

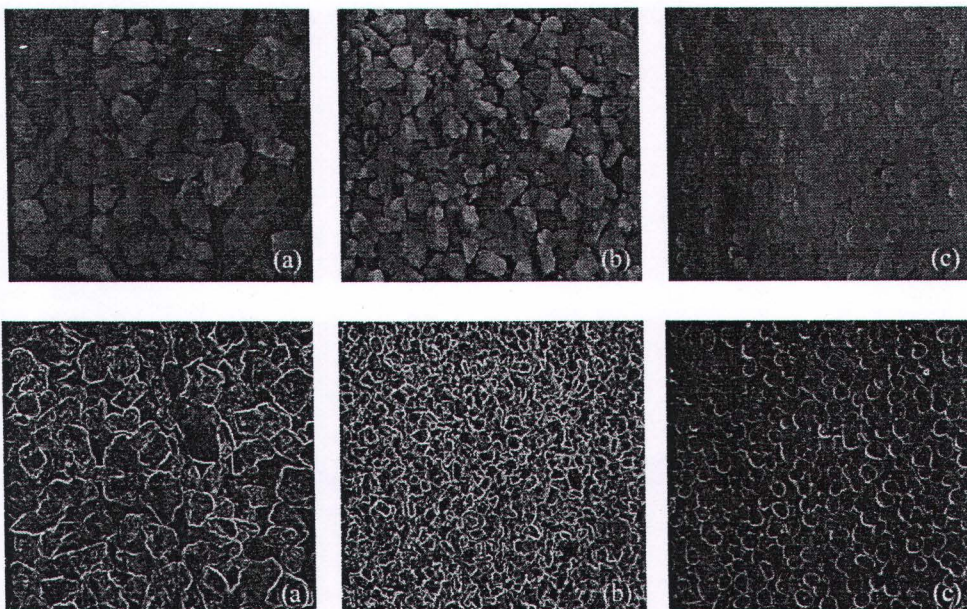


บทที่ 3

วิธีและขั้นตอนในการทดสอบ

3.1 คุณสมบัติของดินทราย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ดินทราย 2 ชนิดจะถูกนำมาใช้ในการทดสอบ โดยดินทรายชนิดแรก นำมาจากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จังหวัดชลบุรี โดยลักษณะของเม็ดทรายชนิดนี้จะมีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมมุมเล็กน้อย (Sub-angular shape) และมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม (Low sphericity) ซึ่งดินทรายที่นำมานี้จะถูกร่อนผ่านตะแกรงตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (US standard size) ทรายที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 16 และ 40 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดทรายเท่ากับ 1.18 และ 0.425 มิลลิเมตรจะถูกนำมาใช้ในการทดสอบ โดยต่อไปนี้จะเรียกว่าตัวอย่างดินทรายแบบ D16 และ D40 ตามลำดับ ส่วนดินทรายชนิดที่สองจะเป็นดินทรายมาตรฐานที่มีชื่อเรียกทางการค้าว่า ทรายทดสอบซิลิกา (Silica test sand) ตามมาตรฐาน ASTM C-778#20 - 30 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดทรายเท่ากับ 0.60 มิลลิเมตร ลักษณะของเม็ดทรายมีลักษณะที่ไม่มีเหลี่ยมมุมและมีรูปร่างที่กลม (Rounded shape with high sphericity) รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะเหลี่ยมมุมและรูปร่างของเม็ดทรายที่ใช้ในการทดสอบ และในตารางที่ 3-1 แสดงถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของดินทราย เช่น ค่าอัตราส่วนช่องว่างต่ำสุดและสูงสุด ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน เป็นต้น



รูปที่ 3.1 ลักษณะและรูปร่างของดินทรายที่ใช้ในการทดสอบ (a) D16 (b) D40 และ (c) Silica ทรายทดสอบ

ห้องสมุดวิจัย
วันที่..... 2 กค 2555
เลขทะเบียน..... 245892
เลขเรียกหนังสือ.....

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของดินทรายเบื้องต้น

Basic property	D16	D40	Silica sand
Shape of grain particle	Low to medium sphericity with angular shape	Low to medium sphericity with angular shape	High sphericity with well rounded shape
Mean size particle, d_{50} (mm)	1.18	0.465	0.60
Specific gravity, G_s	2.69	2.72	2.65
Maximum void ratio, e_{max}	1.06	1.12	0.6
Minimum void ratio, e_{min}	0.713	0.808	0.459

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1) การหาค่าความเร็วคลื่นแรงเฉือนในเครื่องมือทดสอบความไม่สม่ำเสมอของดิน โดยจะดำเนินการทดสอบเพื่อกำหนดค่าความอ่อนไหว และ ความน่าเชื่อถือ (Sensitivity and Reliability tests) ซึ่งจะทำให้การปรับปรุงเครื่องมือเพื่อให้สามารถสร้างตัวอย่างดินทรายที่มีรูปแบบของความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นในรูปแบบที่กำหนด เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วคลื่นแรงเฉือนในตัวอย่างดินเหล่านั้น เพื่อกำหนดค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) ของการทดสอบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

- อุปกรณ์ทดสอบความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่างดิน
- คอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลการทดสอบ
- Bender Element
- เครื่องกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า (Signal generator)
- เครื่องแปลสัญญาณคลื่น (Oscilloscope)

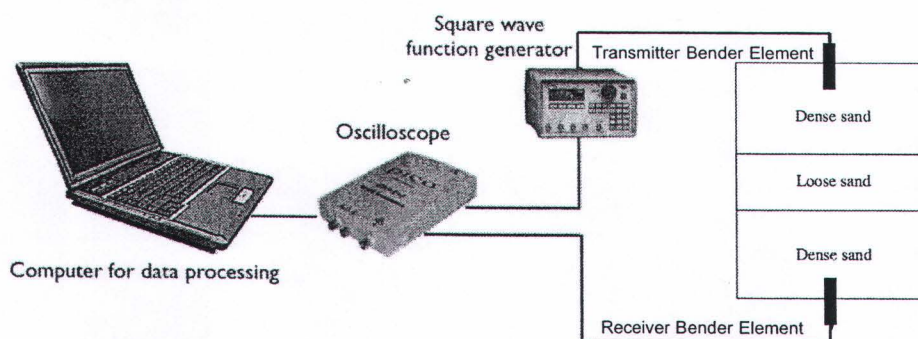
โดยลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.2

2) การหาค่าความเร็วคลื่นแรงเฉือนในเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นแรงเฉือน ความหนาแน่น และ สภาวะของหน่วยแรงของดินทรายที่ใช้ในการทดสอบ ทั้งนี้การทดสอบจะประกอบไปด้วยการทดสอบแบบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำโดยใช้ตัวอย่างดินทรายที่มีสภาวะการอัดตัวคายน้ำแบบเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic) โดยความหนาแน่นของตัวอย่างดินที่ใช้จะมีค่าครอบคลุมค่าอัตราส่วนความหนาแน่นสูงสุด และ ต่ำสุด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ จะต้องได้รับการปรับปรุงจนสามารถวิเคราะห์ความหนาของบริเวณที่เกิด Localization ได้อย่างค่อนข้างแม่นยำ โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ส่ง

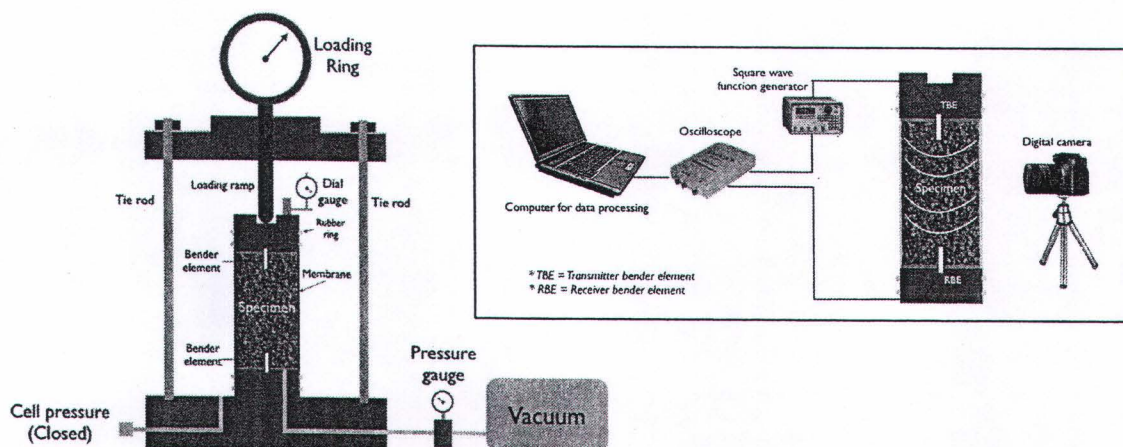
และตรวจจับคลื่นแรงเฉือนจำนวน 2 ชุด และมีระบบวิเคราะห์ภาพถ่ายประกอบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

- เครื่องมือทดสอบแบบแรงอัดสามแกน
- Membrane ที่มีการวาดตารางขนาดประมาณ 5 x 5 มิลลิเมตร เพื่อช่วยในการตรวจสอบความเครียดและขอบเขตของ Localization
- บั้มสุญญากาศ (Vacuum)
- คอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลการทดสอบ
- Bender Element
- เครื่องกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า (Signal generator)
- เครื่องแปลสัญญาณคลื่น (Oscilloscope)
- กล้องถ่ายภาพนิ่งความละเอียด 6 ล้านพิกเซล

โดยลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การทดสอบความไม่สม่ำเสมอของดินทรายโดยใช้คลื่นแรงเฉือน



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิด Localization บนเครื่องแรงอัดสามแกน โดยมีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

3.3 วิธีเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

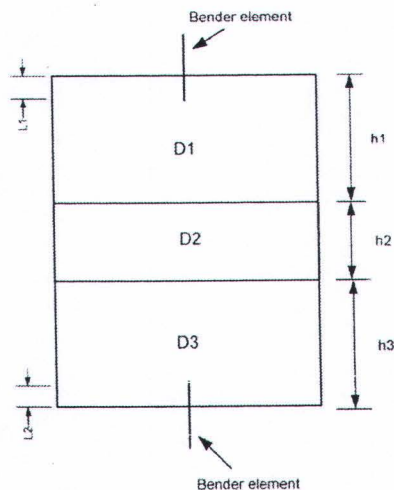
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนในการทดสอบสำหรับทดสอบในเครื่องทดสอบความไม่สม่ำเสมอของดินทราย

ขั้นตอนที่ 1

1. นำตัวอย่างทรายไปล้างน้ำให้สะอาดหลังจากนั้นนำเข้าเตาอบเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้ตัวอย่างดินทรายแห้งสนิท
2. นำตัวอย่างมาร้อนผ่านตะแกรงโดยคัดขนาดที่มากกว่าตะแกรงเบอร์ 8 และผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ออก
3. เตรียมตัวอย่างโดยการปล่อยทรายให้ตกแบบอิสระผ่านกรวยกลมในเครื่องมือทดสอบให้ได้ความสูงของตัวอย่างประมาณ 10 เซนติเมตร
4. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินทราย โดยให้ตัวอย่างดินทรายอยู่ในสภาพหลวมมาก ($D_r \sim 10\%$)
5. นำตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการทรุดตัวของตัวอย่าง
6. ใส่น้ำหนักกระทำไปบนตัวอย่าง ดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25 kPa จากนั้นวัดความเร็วคลื่นแรงเฉือนในแต่ละน้ำหนักที่กระทำ
7. ทำการทดสอบใหม่ โดยเปลี่ยนความหนาแน่นของตัวอย่างเป็น สภาพแน่นปานกลาง ($D_r \sim 45\%$) และ สภาพแน่นมาก ($D_r \sim 75\%$) ตามลำดับและปฏิบัติเช่นเดียวกันกับข้อ 5 และ 6

ขั้นตอนที่ 2

1. เตรียมตัวอย่างทรายโดยให้ตัวอย่างทรายมีความหนาแน่นที่แตกต่างกันดังรูปที่ 3.4 และตารางที่ 3-2
2. ในการเตรียมตัวอย่างนั้น ในชั้น D1 และ D3 จะกำหนดเป็นสภาพแน่น (Dense) ส่วนในชั้น D2 จะกำหนดให้เป็นสภาพหลวม (Loose) และขณะที่กำลังเตรียมตัวอย่างให้ทำการหาความหนาแน่นของตัวอย่างในแต่ละชั้นที่เตรียมตัวอย่างด้วย
3. นำตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการทรุดตัวของตัวอย่าง
4. ใส่น้ำหนักกระทำไปบนตัวอย่าง ดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25 kPa วัดความเร็วคลื่นแรงเฉือนในแต่ละน้ำหนักที่กระทำ
5. ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ตัวอย่างแล้วทดสอบเงื่อนไขใหม่ ดังตารางที่ 3-2 และปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2 ถึง 4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวอย่างดินทรายที่ทำการทดสอบความไม่สม่ำเสมอ
ของตัวอย่างดินโดยการวัดคลื่นแรงเฉือน

ตารางที่ 3-2 ค่าความสูงของตัวอย่างดินทรายในการทดสอบความไม่สม่ำเสมอของดิน

Type	h1 (cm)	D1 (cm)	h2 (cm)	D2 (cm)	h3 (cm)	D3 (cm)
A	4	Dense	2	Loose	4	Dense
B	5	Dense	1	Loose	4	Dense
C	4	Loose	2	Dense	4	Loose
D	5	Loose	1	Dense	4	Loose

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนในการทดสอบในเครื่องแรงอัดสามแกน

1. สวม Rubber membrane ที่มีการตีตารางขนาดประมาณ 5 x 5 มิลลิเมตรลงบนฐาน
ของเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน

2. ชั่งน้ำหนักดินทรายตามน้ำหนักที่ใช้ในแต่ละการทดสอบ โดยน้ำหนักทรายที่ชั่งควรมี
น้ำหนักมากกว่าน้ำหนักที่ใช้ในตัวอย่างเล็กน้อย

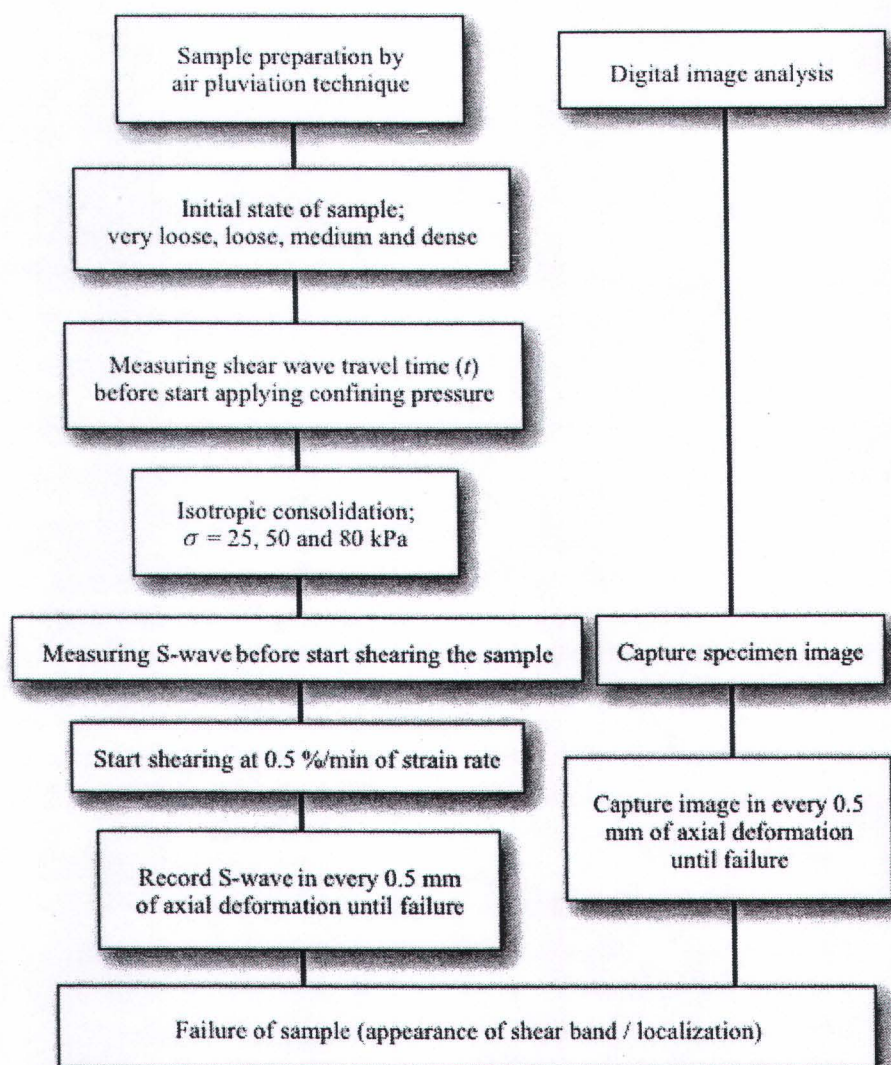
3. ติดตั้งกระบอกผ้าไวบนฐานของเครื่องทดสอบให้ครอบ Rubber membrane ไว้และ
ในส่วนด้านบนของกระบอกผ้าให้พับ Rubber membrane ที่พันออกมาคลุมกระบอกผ้าไว้

4. เปิดปั๊มดูดอากาศประมาณ 5 – 10 kPa เพื่อให้ Rubber membrane ที่อยู่ใน
กระบอกผ้าตึงแนบสนิทเพื่อป้องกันช่องว่างระหว่างการใส่ตัวอย่างดินทรายลงในกระบอกผ้า

5. ใส่ทรายที่เตรียมไว้ลงใน Rubber membrane ด้วยวิธีการตกแบบอิสระ (Air pluviation) ผ่านกรวยกลม โดยกำหนดระยะห่างระหว่างปลายกรวยกับผิวบนของทรายใน Mold ให้เท่ากันตลอดในขณะเตรียมตัวอย่าง โดยระยะการตกของทรายขึ้นอยู่กับความแน่นของทราย เริ่มต้นที่ต้องการทดสอบ โดยระยะตกกระทบบที่มากขึ้นจะทำให้ตัวอย่างที่ได้มีความแน่นมากยิ่งขึ้น

6. เมื่อทรายที่เตรียมไว้ถูกปล่อยให้อยู่ใน Mold จนเต็มพอดี ให้ปาดผิวหน้าสุดท้ายของทรายให้เรียบแล้วค่อย ๆ ติดตั้ง Top cap ลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทราย จากนั้นพับปลายของ Rubber membrane ที่เหลือปิดหุ้ม Top cap สุดท้าย จากนั้นใส่ O-Ring ที่ Top cap เพื่อป้องกันการไหลผ่านของอากาศออกจากตัวอย่าง

โดยขั้นตอนในการทดสอบและบันทึกค่าการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดสอบวัดคลื่นแรงเฉือนในตัวอย่างดินทรายบนเครื่องแรงอัดสามแกน

ตารางที่ 3-3 แสดงถึงสภาวะต่าง ๆ ในการทดสอบ (Testing conditions) รวมถึงขนาดของตัวอย่างดินทรายที่ใช้ในการทดสอบบนเครื่องทดสอบแบบแรงอัดสามแกน

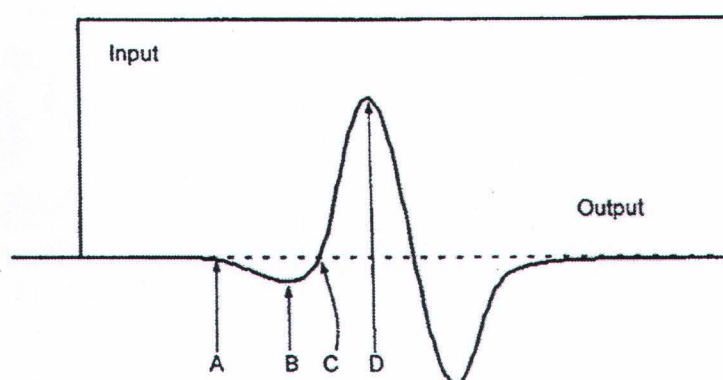
ตารางที่ 3-3 แสดงสภาวะต่าง ๆ ในการทดสอบและขนาดของตัวอย่างในการทดสอบดินทรายบนเครื่องมือแรงอัดสามแกน

Sand	Confining pressure (kPa)	Relative density		Specimen dimension			Image capture
				H (cm)	D* (cm)	Slenderness ratio (H/D)	
D16	25	43.75%	Loose	11.49	4.79	2.39	Yes
		80.98%	Dense	11.80	4.81	2.45	Yes
	50	47.26%	Loose	11.22	4.82	2.32	Yes
		73.09%	Dense	11.67	4.86	2.40	Yes
	80	38.78%	Loose	11.22	4.87	2.30	Yes
		75.66%	Dense	11.54	4.87	2.37	Yes
D40	25	28.65%	Loose	11.27	4.81	2.34	Yes
		79.32%	Dense	11.35	4.85	2.34	Yes
	50	39.85%	Loose	11.21	4.79	2.34	Yes
		81.60%	Dense	11.45	4.82	2.37	Yes
	80	32.48%	Loose	11.27	4.95	2.27	Yes
		81.58%	Dense	11.67	4.78	2.44	Yes
Silica	25	13.58%	Very loose	11.51	4.91	2.34	Yes
		56.83%	Medium	11.50	4.90	2.35	Yes
	50	38.99%	Loose	11.44	4.82	2.37	Yes
		77.09%	Dense	11.19	4.87	2.29	Yes
	80	22.77%	Loose	11.49	4.87	2.35	Yes
		60.66%	Medium	11.44	4.89	2.33	Yes
* $D = \frac{D_{top} + 2D_{middle} + D_{bottom}}{4}$							

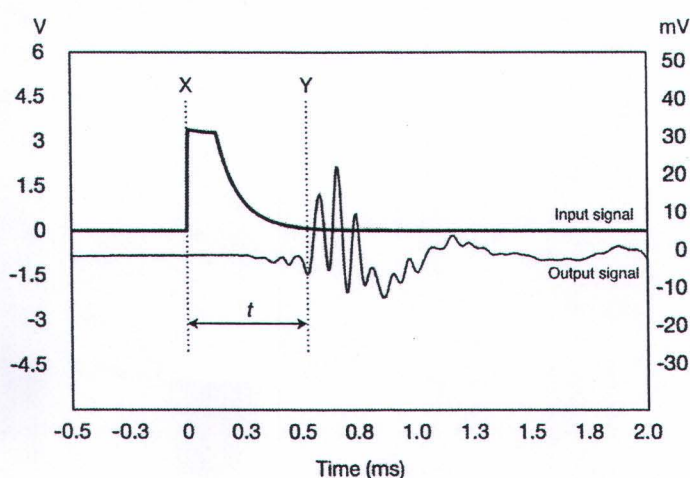
3.4 วิธีการคำนวณคลื่นแรงเฉือน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าการคำนวณหาความเร็วคลื่นแรงเฉือนนั้นสามารถคำนวณโดยใช้สมการอย่างง่ายตามสมการที่ 2.1 แต่อย่างไรก็ตาม การคำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นแรงเฉือนคลื่นที่ผ่านตัวอย่างดินระหว่าง Bender Element 2 ตัวนั้นควรต้องมีการประเมินและระมัดระวังในการคำนวณหาค่าเวลา (t) นี้

Lee and Santamarina (2005) ได้อธิบายถึงวิธีในการคำนวณระยะเวลาของการเดินทางของคลื่นแรงเฉือนดังรูปที่ 3.6 โดยแบ่งการพิจารณาจุดแรกของคลื่นตัวรับที่ควรใช้ในการคำนวณระยะเวลาเดินทางเป็น 4 แบบ คือ A) first deflection, B) first bump maximum, C) zero after first bump, and D) major first peak ซึ่งความยากของการพิจารณาจุดแรกที่ตัวรับสัญญาณจะรับได้นั้นเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “Near-field effect” นั่นเอง ทั้งนี้การพิจารณาว่าจุดใดเป็นจุดที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการคำนวณระยะเวลานั้นอาจต้องพิจารณาจากตัวแปรและลักษณะต่าง ๆ ของการทดสอบนั้น ๆ ขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์และการตีความของนักวิจัย ส่วนในการศึกษาวิจัยชิ้นนี้จะใช้จุดที่เป็นจุด B (First bump maximum) มาใช้ในการคำนวณระยะเวลาเดินทางของคลื่นแรงเฉือน (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.6 แสดงการคำนวณจุดแรกของคลื่นรับ (Output signal) ที่มีผลกระทบของ Near-field แบบต่าง ๆ A) first deflection, B) first bump maximum, C) zero after first bump, and D) major first peak (Lee and Santamarina, 2005)



รูปที่ 3.7 แสดงการคำนวณจุดแรกของคลื่นรับแบบ First bump maximum