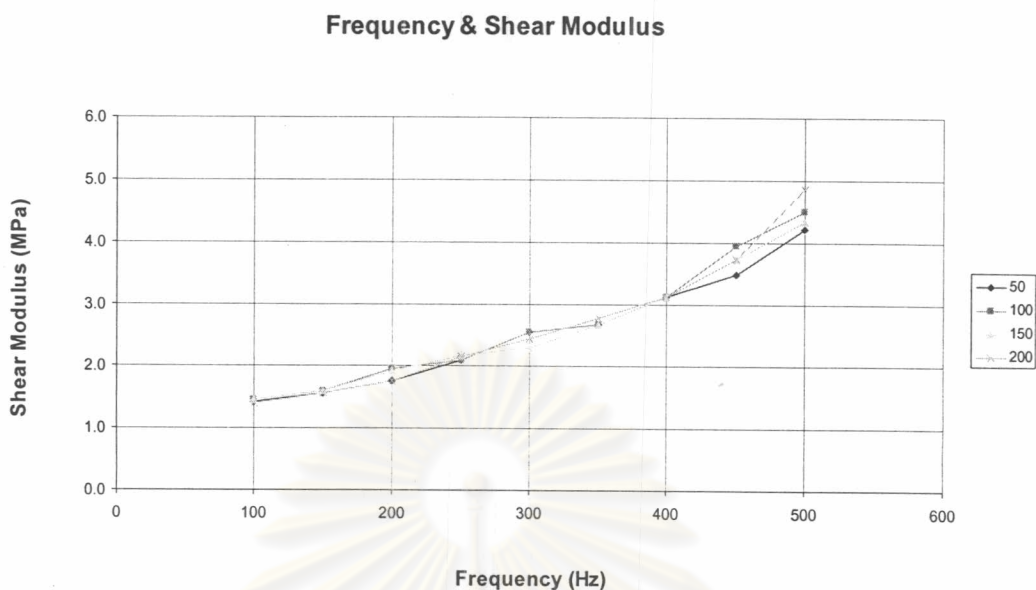


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วคลื่นแรงเฉือน

2) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับโมดูลัสเฉือน

เนื่องจากค่าความเร็วคลื่นแรงเฉือนแปรผันตรงกับความถี่ที่ใช้กำเนิดดังแสดงในข้อ

1) ข้างต้นและประกอบกับค่าโมดูลัสเฉือนมีความสัมพันธ์กับความเร็วคลื่นแรงเฉือนตามสมการที่ ในบทที่ 2 ค่าโมดูลัสเฉือนที่คำนวณได้จึงมีค่าแปรผันตามความถี่เช่นกัน ความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่กับโมดูลัสเฉือนแสดงไว้ตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่โมดูลัสเฉือน

4.3.2 ผลการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่นของความเร็วคลื่นแรงเฉือน

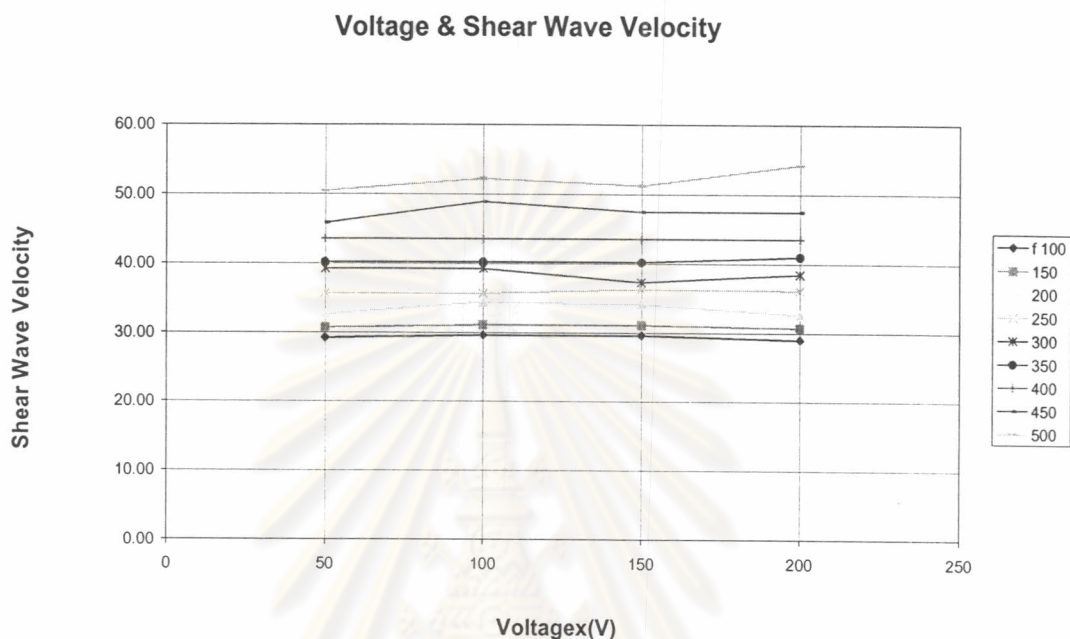
จากการทดสอบการส่งคลื่นแรงเฉือนด้วย Bender element ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์การอัดตัวคายนํ้าแบบ 1 มิติ สามารถวัดเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่และคำนวณหาค่าโมดูลัสเฉือนแสดงได้ในตารางที่ 4.3 ในหัวข้อที่ 4.3.1

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลของความสูงคลื่นแรงเฉือนที่มีต่อการแพร่กระจายของคลื่นแรงเฉือนในตัวอย่างดินได้ดังนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับความถี่คลื่นแรงเฉือน

เมื่อพิจารณาค่าในตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อความสูงคลื่นที่ใช้กำเนิดคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้เวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเนื่องระยะเวลาในการเคลื่อนที่มีค่าคงที่ จึงทำให้ค่าความเร็วคลื่นแรงเฉือนที่คำนวณได้จึงมีค่าคงที่ตามไปด้วย

ค่าความถี่กับความเร็วคลื่นแรงเฉือนมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ดังนั้นจึงพอที่จะสรุปได้ว่าความถี่สูงคลื่นที่ใช้กำเนิดคลื่นแรงเฉือนไม่มีผลต่อความเร็วคลื่นแรงเฉือน

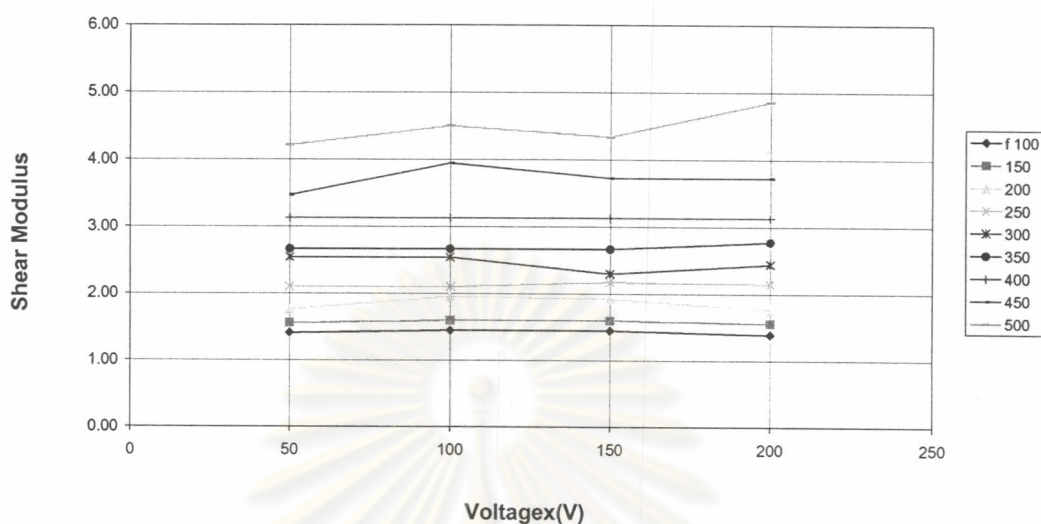


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความสูงคลื่นกับความเร็วคลื่นแรงเฉือน

2) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความสูงคลื่นกับโมดูลัสเฉือน

เนื่องจากค่าความเร็วคลื่นแรงเฉือนมีแนวโน้มไม่มีการแปรผันความสูงคลื่นที่ใช้กำเนิดดังแสดงในข้อ 1) ข้างต้นและประกอบกับค่าโมดูลัสเฉือนมีความสัมพันธ์กับความเร็วคลื่นแรงเฉือนตามสมการที่ 2.24 ในบทที่ 2 ค่าโมดูลัสเฉือนที่คำนวณได้จึงมีแนวโน้มไม่มีการแปรผันเช่นกัน ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับโมดูลัสเฉือนแสดงไว้ตามรูปที่ 4.5

Voltage & Shear Modulus



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่นกับโมดูลัสเฉือน

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ความสูงคลื่นกับความเครียด

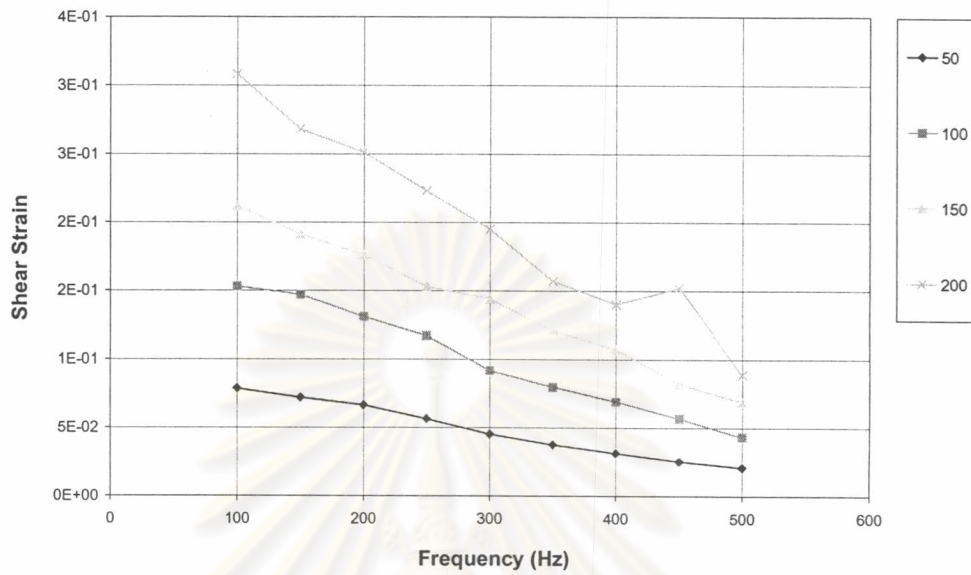
1) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเครียดเฉือน

จากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาค่าในตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อความถี่ที่ใช้กำเนิดคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ค่าความเครียดเฉือนที่คำนวณได้จากสูตร $\gamma = \frac{V_p}{V_s}$ (โดยแสดงการหาค่า V_p ไว้ในภาคผนวก) มีแนวโน้มลดลงเป็นส่วนเชิงเส้นกับความถี่ที่ใช้กำเนิดคลื่น ดังนั้นความถี่กับความดันเฉือนมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.6

2) ความสัมพันธ์ระหว่างความความสูงคลื่นกับความเครียดเฉือน

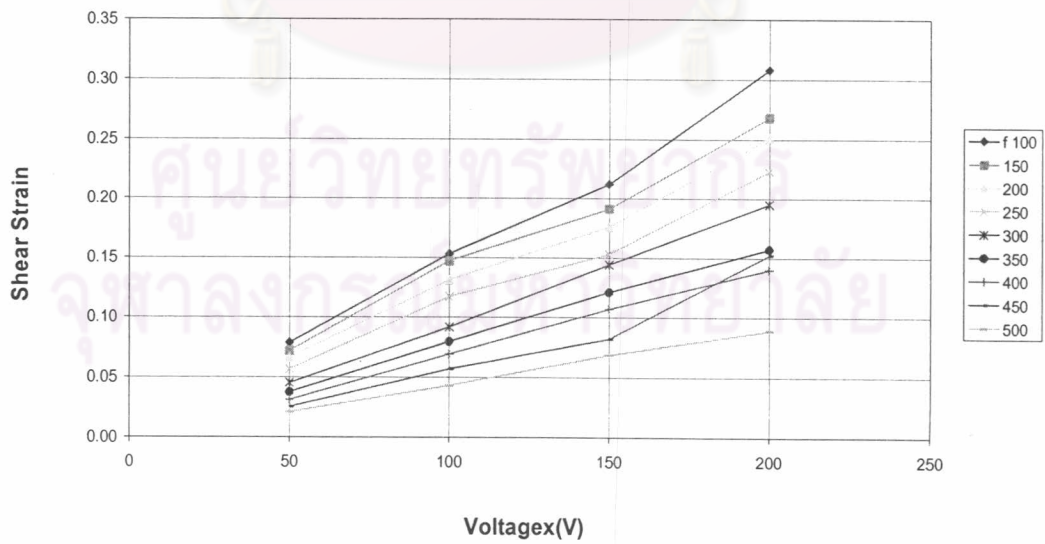
จากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาค่าในตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อความสูงคลื่นที่ใช้กำเนิดคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ค่าความเครียดเฉือนที่คำนวณได้จากสูตร $\gamma = \frac{V_p}{V_s}$ (โดยแสดงการหาค่า V_p ไว้ในภาคผนวก) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นส่วนเชิงเส้นกับความสูงคลื่นที่ใช้กำเนิดคลื่น ดังนั้นค่าความสูงคลื่นกับความดันเฉือนมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.7

Shear Strain & Frequency



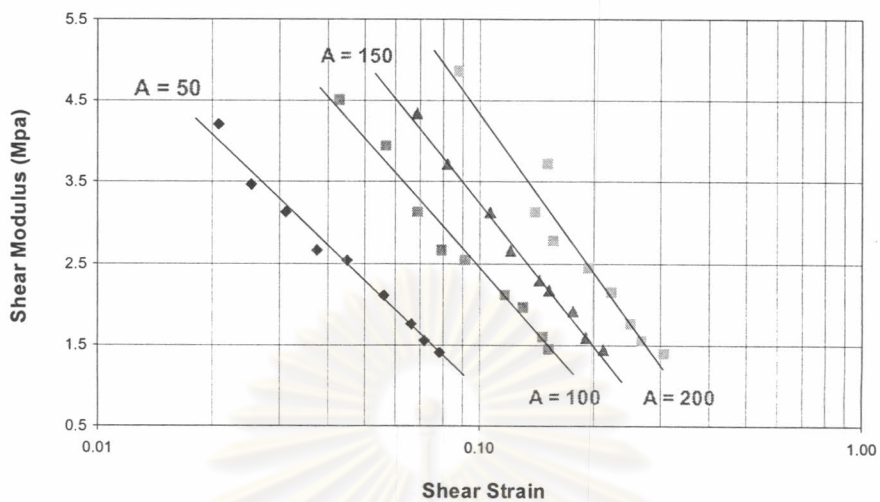
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเครียดเฉือน

Voltage & Shear Strain



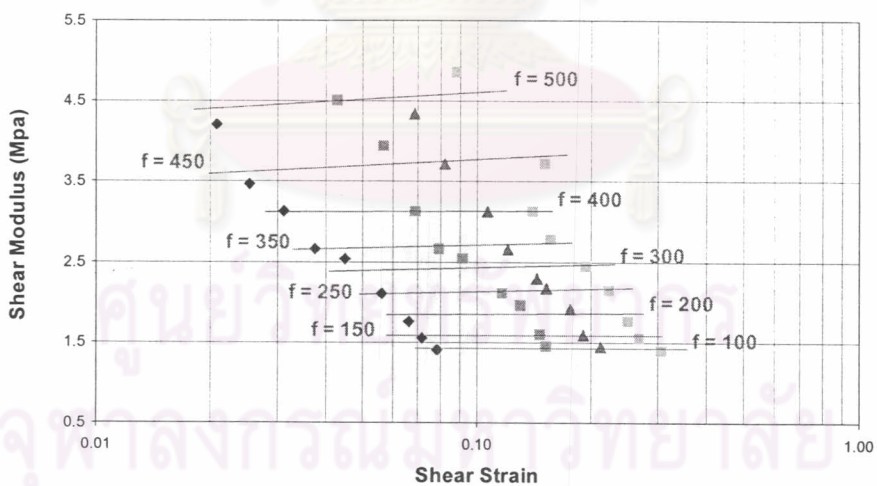
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเครียดเฉือน

Shear Modulus & Shear Strain



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสเฉือนกับความเครียดเฉือน(ผลกระทบของความถี่)

Shear Modulus & Shear Strain



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสเฉือนกับความเครียดเฉือน(ผลกระทบของความถี่)

เมื่อรวมผลกระทบของความถี่และความสูงคลื่นจากแหล่งกำเนิด จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสเฉือนกับค่าความเครียดเฉือน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเครียดเฉือนที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นของแหล่งกำเนิด และเมื่อพิจารณาถึงความถี่ที่เพิ่มขึ้น ก็ส่งผลให้ค่าโมดูลัสเฉือนที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ในทางกลับกันทำให้ค่าความเครียดเฉือนที่คำนวณได้ลดลง ผลกระทบทั้ง 2 ตัวแปรนั้นทำให้ค่าที่กล่าวไปเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางต่างๆ และเป็นที่น่าสนใจว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร จึงจำเป็นจะต้องมีการหาคำอธิบายต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย