



การกำหนดสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน โดยวิธีคลื่นสั่นสะเทือน
Determination of Engineering Property of Soil by Seismic Method

วิลาศ บุรณะวัฒนากุล
Vilat Buranawattanakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Geophysics
Prince of Songkla University

2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การกำหนดสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน โดยวิธีคลื่นสั้นสะท้อน
ผู้เขียน นายวิลาศ บุรณะวัฒนากุล
สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ ไlohะวิจารณ์)ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์บุญเหลือ พงศ์ดารา)
กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ ไlohะวิจารณ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.دنุพล ตันนโยภาส)กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.دنุพล ตันนโยภาส)
กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์)
กรรมการ (ดร.ภาสกร ปนานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การกำหนดสมบัติทางวิศวกรรม ของชั้นดิน โดยวิธีคลื่นสั้นสะเทือน
ผู้เขียน	นายวิลาศ บุรณะวัฒน์นากุล
สาขาวิชา	ธรณีฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกำหนดสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินด้วยวิธีคลื่นสั้นสะเทือนชนิดหักเห ซึ่งสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินประกอบด้วยค่า standard penetration resistance (N) และ ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของชั้นดิน (Q_{ult}) หรือหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_p) โดยทำการศึกษาในพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงและจังหวัดสงขลา รวม 5 แห่ง ซึ่งมีชั้นดินเป็นประเภทชั้นทรายปนกรวด และชั้นดินเหนียวปนกรวดแน่นปานกลางถึงแน่นมาก ผลการศึกษาพบว่าค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน และหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นดินแต่ละชั้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธีการวัดคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเหร่วมกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจจะทำให้สามารถกำหนดลักษณะของโครงสร้างชั้นดินและการผันแปรของค่าแรงแบกทานของชั้นดินอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ศึกษา

Thesis Title Determination of Engineering Property of Soil by Seismic Method
Author Mr. Vilat Buranawattanakul
Major Program Geophysics
Academic year 2007

Abstract

A refraction seismic measurement was carried out in five selected construction sites in Patthalung and Songkhla provinces. An objective of this measurement was to determine the relationships between engineering properties of soil, such as standard penetration resistance (N), ultimate load of soil (Q_{ult}) or bearing capacity of soil at pile tip (q_B), and seismic velocity of soil. The typical soil types in the study areas are composed of gravelly sand and medium stiff gravelly clay. Results obtained from the present study show that the relationship between standard penetration resistance or bearing capacity at pile tip of soil and seismic velocity is linear. Therefore, ground structure and spatial variation of bearing capacity at pile tip of soil within study sites can be determined correctly by combination of refraction seismic measurement and soil boring data.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่าย จึงใคร่ขอขอบคุณหน่วยงานดังต่อไปนี้ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนเงินอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อระดับปริญญาโทจนจบการศึกษา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง และ หจก.มหานครการช่าง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ภายในมหาวิทยาลัยเพื่อใช้ทำการศึกษาวิจัย และสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Uppsala ประเทศสวีเดนที่สนับสนุนเครื่องมือวิจัย

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ และบุคลากรจากหน่วยงานต่างๆ จึงใคร่ขอขอบคุณ ดังต่อไปนี้ ผศ.ดร.วรวิมล โลหะวิจารณ์ รศ.ดร.คณพล ตันนโยภาส ผศ.ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์ และคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาเรื่องวิทยานิพนธ์ คำแนะนำทางวิชาการและงานในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ชาวธรณีฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอดไปจนถึงการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการและงานภาคสนาม ขอขอบคุณภรรยาและลูกๆ ทั้งสองที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเสรี บุรณะวัฒนากุล คุณแม่สมใจ ประภาศิริสุลี ที่ให้โอกาสและกำลังใจด้วยดีตลอดมา ถึงท่านทั้งสองจะไม่มีโอกาสได้เห็นความสำเร็จในครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ขอมอบคุณงามความดีและประโยชน์ที่พึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ แต่ คุณพ่อ-แม่ ครูบาอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ และผู้มีพระคุณทั้งหลายที่มีต่อข้าพเจ้า

วิลาศ บุรณะวัฒนากุล

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การสำรวจทางวิศวกรรม	2
1.3 การสำรวจคลื่นสั้นสะเทือน	6
1.4 การตรวจเอกสาร	10
1.5 วัตถุประสงค์	13
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	14
2.1 วัสดุ อุปกรณ์	14
2.2 การดำเนินการศึกษาวิจัยในภาคสนาม	15
2.3 การดำเนินการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ	21
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนหักเห	22
2.5 การประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของชั้นดิน	33
3. ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	35
3.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิธีคลื่นสั้นสะเทือนกับวิธีหลุมเจาะสำรวจ	35
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนกับค่า N และ หน่วยแรง แบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B)	53
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก.	63
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	89
ประวัติผู้เขียน	96

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	มาตรฐาน ASTM สำหรับการเจาะสำรวจ การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (undisturbed sampling) การทดสอบค่า standard penetration resistance และการทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลอง	4
3.1	ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน	53

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 กฎการสะท้อนและการหักเหคลื่นที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง	8
1.2 (a) กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห ในกรณีที่ชั้นดินสองชั้น (b) เส้นทางเดินของคลื่นตรงและคลื่นหักเหหรือคลื่นเหดในกรณีชั้นดินสองชั้น	9
2.1 เครื่องบันทึกคลื่นสั้นสะเทือน Geometric SmartSies S-24 และ แบตเตอรี่	14
2.2 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย	15
2.3 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา	16
2.4 พื้นที่ศึกษา A บริเวณที่มีการก่อสร้างอาคารหอพักนิสิต (หอพักปาริชาติ 3) มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.สงขลา	16
2.5 พื้นที่ศึกษา B บริเวณที่มีการก่อสร้างอาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง	17
2.6 พื้นที่ศึกษา C บริเวณที่เตรียมจะมีการก่อสร้างที่พักบุคลากร (อาคาร 3) มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง	17
2.7 พื้นที่ศึกษา D บริเวณที่เตรียมจะมีการก่อสร้างโรงแรมศิริภินันท์ จ.สงขลา	18
2.8 พื้นที่ศึกษา E บริเวณที่มีการก่อสร้างอาคารที่พักข้าราชการ (อาคาร 4) มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง	18
2.9 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นไหวสะเทือนหักเห แบบที่ 1	19
2.10 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นไหวสะเทือนหักเห แบบที่ 2	20
2.11 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นไหวสะเทือนหักเห	20
2.12 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเห และการต่อวงจรสายเคเบิลและเครื่อง Geometric SmartSies S-24	21
2.13 เส้นทางเดินของคลื่นในกรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อ อยู่ในแนวระดับ และ $V_2 > V_1$	22
2.14 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห ในกรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิว ระนาบรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวระดับ	23

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า	
2.15	เส้นทางเดินของคลื่นหักเหในกรณีชั้นดินสามชั้นที่มีผิวรอยต่ออยู่ในแนวระดับ	24
2.16	กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห ในกรณีชั้นดินสามชั้นที่มีผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวระดับ	25
2.17	(a) กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห (b) โครงสร้างชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่ออยู่ในแนวเอียงเทโดย $V_2 > V_1$	26
2.18	เส้นทางเดินของคลื่นในกรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อขรุขระและ $V_2 > V_1$	29
2.19	(a) กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห (b) เส้นทางเดินของ คลื่นหักเหในกรณีชั้นดินสองชั้นรอยต่อระหว่างชั้นดินเป็นผิวขรุขระ	30
3.1	กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา A	35
3.2	โครงสร้างชั้นดินจากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา A	36
3.3	ข้อมูลหลุมเจาะ BH.2 พื้นที่ศึกษา A (อาคารหอพักนิสิต)	37
3.4	ข้อมูลหลุมเจาะ BH.4 พื้นที่ศึกษา A (อาคารหอพักนิสิต)	37
3.5	โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา A	38
3.6	กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา B	39
3.7	โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา B	40
3.8	ข้อมูลหลุมเจาะ BH.2 พื้นที่ศึกษา B (อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง)	40
3.9	โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา B	41
3.10	กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา C	42
3.11	โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา C	43

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.12 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.2 พื้นที่ศึกษา C (อาคารที่พักบุคลากร)	44
3.13 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.3 พื้นที่ศึกษา C (อาคารที่พักบุคลากร)	44
3.14 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา C	45
3.15 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา D	46
3.16 โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา D	47
3.17 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.1 พื้นที่ศึกษา D (อาคารโรงแรมศิริภินันท์ จ.สงขลา)	48
3.18 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา D	49
3.19 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา E	50
3.20 โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา E	51
3.21 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.3 พื้นที่ศึกษา E (อาคารชุดที่พักอาศัยข้าราชการ)	52
3.22 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา E	52
3.23 ความสัมพันธ์ของค่า standard penetration resistance กับค่าความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนของชั้นดิน	54
4.1 การจัดวางแนววัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหร่วมกับหลุมเจาะสำรวจ	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ในงานก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธาจะมีการออกแบบให้น้ำหนักของสิ่งก่อสร้างถ่ายลงสู่ฐานรากหรือเสาเข็มแล้วถ่ายลงสู่ชั้นดินอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สิ่งก่อสร้างสามารถตั้งอยู่ได้อย่างมั่นคงคือการที่มีฐานรากของสิ่งก่อสร้างตั้งอยู่บนชั้นดินที่แข็งแรง ความหนาของฐานรากที่จะวางบนชั้นดินรับน้ำหนักหรือความยาวเสาเข็มที่จะจมลึกถึงชั้นดินรับน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับระดับความลึกของชั้นดินรับน้ำหนักนั้น ซึ่งชั้นดินแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการรับน้ำหนักไม่เหมือนกัน ดังนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับงานก่อสร้างคือการตรวจหาชั้นดินที่สามารถรองรับน้ำหนักที่ถ่ายลงจากอาคารมาได้

ในปัจจุบัน การตรวจหาชั้นดินซึ่งมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างนิยมใช้วิธีการเจาะหลุมสำรวจ โดยวิธีการเจาะหลุมสำรวจจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับลำดับและลักษณะของชั้นดินในทางวิศวกรรม และค่าแรงแบกทานของชั้นดิน (bearing capacity) ชั้นต่างๆ จากการวัดค่า standard penetration resistance (N) สำหรับชั้นดินที่วางตัวขนานกันและลักษณะของดินแต่ละชั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามแนวราบมากนัก หลุมเจาะสำรวจ 1 หลุมจะสามารถใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ขนาด $40 \times 40 \text{ m}^2$ ถึงขนาด $60 \times 60 \text{ m}^2$ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545) แต่ในกรณีที่ลักษณะของชั้นดินมีเปลี่ยนแปลงตามแนวราบมาก หรือมีการวางตัวตามแนวลาดเอียงหรือวางตัวไม่ต่อเนื่อง เช่น พื้นที่ของจังหวัดสตูลเป็นต้น การตรวจหาชั้นดินที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างจำเป็นต้องใช้หลุมเจาะสำรวจจำนวนมาก ทั้งนี้เพื่อติดตามความต่อเนื่องของชั้นดินที่มีความสามารถในการรองรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง และข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของชั้นดินในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

ลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินของชั้นดินในพื้นที่ก่อสร้างยังสามารถกำหนดได้จากการทำการวัดคลื่นสั่นสะเทือนชนิดหักเหอีกทางหนึ่งด้วย ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการวัดคลื่นสั่นสะเทือนชนิดหักเหใช้ประโยชน์จากการที่คลื่นสั่นสะเทือนเดินทางด้วยความเร็วที่ต่างกัน在地ต่างชนิดกัน และโดยที่ความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพและสมบัติยืดหยุ่นของชั้นดิน และคาดว่าเป็นเช่นเดียวกับกรณีของค่าแรงแบกทานของชั้นดินหรือค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของชั้นดิน (ultimate load) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงถูกริเริ่มขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีวัดคลื่นสั่นสะเทือนชนิดหักเหร่วมกับวิธีการเจาะหลุมสำรวจในการกำหนดลักษณะ

โครงสร้างของชั้นดินและค่าแรงแบกทานของชั้นดินในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ทั้งนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามความต่อเนื่องของลักษณะโครงสร้างของชั้นดินของพื้นที่ก่อสร้างและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นดินกับค่าแรงแบกทานของชั้นดินอันมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างทางวิศวกรรมที่วางอยู่บนบริเวณดังกล่าว

1.2 การสำรวจทางวิศวกรรม

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2545) กำหนดว่าการสำรวจชั้นดินในทางวิศวกรรมซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าแรงแบกทานของชั้นดินสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้ คือ

1.2.1. การสำรวจพื้นผิวดิน (surface surveys) ซึ่งเป็นการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความลึกของชั้นดินรับแรงแบกทานของพื้นที่ใกล้เคียง แล้วนำมาประมวลผลใช้กับพื้นที่ปัจจุบัน

1.2.2. การสำรวจใต้ผิวดิน (subsurface surveys) เป็นการสำรวจเพื่อกำหนดขอบเขตของชั้นดิน ธรรมชาติและสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน โดยปกติการสำรวจใต้ผิวดินประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้คือ

(ก) การเจาะสำรวจขั้นต้น (preliminary exploration) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน (soil profile) ในพื้นที่ของโครงการ จำนวนของหลุมเจาะและระยะห่างระหว่างหลุมเจาะขึ้นอยู่กับความสำคัญของโครงสร้าง แต่ทุกหลุมเจาะจะต้องเจาะให้ลึกจนถึงชั้นดินแข็ง หรือลึกประมาณ 1 หรือ 2 เท่าของด้านแคบที่สุดของอาคาร

(ข) การเจาะสำรวจเพื่อหารายละเอียด (detailed exploration) เป็นการสำรวจต่อจากการเจาะสำรวจขั้นต้นสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่และมีน้ำหนักบรรทุกมาก การเจาะสำรวจในขั้นนี้จะเจาะเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน เช่น ปริมาณน้ำในดิน ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความต้านทานแรงเฉือนของดิน กำลังของดิน และความซึมผ่านได้ของดิน เป็นต้น

ในปัจจุบัน การสำรวจใต้ผิวดินประกอบด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1.2.2.1 การขุดบ่อทดสอบ (test pits) เป็นวิธีสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (undisturbed sample) มาศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ การขุดบ่อทดสอบจะเหมาะสมสำหรับชั้นดินที่มีความลึกไม่เกิน 6 m เพราะถ้าบ่อทดสอบมีความลึกมากกว่านี้ อาจต้องมีการสร้างผนังป้องกันดินพังทลายและอาจต้องเผชิญปัญหาเกี่ยวกับน้ำใต้ดินได้

1.2.2.2 การใช้สว่านเจาะดิน (augering) เป็นวิธีการสำรวจเก็บตัวอย่างดินสำหรับการจำแนกดินเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้มักจะทำให้สมบัติของดินบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป วิธีนี้เหมาะกับดินอ่อนหรือดินที่มีการประสานกันแน่นมาก วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกสำหรับการขุดเจาะด้วยแรงคน และสามารถเก็บตัวอย่างชั้นดินได้ในระดับลึกประมาณ 2-4 m

1.2.2.3 การเจาะหลุมสำรวจ (soil boring) เป็นวิธีการสำรวจที่นิยมใช้สำหรับงานทางวิศวกรรมฐานราก สำหรับการกำหนดสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน โดยการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องทดลองและยังสามารถกำหนดค่าแรงแบกทานของชั้นดินได้โดยตรงจากการทดสอบหาค่า standard penetration resistance ในพื้นที่ การเจาะหลุมสำรวจมี 2 วิธี ดังนี้คือ

1.2.2.3.1 การเจาะหลุมสำรวจแบบเจาะล้าง (wash boring) ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ (สถาพร ศิริลิมป์, 2546 ; อภิชัย จุฑาศิริวงศ์, 2538)

1) การเจาะดินใช้เครื่องเจาะแบบเครื่องกว้าน (motorized hoist) ขนาด 8 แรงม้า ควบคู่กับชุด 3 ขา (Portable tripod) และใช้การเจาะแบบฉีดล้าง (wash boring) จากเครื่องสูบน้ำ ขนาด 7 แรงม้า ในการเจาะใช้หัวกระทิง (chopping bit) ขนาด 90 mm ต่อเข้ากับก้านเจาะ (drill rod) ขนาด 41 mm โดยปลายต่อเข้ากับหัวหมุนน้ำ (water swivel) ซึ่งต่อไปยังเครื่องสูบน้ำ ระหว่างการกระทำดินด้วยเครื่องกว้าน เครื่องสูบน้ำฉีดน้ำผ่านรูก้านเจาะตลอดเวลา และใช้การตอกท่อเหล็กกันดิน (casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm สำหรับ ป้องกันผนังหลุมเจาะพังทลายตลอดความลึกที่เจาะลงไป แต่จะอยู่ห่างจากระดับความลึกที่เก็บตัวอย่างดินประมาณ 0.5 ถึง 1.0 m น้ำฉีดซึ่งไหลกลับขึ้นมาจะพาเศษดินขึ้นมาจากหลุมเจาะไปเก็บไว้ในถังน้ำบนผิวดินซึ่งน้ำนี้จะถูกสูบน้ำไปใช้อีกครั้ง และเศษดินที่ถูกน้ำพากลับขึ้นมาจะนำมาใช้เพื่อกำหนดประเภทของชั้นดินในแต่ละระดับความลึก

2) การเก็บตัวอย่างคงสภาพ (undisturbed sample) เมื่อฉีดล้างหลุมเจาะจนถึงระดับที่จะเก็บตัวอย่าง สำหรับชั้นดินอ่อน (soft clay) ใช้กระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (thin wall tube) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 75 mm และมีความยาวเท่ากับ 60 cm โดยกดกระบอกลงไปในพื้นที่ดินอ่อน สำหรับชั้นดินเหนียวแข็ง (stiff clay) ใช้กระบอกที่มีความหนาขึ้นเล็กน้อย และใช้ลูกตุ้มตอกกระบอกเก็บตัวอย่างลงไปในพื้นที่ดินเหนียวแข็งสำหรับเก็บตัวอย่างดินความยาว 50 cm ตัวอย่างดินที่ได้จากหลุมเจาะจะต้องได้รับการทำความสะอาดเพื่อไม่ให้มีเศษดินติดอยู่ วัตถุประสงค์ของตัวอย่างดินที่เก็บได้ ใช้ชี้แจงเคลือบหัวท้ายกระบอก ติดป้ายชื่อบันทึกหมายเลขของตัวอย่างและความลึก สำหรับการนำตัวอย่างไปทดลองในห้องปฏิบัติการต่อไป

3) การทดสอบ standard penetration test (S.P.T.) หรือการหาค่า standard penetration resistance (N) ทำได้โดยการนำลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 63.50 kg (140 ปอนด์) ตอกกระบอกผ่านมาตรฐาน โดยใช้ระยะยกของลูกตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 76 cm (30 นิ้ว) นับจำนวนครั้งที่ตอกกระบอกผ่านให้จมลง 15 cm ทำซ้ำ 3 รอบ และบันทึกจำนวนครั้งที่ตอกลูกตุ้มในรอบที่สองและที่สามรวมกัน (ระยะที่จมลงเท่ากับ 30 cm) เป็นค่า standard penetration resistance รวบรวมตัวอย่างดินที่เก็บได้ใส่ถุงพลาสติกและปิดผนึกพร้อมทั้งเขียนชื่อกำกับสำหรับการทดสอบ ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการต่อไป โดยการเก็บตัวอย่างดินและการทดสอบวัดค่า standard penetration resistance จะกระทำทุกๆระยะความลึก 1.50 m

4) การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นธรรมชาติ (natural water content) การทดสอบค่า Atterberg limits ของตัวอย่างดินเหนียวและตัวอย่างที่มีดินเหนียวปนตามความลึกที่เหมาะสม การคัดขนาดของเม็ดดินด้วยตะแกรง (sieve analysis) สำหรับตัวอย่างทราย กรวดหรือตัวอย่างที่มีทรายและกรวดผสม การคัดขนาดด้วยตะแกรงจะไม่ทำกับตัวอย่างดินที่มีดินเม็ดละเอียด (silt and clay) อยู่มากกว่า 95 % และการทดสอบแรงเฉือนทางอ้อมจากการทดสอบการอัดแกนเดี่ยว (unconfined compression test) สำหรับตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพทุกตัวอย่าง

ตาราง 1.1 มาตรฐาน ASTM สำหรับการเจาะสำรวจ การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ

(undisturbed sampling) การทดสอบค่า standard penetration resistance

และการทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลอง

การเก็บตัวอย่าง/การทดลอง	มาตรฐาน
การเก็บตัวอย่างคงสภาพด้วยกระบอกบาง	ASTM D 1587 - 83
การทดสอบ standard penetration test (S.P.T.)	ASTM D 1586 - 84
การเก็บรักษาและขนส่งตัวอย่าง	ASTM D 4220 - 83
การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (unconfined compression test)	ASTM D 2166 - 79
การทดสอบ liquid limit, plastic limit and plasticity index	ASTM D 4318 - 84
การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (sieve analysis)	ASTM D 422 - 72
การจำแนกชนิดของดิน	ASTM D 2487 - 85

1.2.2.3.2 การเจาะหลุมสำรวจแบบเจาะแห้ง (dry boring) การเจาะแบบนี้คล้ายกับการเจาะแบบเจาะล้าง โดยใช้เครื่องคว้านเจาะคว้านดินออกจากบ่อเจาะก่อน เมื่อเจาะถึงระดับความลึกที่ต้องการ จึงเก็บตัวอย่างคงสภาพเพื่อนำตัวอย่างดินไปศึกษาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และทำการทดสอบค่า standard penetration resistance

ข้อจำกัดของการเจาะหลุมสำรวจ

1. ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ตำแหน่งของหลุมเจาะ การเจาะหลุมสำรวจจะให้ข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินตามความลึก ณ ตำแหน่งของหลุมเจาะเท่านั้น ส่วนข้อมูลทางวิศวกรรมของชั้นดินในบริเวณอื่นๆ ที่อยู่ห่างจากหลุมเจาะหรืออยู่ระหว่างหลุมเจาะจะได้มาโดยการเทียบเคียง

2. สมบัติทางวิศวกรรมของดินอาจได้รับผลกระทบ การเจาะสำรวจและการเก็บตัวอย่างดินอาจมีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักและสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ ของชั้นดิน ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจึงต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง นอกจากนั้นสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่วิเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการอาจมีค่าแตกต่างไปจากค่าในพื้นที่จริง การเก็บตัวอย่างดินจึงควรกระทำด้วยวิธีการที่เหมาะสม

3. แม้ว่าการเจาะหลุมสำรวจจะให้ข้อมูลที่ดีและถูกต้องที่ระดับความลึกทุกๆ 1.5 m แต่การเจาะหลุมสำรวจก็มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง และการประยุกต์ใช้วิธีธรณีฟิสิกส์ เช่น วิธีคลื่นสั้นสะเทือน เป็นต้น สำหรับการกำหนดลักษณะทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินมีความน่าเชื่อถือและมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่ามาก (เพียงตา สาทรักษ์, 2544) ปัจจุบันค่าใช้จ่ายสำหรับการเจาะสำรวจหนึ่งหลุมประมาณเท่ากับ 10,000-15,000 บาท และค่าใช้จ่ายอาจเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่อไปนี้

(ก) พื้นที่โครงการขนาดใหญ่ ต้องการจำนวนหลุมเจาะมากกว่าหนึ่งหลุม ซึ่งโดยทั่วไปใช้หลุมเจาะ 1 หลุมสำหรับพื้นที่ขนาด 40x40 m² ถึง 60x60 m²

(ข) โครงการก่อสร้างที่มีความสำคัญมากหรือมีมูลค่าสูง และงานก่อสร้างอาคารสูงต้องการหลุมเจาะสำรวจจำนวนมากเพื่อการประเมินค่าแรงแบกทานของชั้นดินได้ถูกต้องที่สุด จึงทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับการเจาะหลุมสำรวจเพิ่มสูงขึ้น

(ค) พื้นที่โครงการก่อสร้างซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศแบบสูงชัน หรือเป็นพื้นที่ทุรกันดาร ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรสำหรับการเจาะสำรวจ

(ง) พื้นที่ของโครงการก่อสร้างเป็นบริเวณที่ชั้นดินมีความแปรปรวนสูง เช่น ชั้นดินมีการแทรกสลับไปมาของชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็ง หรือ ชั้นดินแข็งมีความหนาน้อย เป็นต้น ซึ่งต้องการหลุมเจาะสำรวจจำนวนมากเพื่อให้สามารถประเมินค่าแรงแบกทานของชั้นดินได้อย่างแม่นยำ

1.3 การสำรวจคลื่นสั่นสะเทือน

วิธีคลื่นสั่นสะเทือน (seismic method) เป็นวิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์วิธีหนึ่งที่ยินยมนำมาใช้ในงานสำรวจวิศวกรรมธรณีและวิศวกรรมโยธางานฐานราก สำหรับงานก่อสร้างตึกขนาดใหญ่ งานก่อสร้างเขื่อน งานก่อสร้างทางด่วนหรือทางหลวงแผ่นดิน และงานการก่อสร้างท่าเรือ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดความลึกของหินฐานรากและรายละเอียดของชั้นผิวดินและชั้นหินผู้ที่วางตัวอยู่ชั้นบนเหนือชั้นหินฐานรานั้น (ไกรวุฒิ วงศ์วิวัฒน์, 2516 ; สวัสดิ์ช่างหล่อ, 2545)

วิธีคลื่นสั่นสะเทือนอาศัยหลักการแพร่กระจายคลื่นผ่านตัวกลางที่มีสมบัติการยืดหยุ่นแตกต่างกัน เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มายังผิวยรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิดซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่นต่างกัน เช่น รอยต่อระหว่างดินอ่อนกับดินแข็ง คลื่นบางส่วนจะสะท้อนกลับไปในตัวกลางที่หนึ่งและบางส่วนจะเกิดการหักเหเข้าไปในตัวกลางที่สอง โดยในการประยุกต์ใช้วิธีคลื่นสั่นสะเทือนเพื่อกำหนดความลึกถึงผิวยรอยต่อระหว่างตัวกลาง โดยทำให้เกิดคลื่นที่บริเวณใกล้ผิวดิน เช่น การใช้ค้อนทุบแผ่นโลหะ หรือ การจุดระเบิดในหลุมตื้น แล้ววัดเวลาที่คลื่นสะท้อนหรือคลื่นหักเหเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นมาถึงจุดรับคลื่น ซึ่งความลึกถึงผิวยรอยต่อระหว่างชั้นดิน และความเร็วของคลื่นในดินแต่ละชั้นจะสามารถประเมินได้เมื่อมีข้อมูลเกี่ยวกับระยะระหว่างจุดรับคลื่นและจุดกำเนิดคลื่น และเวลาเดินทางของคลื่น (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545)

คลื่นสั่นสะเทือนเป็นคลื่นยืดหยุ่นซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทาง ซึ่งคลื่นสั่นสะเทือนมี 2 ชนิดคือ คลื่นวัตถุ (body waves) และคลื่นผิว (surface waves) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) คลื่นวัตถุ เป็นคลื่นสั่นสะเทือนที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางประกอบ ด้วยคลื่นพี (P-wave) และ คลื่นเอส (S-wave) ดังนี้

1.1) คลื่นพี (P-wave) หรือ คลื่นปฐมภูมิ (primary wave) หรือ คลื่นตามยาว (longitudinal wave) หรือ คลื่นอัด (compression wave) เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่านมีการสั่นแบบอัดและขยายในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของคลื่น ความเร็วของคลื่นพี (V_p) มีความสัมพันธ์กับค่ามอดุลัสเชิงปริมาตร (k) ค่ามอดุลัสเฉือน (μ) และค่าความหนาแน่นของตัวกลาง (ρ) ดังนี้ (Parasnis, 1997)

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1.1)$$

1.2) คลื่นเอส (S-wave) หรือ คลื่นทุติยภูมิ (secondary wave) หรือ คลื่นตามขวาง (transverse wave) หรือ คลื่นเฉือน (shear wave) เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่านมีการสั่นในทิศทางที่ทำมุมฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่น ความเร็วของคลื่นเอส (V_s) มีความสัมพันธ์กับค่ามอดุลัสเฉือน (μ) และค่าความหนาแน่นของตัวกลาง (ρ) ดังนี้ (Parasnis, 1997)

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (1.2)$$

โดยปกติในตัวกลางชนิดเดียวกัน ความเร็วของคลื่นพีมากกว่าความเร็วของคลื่นเอส โดยในกรณีของชั้นหินแข็ง อัตราส่วนของความเร็วของคลื่นเอสต่อความเร็วของคลื่นพีจะประมาณเท่ากับ 0.6 ในกรณีของชั้นหินผุหรือชั้นหินตะกอน อัตราส่วนของความเร็วของคลื่นเอสต่อความเร็วของคลื่นพีจะประมาณเท่ากับ 0.5 และในกรณีของดิน อัตราส่วนของความเร็วของคลื่นเอสต่อความเร็วของคลื่นพีจะประมาณเท่ากับ 0.4

2) คลื่นผิว (surface waves) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในบริเวณผิวดิน คลื่นผิวมี 2 ชนิด คือ คลื่นเรเลย์ (rayleigh wave) และคลื่นเลฟ (love wave) ดังนี้

2.1 คลื่นเรเลย์ (rayleigh wave) เป็นคลื่นผิวที่ทำให้การสั่นของอนุภาคของตัวกลางมีลักษณะเป็นวงรีย้อนกลับในระนาบตั้ง โดยอัตราส่วนของความเร็วของคลื่นเรเลย์ต่อความเร็วของคลื่นเอสจะประมาณเท่ากับ 0.9

2.2 คลื่นเลฟ (love wave) เป็นคลื่นผิวที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นขนานกับผิวดินและตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

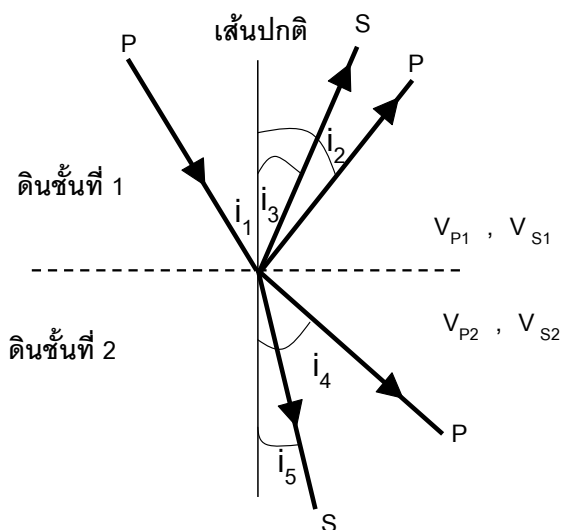
1.3.1 วิธีการสะท้อนและหักเหคลื่น

เมื่อคลื่นสั้นสะท้อนตกกระทบที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง พลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นจะสะท้อนกลับไปในตัวกลางเดิมและพลังงานอีกส่วนหนึ่งของคลื่นจะหักเหผ่านเข้าไปในตัวกลางใหม่ นอกจากนั้นอาจมีการแปลงรูปแบบของคลื่นเกิดขึ้นที่ผิวรอยต่อด้วย ในกรณีที่คลื่นตกกระทบเป็นคลื่นพี บางส่วนของคลื่นสะท้อนและคลื่นหักเหจะเป็นคลื่นพี ในขณะที่บางส่วนจะเป็นคลื่นเอส ดังแสดงในภาพประกอบ 1.1

ถ้า i เป็นมุมที่รังสีของคลื่นสะท้อนหรือคลื่นหักเหทำกับเส้นปกติ และ V เป็นความเร็วคลื่นในตัวกลางที่รังสีทำมุม i กับเส้นปกติ กฎของสเนลล์ (Snell's law) กล่าวว่า อัตราส่วนของ $\sin(i)$ กับ V มีค่าคงที่ ดังนั้น

$$\frac{\sin(i_1)}{V_{P1}} = \frac{\sin(i_2)}{V_{P1}} = \frac{\sin(i_3)}{V_{S1}} = \frac{\sin(i_4)}{V_{P2}} = \frac{\sin(i_5)}{V_{S2}} \quad (1.4)$$

เมื่อ V_{P1} และ V_{P2} เป็นความเร็วของคลื่นพีในตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ ในขณะที่ V_{S1} และ V_{S2} เป็นความเร็วของคลื่นเอสในตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ



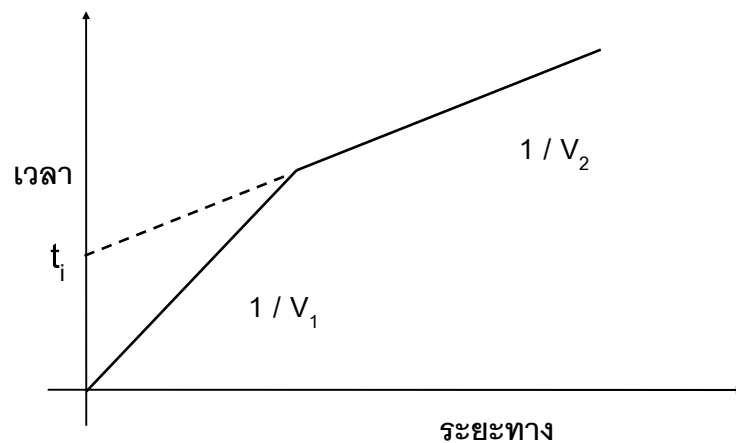
ภาพประกอบ 1.1 กฎการสะท้อนและการหักเหคลื่นที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง

1.3.2 วิธีวัดคลื่นสั้นสะท้อนชนิดหักเห (refraction seismic method)

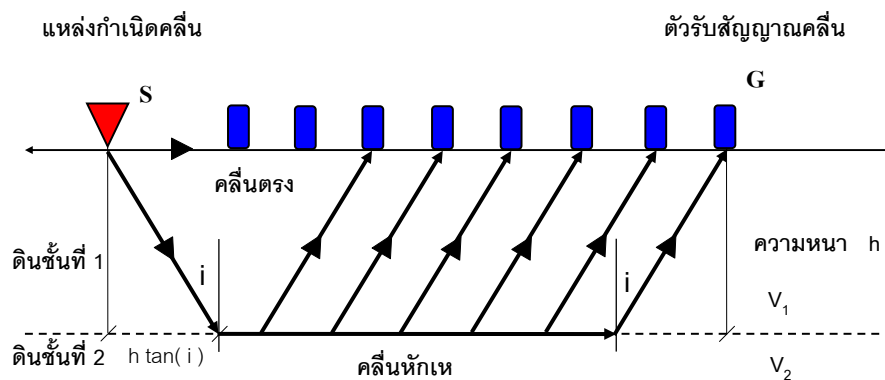
วิธีวัดคลื่นสั้นสะท้อนชนิดหักเหนินยมนำมาใช้เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างของชั้นดินในระดับตื้น เช่น งานศึกษาธรณีวิทยาสำหรับงานวิศวกรรมฐานรากเพื่องานก่อสร้างต่างๆ งานสำรวจหาชั้นน้ำบาดาลในชั้นกรวดของพื้นที่ดินตะกอน เป็นต้น ซึ่งชั้นดินส่วนใหญ่วางตัวค่อนข้างขนานกัน และความเร็วของคลื่นของชั้นดินเพิ่มขึ้นตามความลึก หรือความเร็วของคลื่นที่เดินทางในดินชั้นล่างมีค่ามากกว่าความเร็วของคลื่นในดินชั้นบน

ในการสำรวจคลื่นสั้นสะท้อนชนิดหักเห พลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นจากจุดกำเนิดคลื่นเดินทางผ่านดินชั้นแรกไปยังตัวรับสัญญาณคลื่น และเรียกว่าคลื่นตรง และพลังงานอีกส่วนหนึ่ง

ของคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นจะเดินทางผ่านชั้นดินแรกไปตกกระทบที่ผิวรอยต่อระหว่างดินชั้นแรกกับดินชั้นที่สองด้วยมุมวิกฤต ทำให้เกิดการหักเหของคลื่น โดยคลื่นหักเหซึ่งบางครั้งเรียกว่าคลื่นเฮด (head wave) จะเดินทางในดินชั้นที่สองขนานไปกับผิวรอยต่อระหว่างดินชั้นแรกกับดินชั้นที่สอง ตลอดแนวของผิวรอยต่อคลื่นเฮดจะหักเหกลับเข้าไปในดินชั้นแรกเพื่อเดินทางต่อไปยังตัวรับสัญญาณคลื่นที่วางอยู่บนผิวดิน เมื่อ V_2 มากกว่า V_1 ดังภาพประกอบ 1.2



(a)



(b)

ภาพประกอบ 1.2 (a) กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห ในกรณีที่ชั้นดินสองชั้น

(b) เส้นทางเดินของคลื่นตรงและคลื่นหักเหหรือคลื่นเฮดในกรณีชั้นดินสองชั้น

เวลาที่คลื่นตรงและคลื่นหักเหใช้เดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณคลื่นจะแปรผันตรงกับระยะทางระหว่างจุดกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณคลื่น ดังแสดงด้วยเส้นตรงในกราฟเวลา-ระยะทาง (ภาพประกอบ 1.2) ซึ่งกราฟเส้นตรงของคลื่นตรงจะตัดผ่านจุดกำเนิด ($x = 0, t = 0$) และมีความชันเท่ากับ $1/V_1$ ในขณะที่กราฟเส้นตรงของคลื่นหักเหจะตัดผ่าน

แกนเวลาที่ตำแหน่ง (t_i) และมีความชันเท่ากับ $1/V_2$ ดังนั้นความเร็วของคลื่นในชั้นดินต่างๆจึงสามารถประเมินได้จากค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่สัมพันธ์กัน และเนื่องจากเวลาตัดแกนเวลา (t_i) แปรผันตรงกับความหนาของชั้นดิน ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดลักษณะโครงสร้างของชั้นดินได้อย่างสมบูรณ์จากการวัดคลื่นสั้นสะท้อนชนิดหักเห

1.4 การตรวจเอกสาร

พันธวิศกรรม (2538) กล่าวถึงการเจาะสำรวจชั้นดินแบบ soil boring log ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบันว่าประกอบด้วย การเจาะสำรวจชั้นดินและการทดสอบในสนามและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก) การเจาะสำรวจชั้นดินและการทดสอบในสนาม

ในบริเวณที่สำรวจจะเจาะดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ แล้วเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างชนิดผนังบาง (shelly tube) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 cm หรืออาจใช้กระบอกเก็บตัวอย่างชนิดผ่าซีก (split spoon sampler) พร้อมทั้งการประเมินค่า standard penetration resistance โดยเก็บตัวอย่างทุกระยะความลึก 1.5 m

ข) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นการวัดค่าสมบัติต่างๆดังนี้คือ การหาความชื้นและหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างดิน การหาค่า Atterburg limits ของตัวอย่างดินเหนียว การหาค่า unconfined compressive strength ของตัวอย่างดินเหนียว และการหาค่ากระจายขนาดเม็ดดิน (grain size distribution) ของชั้นทรายและดินปนทราย (อภิชัย จุฑาศิริวงศ์, 2538)

อย่างไรก็ตาม เพียงตา สาตวรรษ (2544) กล่าวถึงวิธีการเจาะสำรวจชั้นดินว่ามีข้อดีและข้อด้อย ดังนี้ เช่น

1. เป็นการสำรวจแบบสุ่มตัวอย่าง โดยในพื้นที่สำรวจหนึ่งพื้นที่ โดยทั่วไปใช้หลุมเจาะ 1 หลุมสำหรับพื้นที่ขนาด $40 \times 40 \text{ m}^2$ ถึง $60 \times 60 \text{ m}^2$
2. เป็นวิธีการที่ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงแต่ในพื้นที่ศึกษาแต่ละพื้นที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการศึกษาสูง โดยเฉพาะถ้าต้องการข้อมูลการเจาะสำรวจจำนวนมากเพื่อใช้ในการออกแบบงานทางวิศวกรรม

มณฑิเยร์ กังคิเทียม (2531) และ Lambe and Whitman (1979) กล่าวถึงค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชั้นดิน (Q_{ult}) และหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) ว่าเป็นสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินที่มีความสำคัญมากสำหรับงานวิศวกรรมฐานราก และสามารถคำนวณหาค่าได้โดยประยุกต์ใช้สมการของ Terzaghi, สมการของ Thornburn and McVicar และสมการ ของ Meyerhof ดังต่อไปนี้

สมการของ Terzaghi เป็นสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชั้นดินต่อพื้นที่ ในดินแบบต่างๆ ดังนี้คือ

$$q = c'N_c + p'_o N_q + 0.5\gamma BN_\gamma \quad (1.5)$$

เมื่อ q เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชั้นดินต่อพื้นที่ c' เป็นหน่วยแรงเชื่อมแน่นของดิน p'_o เป็นแรงดันเนื่องจากน้ำหนักดิน γ เป็นหน่วยน้ำหนักของดิน (total unit weight) B เป็นความกว้างของพื้นที่รองรับน้ำหนัก และ N_c , N_q และ N_γ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน

Bowles (1988) กล่าวถึงสมการของ Meyerhof ว่าเป็นสมการสำหรับการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มหรือค่าแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (Q_B) และหน่วยน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มหรือหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) สำหรับชั้นทราย ชั้นกรวด ชั้นดินตะกอนทรายสามารถหาค่าได้จากค่า standard penetration resistance ดังนี้คือ

$$Q_B = 40 \cdot N \cdot A_p \quad (1.6)$$

$$q_B = 40 \cdot N \quad (1.7)$$

เมื่อ Q_B เป็นค่าแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มในหน่วยตัน q_B เป็นหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มมีหน่วยเป็น tons/m^2 A_p เป็นพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มในมีหน่วยเป็น m^2 N เป็นค่า standard penetration resistance ของชั้นทราย ชั้นกรวด และดินตะกอนปนกรวดมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อฟุต (blows/ft)

สำหรับ ชั้นดินเหนียว ชั้นดินเหนียวปนกรวด มีความสัมพันธ์กับค่าของ standard penetration resistance ดังสมการต่อไปนี้

$$q_B = 9 \cdot S_U \quad (1.8)$$

$$S_U = N/1.5 \quad (1.9)$$

S_U เป็น กำลังแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) มีหน่วยเป็น tons/m^2

ค่า standard penetration resistance จึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการประเมินหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) และ ค่าแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (Q_B) แต่เนื่องจากในปัจจุบันค่า standard penetration resistance จะได้มาจากการเจาะหลุมสำรวจทางวิศวกรรม หรือ soil boring log เท่านั้น ดังนั้นหากเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า standard penetration resistance กับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นดินได้ ก็จะมีประโยชน์ต่อการประเมินหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) และ ค่าแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (Q_B) ของพื้นที่ก่อสร้างได้เป็นเบื้องต้น และยังสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับความต่อเนื่องของชั้นดินรับแรงได้อีกด้วย

Parasnis (1997) กล่าวถึงวิธีคลื่นไหวสะเทือนหักเห ว่าวิธีนี้ใช้ประโยชน์จากการที่คลื่นสั้นสะเทือนเดินทางด้วยความเร็วที่แตกต่างกันในชั้นดินต่างชนิดกัน และมีหลักการดังนี้คือ กำหนดคลื่นสั้นสะเทือนที่จุดหนึ่งและวัดเวลาที่พลังงานหักเหและสะท้อนจากผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินต่างชนิดกันเดินทางมาถึงจุดรับคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ โดยวิธีนี้เราจะสามารถคำนวณความลึกถึงผิวรอยต่อระหว่างชั้นดิน และความเร็วของคลื่นในดินแต่ละชั้นได้

Sain et al. (2001) ใช้วิธีแปลงกลับเวลาเดินทางของคลื่น (travel time inversion) ของข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนที่มาถึงเครื่องวัด เพื่อกำหนดความหนาของชั้นตะกอน Gondwana ที่เมือง Mahanadi delta ในประเทศอินเดีย พบว่าความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นตะกอนมีค่าต่ำกว่าชั้นหินท้องที่รอบๆข้าง โดยมีความเร็วคลื่น 4 km/s และมีความหนาประมาณ 1.50 km โดยบางส่วนโดนปิดทับด้วยชั้นหินที่มีความหนาประมาณ 400 m มีความเร็วคลื่นประมาณ 5.2 km/s และชั้นตะกอน Gondwana รองรับด้วยชั้นหินภูเขาไฟที่มีความเร็วคลื่นประมาณ 5.90 - 6.15 km/s

Ezersky (2006) ใช้วิธีคลื่นสั้นสะเทือนหักเหศึกษาปัญหาของการเกิดหลุมยุบในบริเวณพื้นที่ใกล้ทะเลสาบ Dead sea โดยแผนที่ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนของชั้นดินแสดงว่า ในบริเวณที่เกิดหลุมยุบจะเป็นบริเวณที่มีชั้นเกลืออัดแน่นและชั้นเกลือละลายบางส่วนในบริเวณดังกล่าว ซึ่งยืนยันด้วยข้อมูลหลุมเจาะ

Naik et al. (1980) ใช้วิธีคลื่นสั้นสะเทือนหักเหในการหาบริเวณของหินแกรนิตที่ผุ โดยบันทึกข้อมูลและการเปรียบเทียบเวลาที่คลื่นแรกและคลื่นต่อมาเดินทางถึงเครื่องรับสัญญาณในบริเวณของชั้นหินแกรนิตแข็ง โดยลักษณะของสัญญาณคลื่นที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์จะแสดงถึงพื้นที่ของบริเวณหินแกรนิตแข็งและบริเวณหินแกรนิตผุ และมีการเปรียบเทียบโดยการเจาะหลุมสำรวจในบริเวณดังกล่าว

Karastathis and Papamarinopoulos (1997) ทำการศึกษาหา อุโมงค์ King Xerxes โดยวิธีคลื่นสั้นสะเทือนหักเหและสะท้อน โดยพื้นที่ศึกษาอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของกรีซ บริเวณช่องแคบของแหลม Athos โดยอุโมงค์ King Xerxes ถูกสร้างขึ้นในอดีต ผลของการศึกษาภาพตัดขวางของอุโมงค์ King Xerxes สามารถกำหนดได้จากการแปลความข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนหักเหและสะท้อน

1.5 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประเมินค่า standard penetration resistance (N) และหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_b) จากค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นดิน ด้วยวิธีการวัดคลื่นสั้นสะเทือนชนิดหักเห

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุอุปกรณ์

2.1.1. อุปกรณ์สำหรับการวัดคลื่นสั้นสะเทือนชนิดหักเห ประกอบด้วย

1. เครื่องบันทึกคลื่นสั้นสะเทือน Geometric SmartSies S-24
2. เครื่องกำเนิดคลื่นสั้นสะเทือน ประกอบด้วยค้อนและแผ่นเหล็ก
3. ตัวรับคลื่นหรือตัวรับคลื่นสั้นสะเทือนแนวตั้งหรือจีโอโฟนแนวตั้ง (vertical geophone) จำนวน 24 ตัว
4. สายเคเบิลสำหรับเชื่อมต่อตัวรับสัญญาณคลื่นกับเครื่องบันทึกคลื่นสั้นสะเทือนจำนวน 2 ชุด
5. สวิทช์ค้อน (hammer switch) พร้อมสายเคเบิล จำนวน 1 ชุด สำหรับการเริ่มบันทึกสัญญาณ
6. สายเทปวัดระยะทาง ความยาว 50 m จำนวน 1 ม้วน
7. แบตเตอรี่กำลังไฟฟ้าขนาด 12 V



ภาพประกอบ 2.1 เครื่องบันทึกคลื่นสั้นสะเทือน Geometric SmartSies S-24 และ แบตเตอรี่

2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วม

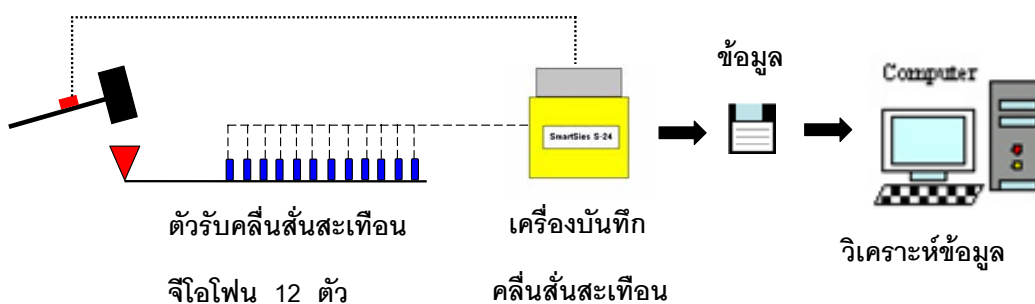
1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรม SIP (seismic interpretation program) สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่อง Geometric SmartSies S-24

โปรแกรม Microsoft Office 2003 สำหรับวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

โปรแกรม Grapher version 3.0 สำหรับการเขียนกราฟ

เครื่องกำเนิดคลื่นสั่นสะเทือน



ภาพประกอบ 2.2 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย

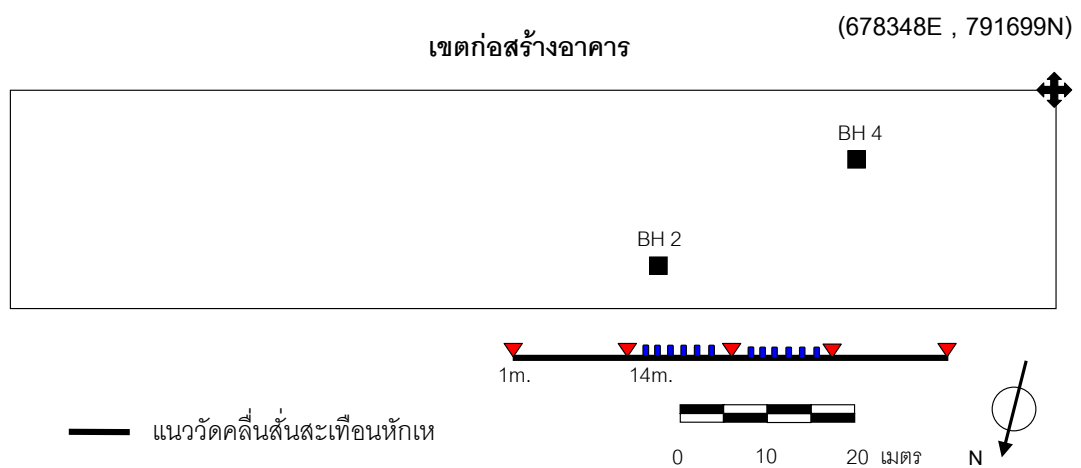
2.2 การดำเนินการศึกษาวิจัยในภาคสนาม

2.2.1. เลือกพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสม โดยเป็นพื้นที่ซึ่งกำลังมีการก่อสร้างอาคารและพื้นที่เหล่านี้มีข้อมูลการเจาะสำรวจดินไว้แล้ว จำนวน 5 พื้นที่ ประกอบด้วย

- 2.2.1.1 พื้นที่ A ซึ่งเป็นบริเวณก่อสร้างอาคารหอพักนิสิต มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (ภาพประกอบ 2.4)
- 2.2.1.2 พื้นที่ B ซึ่งเป็นบริเวณก่อสร้างอาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง (ภาพประกอบ 2.5)
- 2.2.1.3 พื้นที่ C ซึ่งเป็นบริเวณก่อสร้างอาคารที่พักบุคลากร มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง (ภาพประกอบ 2.6)
- 2.2.1.4 พื้นที่ D ซึ่งเป็นบริเวณก่อสร้างโรงแรมศิริกนิษฐ์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (ภาพประกอบ 2.7)
- 2.2.1.5 พื้นที่ E ซึ่งเป็นบริเวณก่อสร้างอาคารที่พักข้าราชการ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง (ภาพประกอบ 2.8)

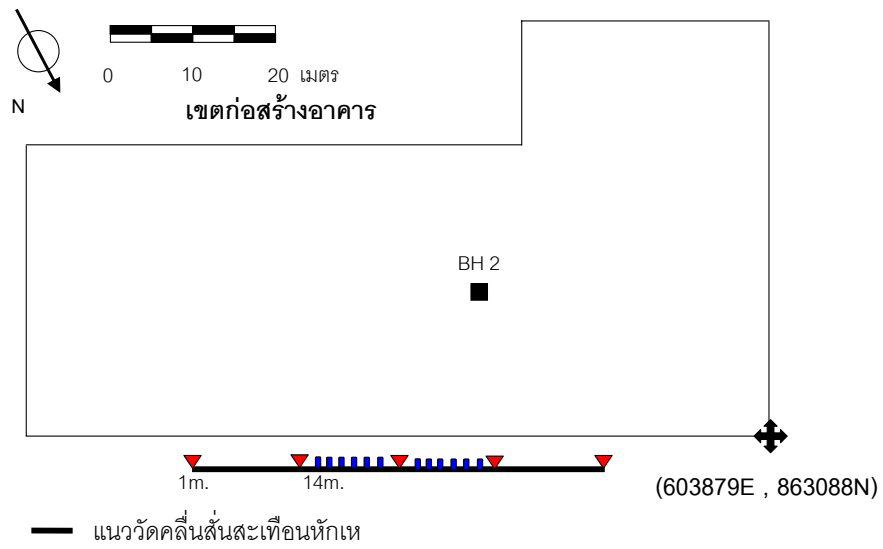


ภาพประกอบ 2.3 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา

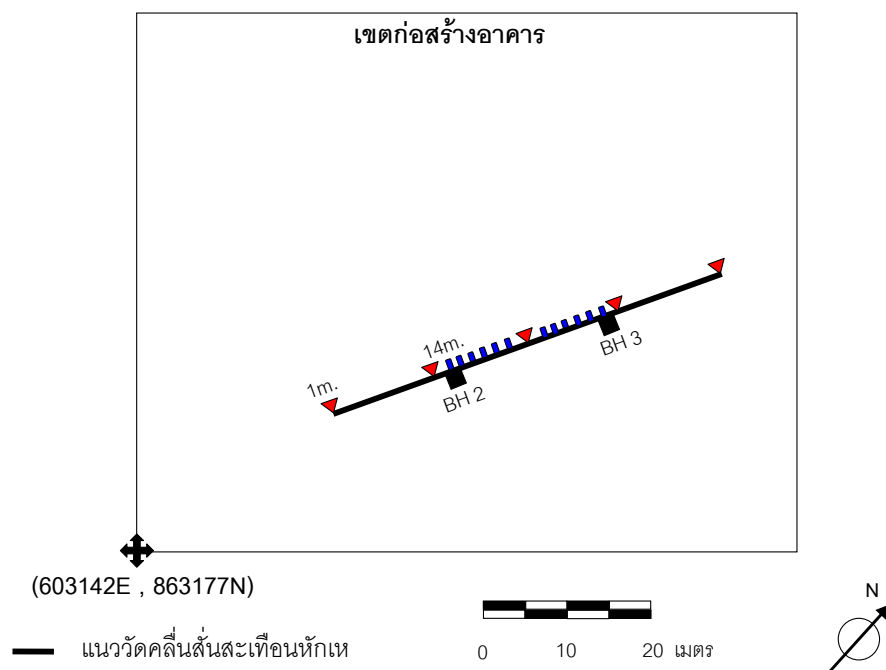


ภาพประกอบ 2.4 พื้นที่ศึกษา A บริเวณที่มีการก่อสร้างอาคารหอพักนิสิต (หอพักปารีสชาต 3)

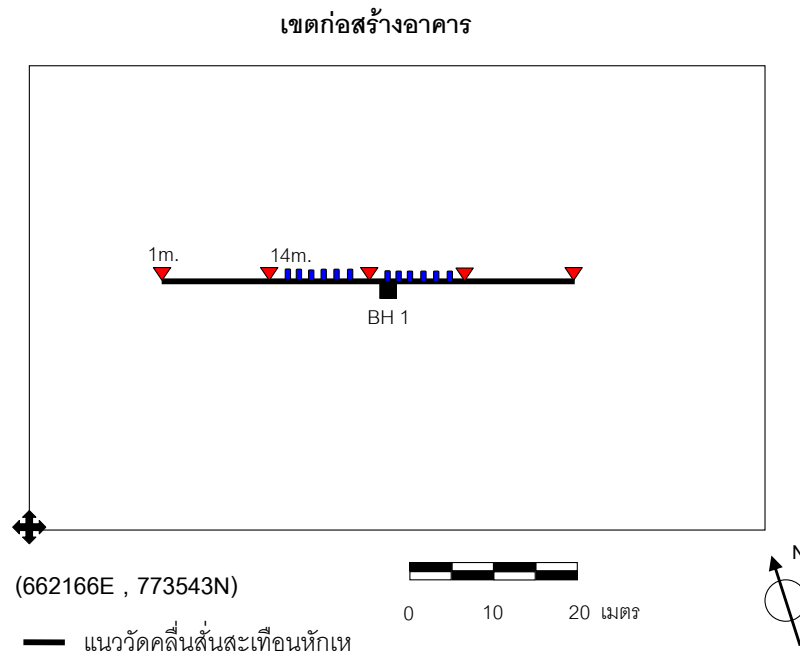
มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.สงขลา



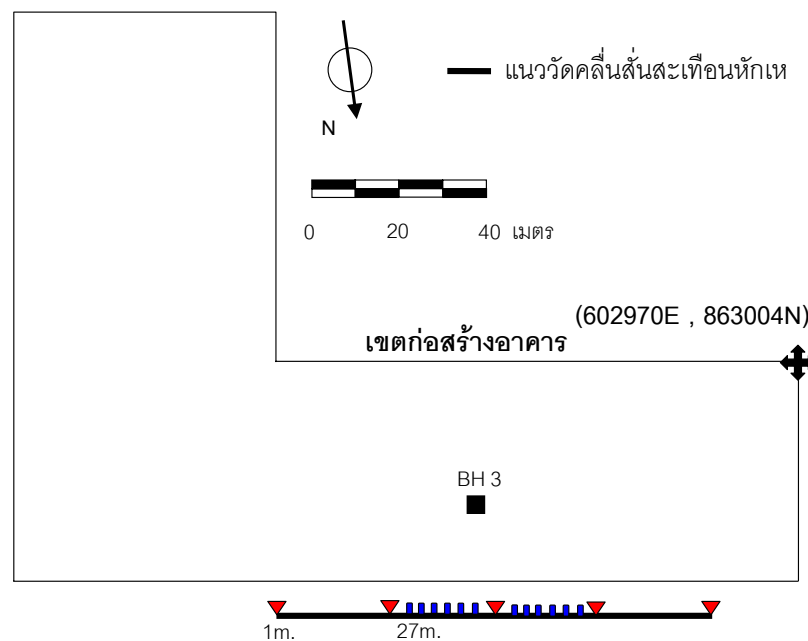
ภาพประกอบ 2.5 พื้นที่ศึกษา B บริเวณที่มีการก่อสร้างอาคารวิทยบริการ
มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง



ภาพประกอบ 2.6 พื้นที่ศึกษา C บริเวณที่เตรียมจะมีการก่อสร้างที่พักบุคลากร
(อาคาร 3) มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง



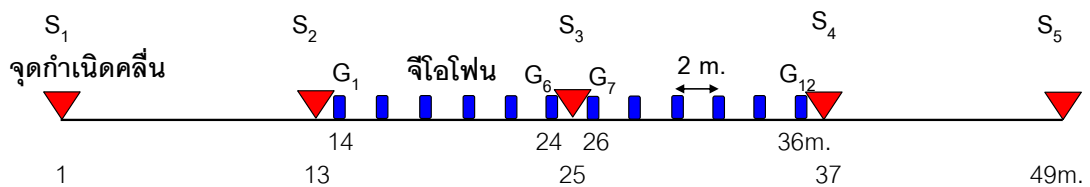
ภาพประกอบ 2.7 พื้นที่ศึกษา D บริเวณที่เตรียมจะมีการก่อสร้างโรงแรมศิริภินันท์ จ.สงขลา



ภาพประกอบ 2.8 พื้นที่ศึกษา E บริเวณที่มีการก่อสร้างอาคารที่พักข้าราชการ (อาคาร 4)
มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง

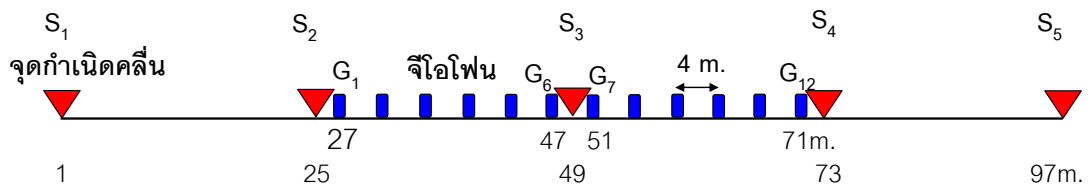
2.2.2. กำหนดแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเห ซึ่งมีรูปแบบการจัดวางจุดกำเนิดคลื่นและ
ขบวนของตัวรับคลื่นหรือตัวรับคลื่นสั้นสะเทือนแนวตั้งหรือจีไอโฟนแนวตั้ง ดังนี้

2.2.2.1 สำหรับพื้นที่ A, B, C และ D มีจำนวนจีไอโฟน 12 ตัวบนแนววัด ด้วย
ระยะห่างระหว่างจีไอโฟนเท่ากับ 2 m โดยจีไอโฟนตัวที่ 1 อยู่ที่
ตำแหน่ง 14 m และจีไอโฟนตัวที่ 12 อยู่ที่ตำแหน่ง 36 m ใช้จุดกำเนิด
คลื่น 5 ตำแหน่ง คือที่ตำแหน่ง 1, 13, 25, 37 และ 49 m ดัง
ภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นไหวสะเทือนหักเห
แบบที่ 1

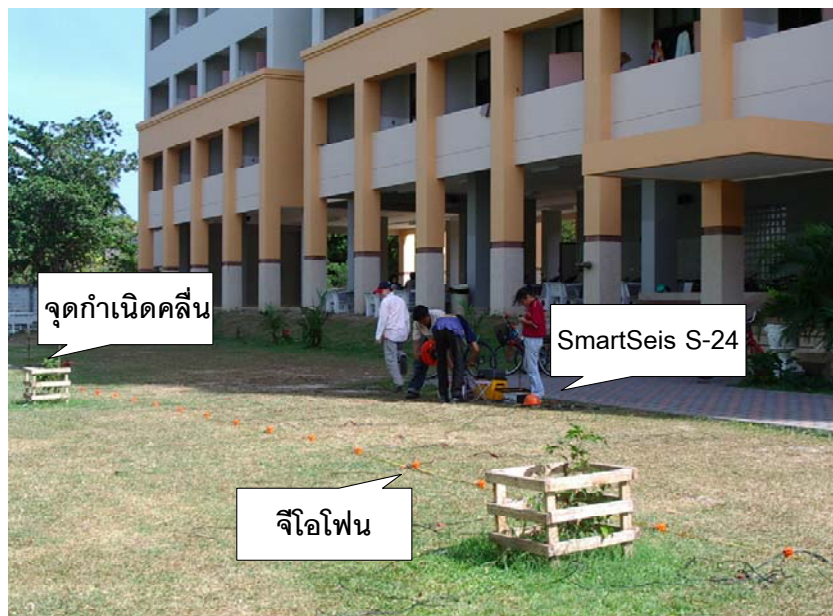
2.2.2.2 สำหรับพื้นที่ E มีจำนวนจีไอโฟน 12 ตัวบนแนววัด ด้วยระยะห่าง
ระหว่างจีไอโฟนเท่ากับ 4 m โดยจีไอโฟนตัวที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง 27 m
และจีไอโฟนตัวที่ 12 อยู่ที่ตำแหน่ง 71 m ใช้จุดกำเนิดคลื่น 5
ตำแหน่ง คือที่ตำแหน่ง 1, 25, 49, 73 และ 97 m ดังภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2.10 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นไหวสะเทือนหักเห แบบที่ 2



ภาพประกอบ 2.11 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเห



ภาพประกอบ 2.12 การจัดวางจุดกำเนิดคลื่น S จีไอโฟน G บนแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเห และการต่อวงจรสายเคเบิลและเครื่อง Geometric SmartSies S-24

2.2.3. ทำการวัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเห โดยใช้ค้อนขนาด 10 ปอนด์ทุบแผ่นโลหะที่จุดกำเนิดคลื่น และบันทึกสัญญาณที่ตรวจรับไว้ได้โดยขบวนจีไอโฟน ด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นสั้นสะเทือน Geometric Smartseis S-24 โดยใช้ระยะชักตัวอย่างเท่ากับ 0.25 ms และบันทึกสัญญาณเป็นเวลา 512 ms

2.3 การดำเนินการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ

2.3.1. วิเคราะห์ข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนหักเห โดยใช้โปรแกรม seismic interpretation program (SIP) เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างชั้นดินของพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยจำนวนชั้นดิน ความเร็วคลื่นไหวสะเทือนและความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น ดังนี้

- เลือกเวลาที่คลื่นแรกเดินทางมาถึงจีไอโฟนแต่ละตัวจากข้อมูลคลื่นสั้นสะเทือนของแต่ละจุดกำเนิดคลื่น
- เขียนกราฟเวลา-ระยะทาง (t-x graph) ที่คลื่นแรกเดินทางมาถึงจีไอโฟนของทุกจุดกำเนิดคลื่น แล้วกำหนดว่าคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงจีไอโฟนเป็นคลื่นที่เดินทางในดินชั้นที่เท่าไร
- ใช้โปรแกรม SIP คำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆของชั้นดิน เช่น ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือน และความหนาของดินแต่ละชั้น เป็นต้น

2.3.2. ศึกษาผลการเจาะสำรวจดินของทุกหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษา ดังนี้

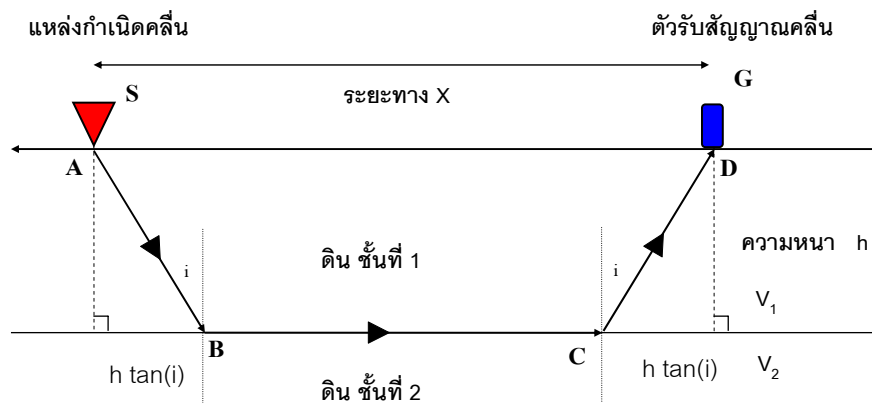
- วิเคราะห์ประเภทของชั้นดินและความหนาของดินแต่ละชั้น
- ศึกษาค่า standard penetration resistance (S.P.T. หรือ N) ของชั้นดิน
- คำนวณหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B)

2.3.3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นสั่นสะเทือนหักเหกับการเจาะสำรวจดิน เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่า standard penetration resistance กับความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนหักเห และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มแต่ละชั้นดินกับความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือน

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นสั่นสะเทือนหักเห

2.4.1. กรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวระดับ

คลื่นสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดคลื่นส่วนหนึ่งจะเดินทางผ่านดินชั้นที่หนึ่งไปยังตัวรับสัญญาณโดยตรง เรียกว่า คลื่นตรง และอีกส่วนหนึ่งจะกระทบผิวรอยต่อชั้นดินด้วยมุมวิกฤติแล้วหักเหด้วยมุมเท่ากับ 90 องศา แล้วเดินทางไปในดินชั้นที่สองขนานกับผิวรอยต่อ เรียกว่าคลื่นหักเหหรือคลื่นเฮด (head wave) ที่ตำแหน่งใดๆบนผิวรอยต่อ คลื่นเฮดนี้จะหักเหกลับเข้าไปในดินชั้นแรกด้วยมุมวิกฤติ แล้วเดินทางต่อไปยังตัวรับสัญญาณคลื่น หรือ จีโอโฟน ซึ่งวางอยู่ที่ผิวดินดังแสดงใน ภาพประกอบ 2.13



ภาพประกอบ 2.13 เส้นทางเดินของคลื่นในกรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่ออยู่ในแนวระดับ และ $V_2 > V_1$

สำหรับคลื่นตรง เวลาที่คลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณคลื่น เป็นดังนี้

$$t = \frac{AD}{V_1} = \frac{x}{V_1} \quad (2.1)$$

เมื่อ t เป็นเวลาที่คลื่นตรงใช้เดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณคลื่น x เป็นระยะทางระหว่างจุดกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณคลื่น และ V_1 เป็นความเร็วคลื่นในดินชั้นที่หนึ่ง สมการ (2.1) จะให้กราฟเวลา-ระยะทาง (t - x graph) เป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งมีความชัน (slope) เท่ากับ $1/V_1$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.14

สำหรับคลื่นหักเห เวลาที่คลื่นหักเหใช้เดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณคลื่น เป็นดังนี้ คือ

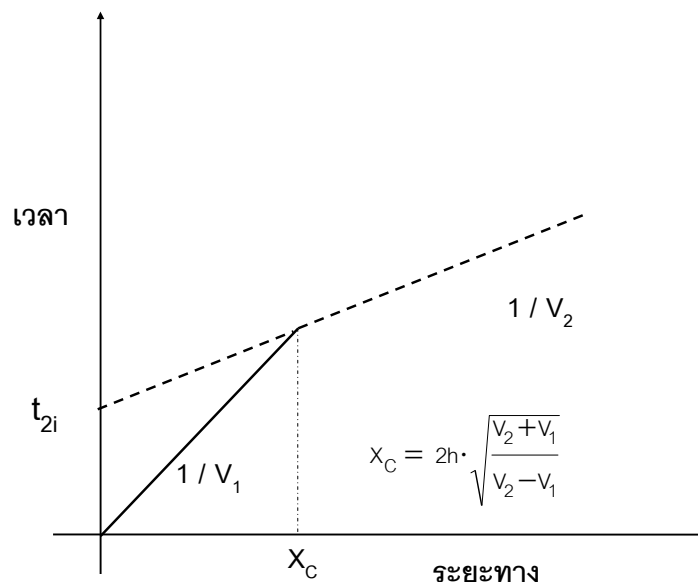
$$t = \frac{AB}{V_1} + \frac{BC}{V_2} + \frac{CD}{V_1}$$

หรือ

$$t = \frac{x}{V_2} + 2h \cdot \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.2)$$

สมการที่ 2.2 จะให้กราฟเวลา-ระยะทางเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/V_2$ และตัดผ่าน

แกนเวลาที่เวลา $t_{2i} = 2h \cdot \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$ ดังภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห ในกรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวระนาบรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวระดับ

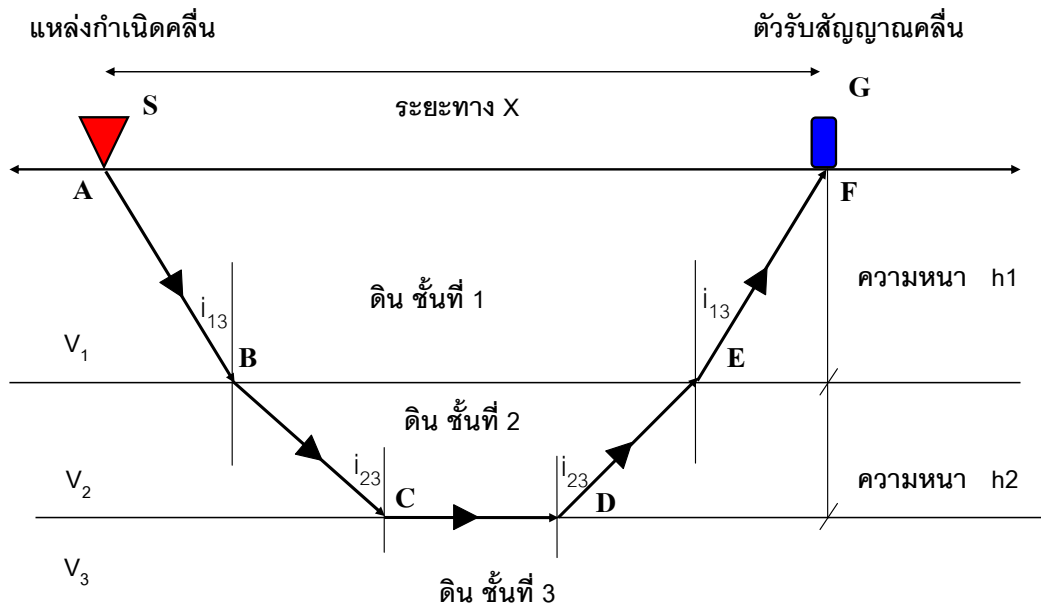
ความหนาของดินชั้นที่ 1 สามารถคำนวณได้จากเวลาที่กราฟคลื่นหักเหในดินชั้นที่สองตัดผ่านแกนเวลา หรือ t_{2i} ดังนี้

$$h = \frac{t_{2i}}{2} \cdot \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.3)$$

หรือ

$$h = \frac{X_C}{2} \cdot \frac{\sqrt{V_2 - V_1}}{\sqrt{V_2 + V_1}}$$

2.4.2 กรณีชั้นดินสามชั้นที่มีผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวระดับ



ภาพประกอบ 2.15 เส้นทางเดินของคลื่นหักเหในกรณีชั้นดินสามชั้นที่มีผิวรอยต่ออยู่ในแนวระดับ

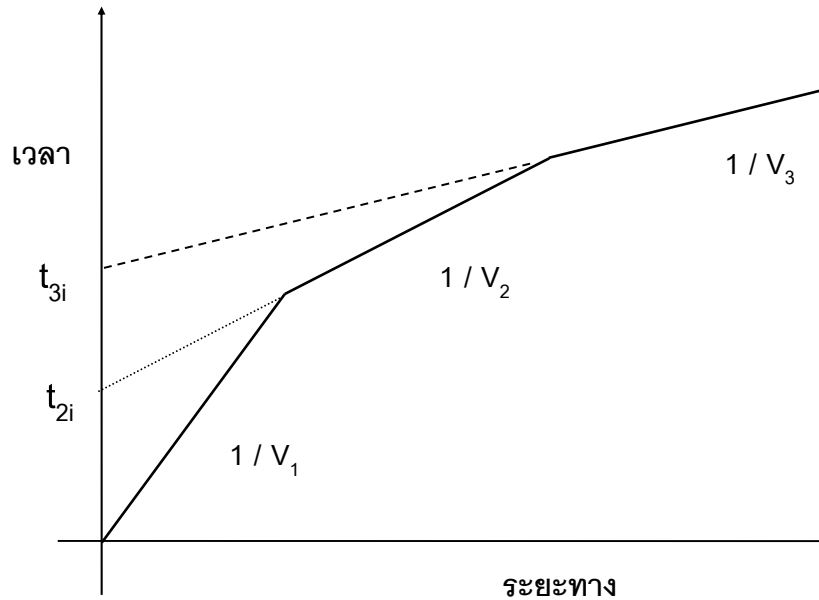
เวลาเดินทางของคลื่นหักเหเดินทางผ่านผิวรอยต่อระหว่างดินชั้นที่สองและชั้นที่สาม ดังนี้

$$t = \frac{AB}{V_1} + \frac{BC}{V_2} + \frac{CD}{V_3} + \frac{DE}{V_2} + \frac{EF}{V_1}$$

$$t = \frac{x}{V_3} + 2h_1 \cdot \frac{\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} + 2h_2 \cdot \frac{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}{V_3 V_2} \quad (2.4)$$

สมการที่ 2.4 จะให้กราฟเวลา-ระยะทางเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/V_3$ และตัดผ่าน

แกนเวลาที่เวลา $t_{3i} = 2h_1 \cdot \frac{\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} + 2h_2 \cdot \frac{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}{V_3 V_2}$ ดังภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.16 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห ในกรณีชั้นดินสามชั้นที่มีอัตราการรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวระดับ

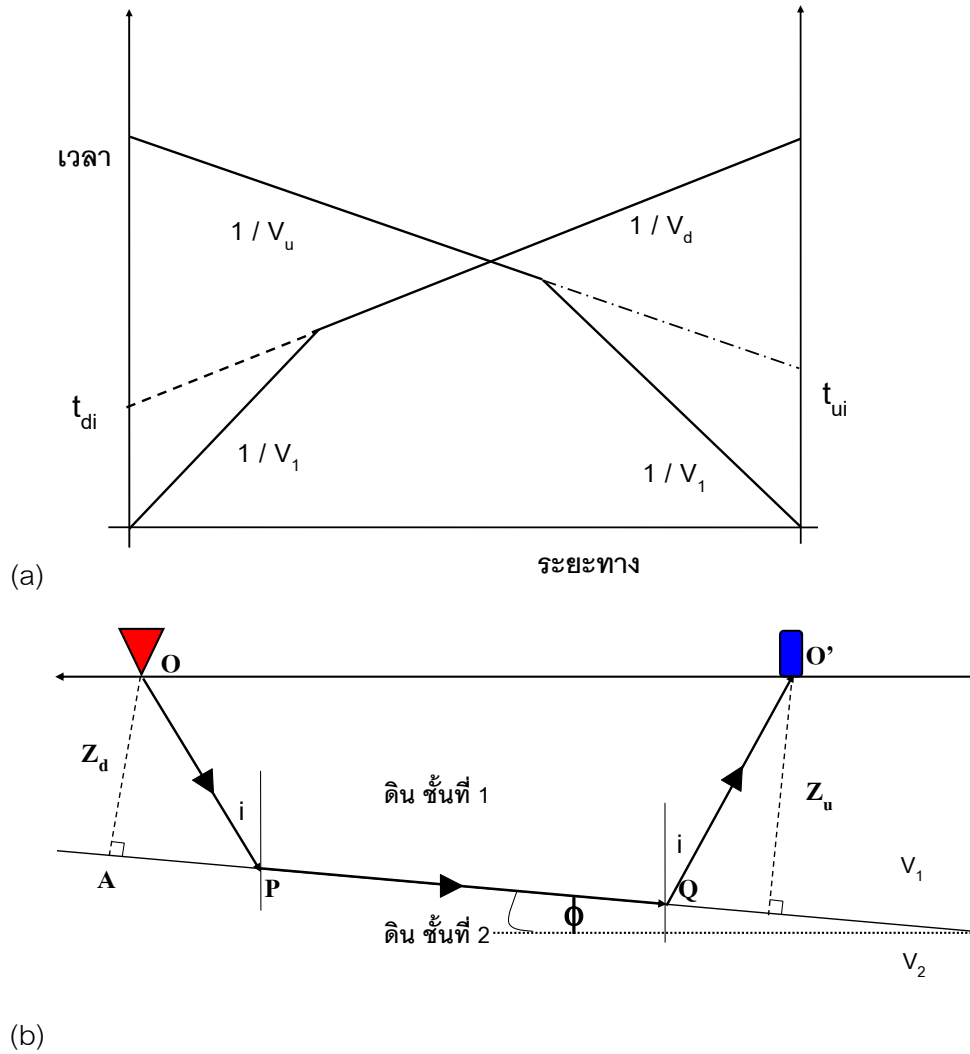
ความหนาของดินชั้นที่ 2 สามารถคำนวณได้จากเวลาที่กราฟคลื่นหักเหในดินชั้นที่สามตัดผ่านแกนเวลา หรือ t_{3i} ดังนี้ โดยเมื่อเราทราบค่า V_1, V_2, V_3, h_1 และ t_{3i} แล้ว

$$h_2 = \frac{t_{3i}}{2} \cdot \frac{V_3 V_2}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - h_1 \cdot \frac{\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} \cdot \frac{V_3 V_2}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \quad (2.5)$$

ในกรณีของชั้นดินจำนวน n ชั้น เวลาเดินทางของคลื่นหักเหที่เดินทางในตัวกลางชั้นที่ n กำหนดด้วยสมการที่ 2.6 ดังนี้

$$t = \frac{x}{V_n} + \frac{2}{V_n} \sum_{i=1}^{n-1} h_i \frac{(V_n^2 - V_i^2)^{1/2}}{V_i} \quad (2.6)$$

2.4.3 กรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินอยู่ในแนวเอียงเท



ภาพประกอบ 2.17 (a) กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห

(b) โครงสร้างชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่ออยู่ในแนวเอียงเทโดย $V_2 > V_1$

กรณีที่ผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินเอียงทำมุม ϕ กับระนาบระดับ เวลา t_d ที่คลื่นหักเหใช้เดินทางจากจุดกำเนิดคลื่น S_1 ลงตามแนวเอียงเท ถึงตัวรับสัญญาณคลื่น G_1 หรือ ตามเส้นทาง $OPQO'$ เป็น

$$t_d = \frac{OP}{V_1} + \frac{PQ}{V_2} + \frac{QO'}{V_1}$$

$$t_d = \frac{x}{V_1} \sin(i + \phi) + \frac{2Z_d \cos(i)}{V_1} \quad (2.7)$$

หรือ

$$t_d = \frac{x}{V_d} + \frac{2Z_d \cos(i)}{V_1}$$

โดย

$$V_d = \frac{V_1}{\sin(i + \phi)} \quad (2.8)$$

และ i แทนมุมวิกฤต โดย $\sin(i) = V_1/V_2$

ในการทำงานกลับกันเมื่อคลื่นหักเหเดินทางขึ้นตามแนวเอียงเท จากจุดกำเนิดคลื่น O' ถึงตัวรับสัญญาณคลื่น O หรือ ตามเส้นทาง $O'QPO$ เวลาที่คลื่นเสตใช้เดินทาง หรือ t_u จะเป็นดังนี้คือ

$$t_u = \frac{x}{V_1} \sin(i - \phi) + \frac{2Z_u \cos(i)}{V_1} \quad (2.9)$$

หรือ

$$t_u = \frac{x}{V_u} + \frac{2Z_u \cos(i)}{V_1}$$

โดย

$$V_u = \frac{V_1}{\sin(i - \phi)} \quad (2.10)$$

กราฟเวลา-ระยะทางสำหรับคลื่นหักเหจากจุดกำเนิดคลื่น O และ O' จะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันต่างกัน ดังภาพประกอบ 2.17 โดยกราฟของคลื่นเสตจากจุดกำเนิดคลื่น O จะมีความชันเท่ากับ $1/V_d$ และตัดผ่านแกนเวลาที่เวลา $t_{di} = 2Z_d \cos(i)/V_1$ สำหรับกราฟของคลื่นเสตจากจุดกำเนิดคลื่น O' จะมีความชันเท่ากับ $1/V_u$ และตัดผ่านแกนเวลาที่เวลา $t_{ui} = 2Z_u \cos(i)/V_1$ ดังนั้น Z_u และ Z_d จะสามารถประเมินได้เมื่อเราทราบ t_{di} , t_{ui} และ i ซึ่งค่า i และ ϕ จะสามารถหาได้โดยการแก้สมการ (2.11) และ (2.12) ดังนี้

$$i + \phi = \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_d} \right) \quad (2.11)$$

$$i - \phi = \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_u} \right) \quad (2.12)$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$\phi = \frac{1}{2} \cdot \left[\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_d} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_u} \right) \right]$$

$$i = \frac{1}{2} \cdot \left[\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_d} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_u} \right) \right]$$

ความหนาของชั้นดินสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.13) และ (2.14) ดังนี้

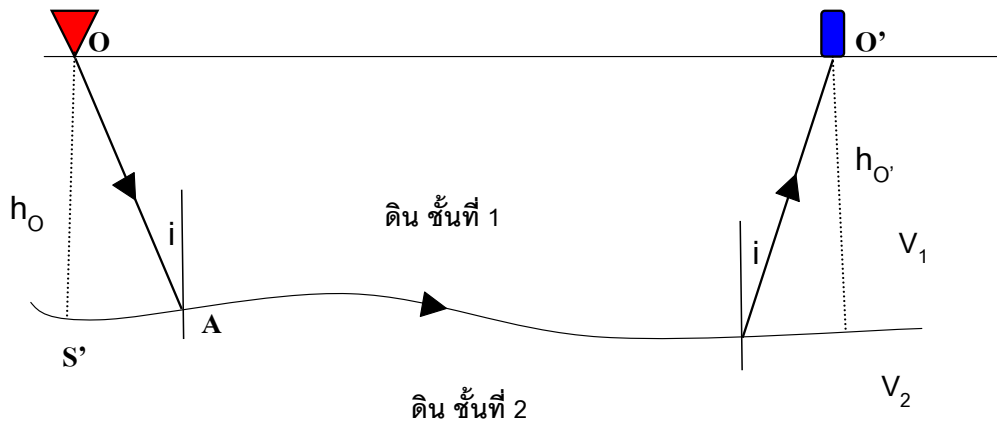
$$Z_d = \frac{V_1 \cdot t_{di}}{2 \cos(i)} \quad (2.13)$$

$$Z_u = \frac{V_1 \cdot t_{ui}}{2 \cos(i)} \quad (2.14)$$

2.4.4 กรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินมีลักษณะขรุขระ

วิธีเวลาล่าช้าหรือวิธีดีเลย์ไทม์ (delay time method) สำหรับการกำหนดลักษณะโครงสร้างของชั้นดินจากข้อมูลคลื่นสั้นสะท้อนหักเหในกรณีที่ผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินไม่ได้มีลักษณะเป็นผิวระนาบ

เวลาล่าช้าหรือดีเลย์ไทม์คือผลต่างของเวลาที่คลื่นเดินทางจริงจากจุดกำเนิดคลื่นถึงจุดรับคลื่นกับเวลาที่คาดว่าคลื่นจะใช้ในการเดินทางขนานกับผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินในดินชั้นที่สองจากตำแหน่งเงาของจุดกำเนิดคลื่นไปยังตำแหน่งเงาของตัวรับสัญญาณคลื่น



ภาพประกอบ 2.18 เส้นทางเดินของคลื่นในกรณีชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อขรุขระและ $V_2 > V_1$

ในกรณีของชั้นดินสองชั้นซึ่งมีผิวรอยต่อระหว่างชั้นดินมีผิวไม่เรียบ (ภาพประกอบ 2.18) เวลาล่าช้าที่จุดกำเนิดคลื่น O เป็น ($t_{d,O}$) หรือเรียกว่าเวลาล่าช้าในช่วงที่คลื่นเดินทางลงจากผิวดินถึงผิวรอยต่อ เป็นดังนี้

$$t_{d,O} = t_{OA} - t_{S'A}$$

$$t_{d,O} = \frac{OA}{V_1} - \frac{S'A}{V_2}$$

$$t_{d,O} = h_O \cdot \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.15)$$

หรือ

$$h_O = t_{d,O} \cdot \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.16)$$

ในทำนองกลับกันถ้าจุดกำเนิดคลื่น O' เวลาล่าช้าที่จุดกำเนิดคลื่น เป็น ($t_{d,O'}$)

$$t_{d,O'} = h_{O'} \cdot \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.17)$$

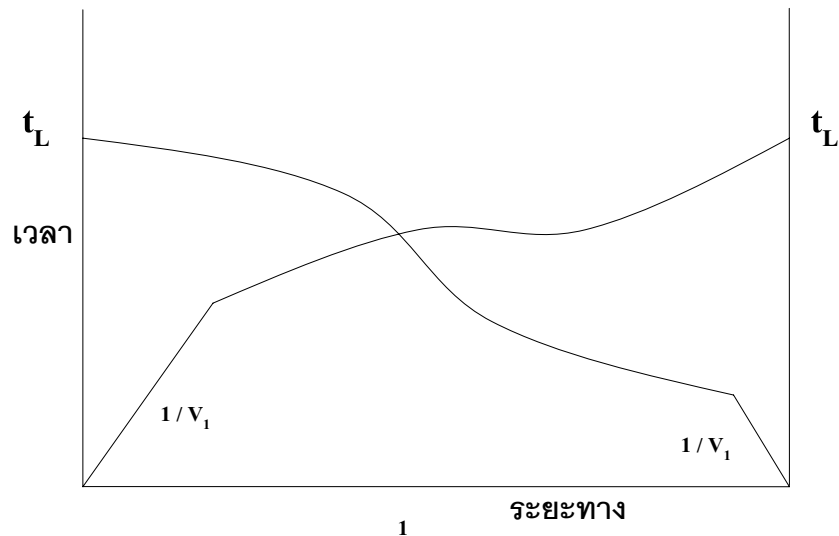
หรือ

$$h_{O'} = t_{d,O'} \cdot \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.18)$$

ดังนั้นในกรณีชั้นดินสองชั้น (ภาพประกอบ 2.19) เวลาเดินทางของคลื่นหักเหจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณคลื่น ซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทางเท่ากับ x เป็นดังนี้

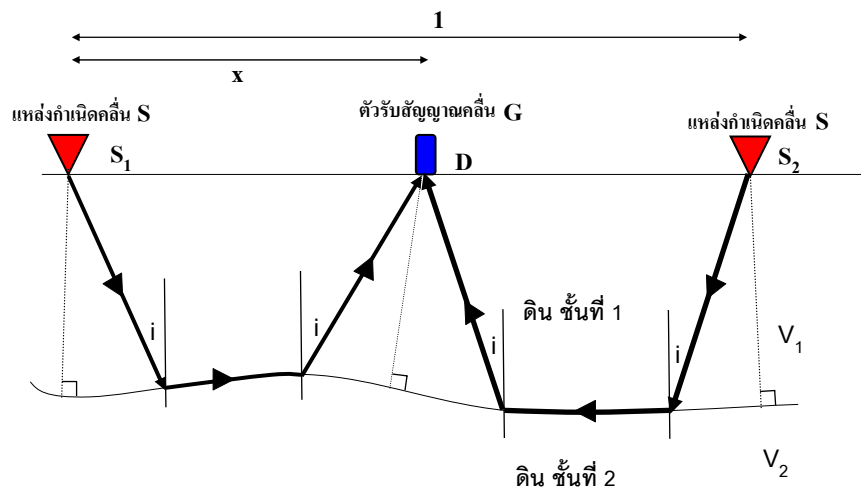
$$t = \frac{x}{V_2} + t_{d,S} + t_{d,G}$$

เมื่อ $t_{d,S}$ และ $t_{d,G}$ เป็นเวลาล่าช้าที่ตำแหน่งของจุดกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณคลื่นตามลำดับ
 ในกรณีที่รอยต่อระหว่างชั้นดินไม่ได้เป็นผิวระนาบ และมีจุดกำเนิดคลื่นวางไว้ทั้งทาง
 ด้านซ้ายและด้านขวาของตัวรับสัญญาณคลื่น ดังภาพประกอบ 2.19 (Griffiths and King, 1981)



(a)

(b)



ภาพประกอบ 2.19 (a) กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นตรงและคลื่นหักเห (b) เส้นทางเดิน
 ของ คลื่นหักเหในกรณีชั้นดินสองชั้นรอยต่อระหว่างชั้นดินเป็นผิวขรุขระ

เวลาเดินทางของคลื่นหักเหจากจุดกำเนิดคลื่น S_1 ไปยังตำแหน่ง S_2 เป็นดังนี้

$$t_L = t_{S_1S_2} = \frac{L}{V_2} + t_{d,S_1} + t_{d,S_2} \quad (2.19)$$

เวลาที่คลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่น S_1 ไปยังตัวรับสัญญาณ G เป็นดังนี้

$$t_{S_1G} = \frac{x}{V_2} + t_{d,S_1} + t_{d,G} \quad (2.20)$$

เวลาที่คลื่นเดินทางจากแหล่งกำเนิดคลื่น S_2 ไปยังตัวรับสัญญาณ G เป็นดังนี้

$$t_{S_2G} = \frac{L-x}{V_2} + t_{d,S_2} + t_{d,G} \quad (2.21)$$

ผลบวกของสมการ (2.20) กับสมการ (2.21) จะเป็นดังนี้

$$t_+ = t_{S_1G} + t_{S_2G} = \frac{L}{V_2} + t_{d,S_1} + t_{d,S_2} + 2t_{d,G} = t_L + 2t_{d,G} \quad (2.22)$$

แทนค่าสมการ (2.19) ในสมการ (2.22) จะเป็นดังนี้

$$t_{d,G} = \frac{1}{2}(t_+ - t_L) \quad (2.23)$$

เนื่องจาก

$$t_{d,G} = h_G \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.24)$$

ดังนั้น

$$h_G = t_{d,G} \cdot \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.25)$$

ผลต่างของสมการ (2.20) กับ สมการ (2.21) ได้ดังนี้

$$t_- = t_{S_1G} - t_{S_2G} = \frac{2x}{V_2} - \frac{L}{V_2} + t_{d,S_1} - t_{d,S_2} \quad (2.26)$$

จุดตัดแกนกราฟ t_- กับ x

$$t_0 = -\frac{L}{V_2} + t_{d,S_1} - t_{d,S_2} \quad (2.27)$$

จากสมการ (2.26) กราฟซึ่งพล็อตระหว่าง t_L กับ x จะเป็นกราฟเส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $2/V_2$ และมีจุดตัดแกนเวลาที่ $-(L/V_2 - t_{d,S1} + t_{d,S2})$ ความเร็ว V_2 จึงสามารถคำนวณหาได้จากค่าความชันของกราฟ และเวลาล่าช้าที่จุดกำเนิดคลื่น S1 และ S2 (หรือ $t_{d,S1}$ และ $t_{d,S2}$) จะสามารถคำนวณหาได้จากค่าจุดตัดแกนเวลาของกราฟ t_L กับ x และสมการ (2.19) ดังนั้น ความลึกถึงผิวรอยต่อที่ตำแหน่งของจุดกำเนิดคลื่น S1, S2 และตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ G ต่างๆ จะสามารถคำนวณหาได้เมื่อทราบค่า V_1 , V_2 , $t_{d,S1}$, $t_{d,S2}$ และ $t_{d,G}$ แล้ว

จากสมการ (2.19)

$$t_L = \frac{L}{V_2} + t_{d,S1} + t_{d,S2}$$

จะได้ว่า

$$t_{d,S1} + t_{d,S2} = t_L - \frac{L}{V_2} \quad (2.28)$$

และจากสมการ(2.27) จะได้ว่า

$$t_{d,S1} - t_{d,S2} = t_L + \frac{L}{V_2} \quad (2.29)$$

จากสมการ(2.28) และ สมการ(2.29) จะได้ค่า $t_{d,S1}$ และ $t_{d,S2}$

และความลึกถึงผิวรอยต่อที่ตำแหน่งของจุดกำเนิดคลื่น S1, S2

$$t_{d,S1} = h_{S1} \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.30)$$

$$t_{d,S2} = h_{S2} \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.31)$$

2.5 การประเมินค่าแรงแบกทานของชั้นดิน

ในทางวิศวกรรม ค่าแรงแบกทานของชั้นดิน หรือ ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของฐานรากเสาเข็มรวม (ultimate load) (Q_{ult}) กำหนดเป็นผลรวมของค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มของชั้นดิน (Q_F) กับค่าแรงแบกทานของชั้นดิน ที่ปลายเสาเข็ม (Q_B) ดังสมการ (2.32) ข้างล่างนี้ (Azizi, 1999 ; Bowles, 1988 ; Cernica, 1995 ; Das, 1999)

$$Q_{ult} = Q_F + Q_B \quad (2.32)$$

Thornburn and McVicar (1971) อ้างถึงใน สถาพร ศิริลิ้มปี (2546) โดยในกรณีที่เสาเข็มอยู่ในชั้นทราย ชั้นกรวด หรือชั้นตะกอนทรายปนกรวด ค่าแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มของชั้นดิน (Q_F) ในหน่วย tons มีความสัมพันธ์กับค่า standard penetration resistance หรือ ค่า N ซึ่ง เป็นค่าที่วัดได้จากวิธีหลุมเจาะสำรวจ ดังสมการ (2.33) ข้างล่างนี้

$$Q_F = 0.21 \cdot N' \cdot A_S \quad (2.33)$$

เมื่อ A_S เป็นพื้นที่ผิวเสาเข็มที่รับแรงฝืดในหน่วย m^2 ซึ่งกำหนดเป็นผลคูณของความยาวเสาเข็ม (L) กับค่าเส้นรอบรูปเสาเข็ม (p) หรือ $A_S = L \cdot p$ และค่า N' เป็นค่าเฉลี่ยของ standard penetration resistance ในช่วงความยาว L

Meyerhof (1976) อ้างถึงใน Bowles (1988) หน่วยแรงเสียดทานของชั้นดินที่ผิวเสาเข็ม (q_F) ในหน่วย $tons/m^2$ มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของ standard penetration resistance ในช่วงความยาว L ดังสมการ (2.34) ต่อไปนี้

$$q_F = 0.2 \cdot N' \quad (2.34)$$

Thornburn and McVicar (1971) อ้างถึงใน สถาพร ศิริลิ้มปี (2546) สำหรับค่าแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มของชั้นดินในหน่วย tons (Q_B) ในกรณีเสาเข็มวางบนชั้นทราย ชั้นกรวด หรือชั้นตะกอนทรายปนกรวด มีความสัมพันธ์กับค่า standard penetration resistance ดังสมการ (2.35) ข้างล่างนี้

$$Q_B = 43 \cdot N \cdot A_p \quad (2.35)$$

เมื่อ A_p เป็นพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มในหน่วย m^2 และ N เป็นค่า standard penetration resistance

Meyerhof (1976) อ้างถึงใน Bowles (1988) หน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) ในหน่วย $tons/m^2$ มีความสัมพันธ์กับค่า standard penetration resistance ดังสมการ (1.7) ต่อไปนี้

$$q_B = 40 \cdot N$$

สถาพร ศิริลิம்ப์ (2546) , Bowles (1988) กล่าวว่าค่าแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มของชั้นดินในหน่วย $tons (Q_B)$ ในกรณีเสาเข็มวางบนชั้นดินเหนียว หรือชั้นดินเหนียวปนกรวด มีความสัมพันธ์กับค่า standard penetration resistance ดังสมการ (2.35) ข้างล่าง ดังสมการ (1.8) และ สมการ (1.9)

$$q_B = 9 \cdot S_U$$

$$S_U = N/1.5$$

S_U เป็น กำลังแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) มีหน่วยเป็น $tons/m^2$

ในกรณีที่ Q_f มีค่าน้อยกว่าค่า Q_B มากค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของฐานรากเสาเข็มรวม (Q_{Ult}) จะประมาณเท่ากับค่าแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มของชั้นดินในหน่วย $tons (Q_B)$ ดังนี้ (Das, 1999)

$$Q_{Ult} = Q_B \quad (2.36)$$

บทที่ 3

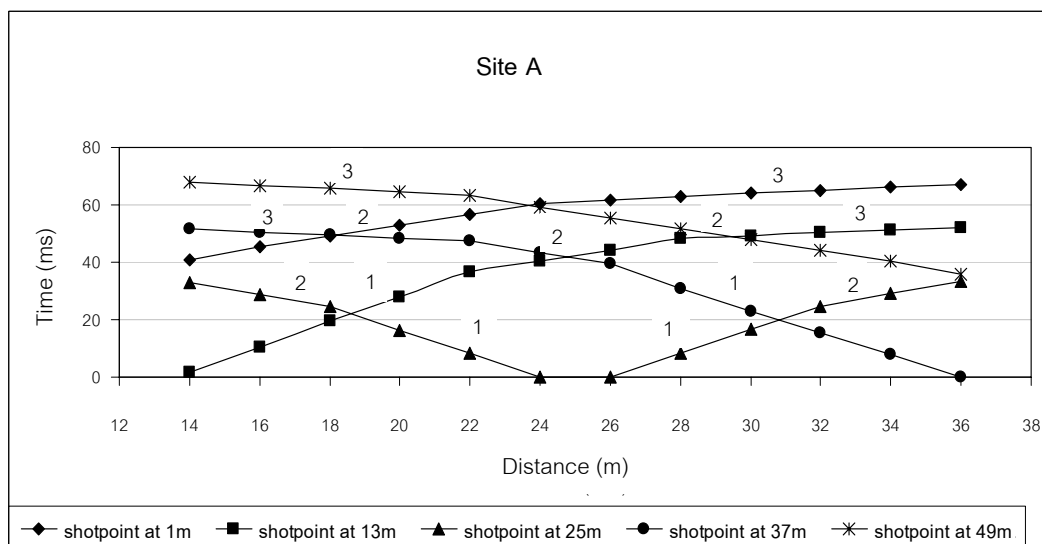
ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิถีคลื่นสั้นสะท้อนหักเหกับวิธีหลุมเจาะสำรวจ

3.1.1 พื้นที่ศึกษา A (บริเวณก่อสร้างอาคารหอพักนิสิต ม.ทักษิณ จ.สงขลา)

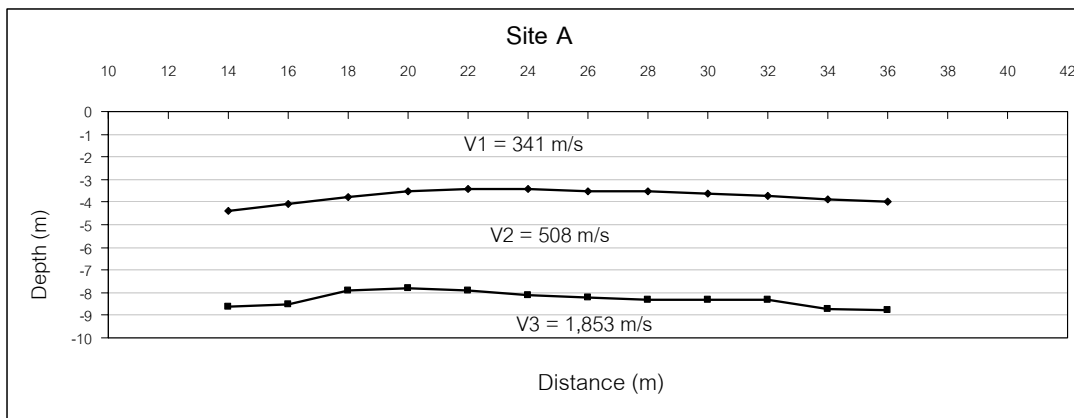
3.1.1.1 ผลการศึกษาวิถีคลื่นสั้นสะท้อนหักเห

กราฟเวลา-ระยะทาง ของข้อมูลคลื่นสั้นสะท้อนหักเหของพื้นที่ศึกษา A แสดงดังภาพประกอบ 3.1 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟเวลา-ระยะทางจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงสามส่วน โดยแต่ละส่วนมีค่าความชันต่างกัน ซึ่งแสดงว่าลักษณะโครงสร้างชั้นดินในพื้นที่ศึกษานี้ประกอบด้วยชั้นดินสามชั้น



ภาพประกอบ 3.1 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา A

ผลการวิเคราะห์คลื่นสั้นสะท้อนหักเหในพื้นที่ศึกษา A พบว่าชั้นดินทั้งสามชั้นมีค่าความเร็วและความหนาดังต่อไปนี้คือ โดยดินชั้นที่ 1 มีความเร็วของคลื่นสั้นสะท้อนเท่ากับ 341 m/s ในช่วงความลึกประมาณ 0.0-4.0 m ดินชั้นที่ 2 มีความเร็วของคลื่นสั้นสะท้อนเท่ากับ 508 m/s ในช่วงความลึกประมาณ 4.0-9.0 m สำหรับดินชั้นล่างสุดมีความเร็วของคลื่นสั้นสะท้อนเท่ากับ 1,853 m/s ดังภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 โครงสร้างชั้นดินจากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา A

3.1.1.2 ผลการศึกษาวิธีหลุมเจาะสำรวจ

ในพื้นที่ศึกษา A มีจำนวนหลุมเจาะสำรวจทั้งสิ้น 2 หลุม (สถาพร ศิริลิம்பี, 2541) ลักษณะของชั้นดินและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน เป็นดังนี้

ข้อมูลชั้นดินหลุมเจาะ BH.2 ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 18 m ของแนววัดคลื่นสั่นสะเทือนคือ ที่ช่วงความลึก 0.0-3.0 m เป็นชั้นดินทรายสีเทาอ่อนที่จับตัวกันอย่างหลวมๆ (loose sand, light grey sand) และมีค่า standard penetration resistance น้อยมากจึงไม่มีการบันทึกค่าไว้ ที่ช่วงความลึก 3.0-7.5 m เป็นชั้นดินทรายแน่นสีเทาอ่อน (very dense, light grey sand) และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 48-80 blows/ft ที่ช่วงความลึกตั้งแต่ 7.5 m ลงไป เป็นชั้นดินทรายแน่นมาก (very dense sand) และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 107 blows/ft ดังภาพประกอบ 3.3

สำหรับหลุมเจาะ BH.4 ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 40 m บนแนววัดคลื่นสั่นสะเทือน ข้อมูลชั้นดินในหลุมเจาะเป็นดังนี้คือ ที่ช่วงความลึก 0.0-4.5 m เป็นชั้นดินทรายสีเทาอ่อนที่จับตัวกันอย่างหลวมๆ และมีค่า standard penetration resistance น้อยมากจึงไม่มีการบันทึกค่าไว้ ที่ช่วงความลึก 4.5-9.0 m เป็นชั้นดินทรายแน่นสีเทา และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 50-95 blows/ft ที่ช่วงความลึกตั้งแต่ 9.0 m ลงไปเป็นชั้นดินทรายแน่นมาก (very dense sand) และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 140 blows/ft ดังภาพประกอบ 3.4

LOG OF BORING													
PROJECT : อาคารหอพักนิสิต 192 หน่วย ม.ทักษิณ จ.สงขลา													
LOCATION : BH.2				TEST DATE : 19 / 06 / 2541									
DEPTH(m)	SAMPLE(No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m ³)	N (blows/ft)							
						20	40	60	80	100	120	140	
1	1			loose sand	1.7								
2	2			grey sand		▲							
3							10						
4	3			dense gravelly sand	1.8	▲							
5							48						
6	4			light grey sand	1.8		▲			80			
7											107		
8	5,6			very dense sand	1.8						▲	110	
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													

ภาพประกอบ 3.3 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.2 พื้นที่ศึกษา A (อาคารหอพักนิสิต)

LOG OF BORING													
PROJECT : อาคารหอพักนิสิต 192 หน่วย ม.ทักษิณ จ.สงขลา													
LOCATION : BH.4				TEST DATE : 20 / 06 / 2541									
DEPTH(m)	SAMPLE(No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m ³)	N (blows/ft)							
						20	40	60	80	100	120	140	
1	1			loose sand	1.7								
2	2			light grey sand		▲							
3													
4	3				1.7	▲							
5							10						
6	4			dense sand	1.8	▲							
7							50				95		
8	5			light grey sand	1.8								
9													
10	6,7			very dense sand	1.8							▲	
11											140		
12													
13													
14													
15													

ภาพประกอบ 3.4 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.4 พื้นที่ศึกษา A (อาคารหอพักนิสิต)

3.1.1.3 การเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นสั้นสะเทือนกับข้อมูลหลุมเจาะ

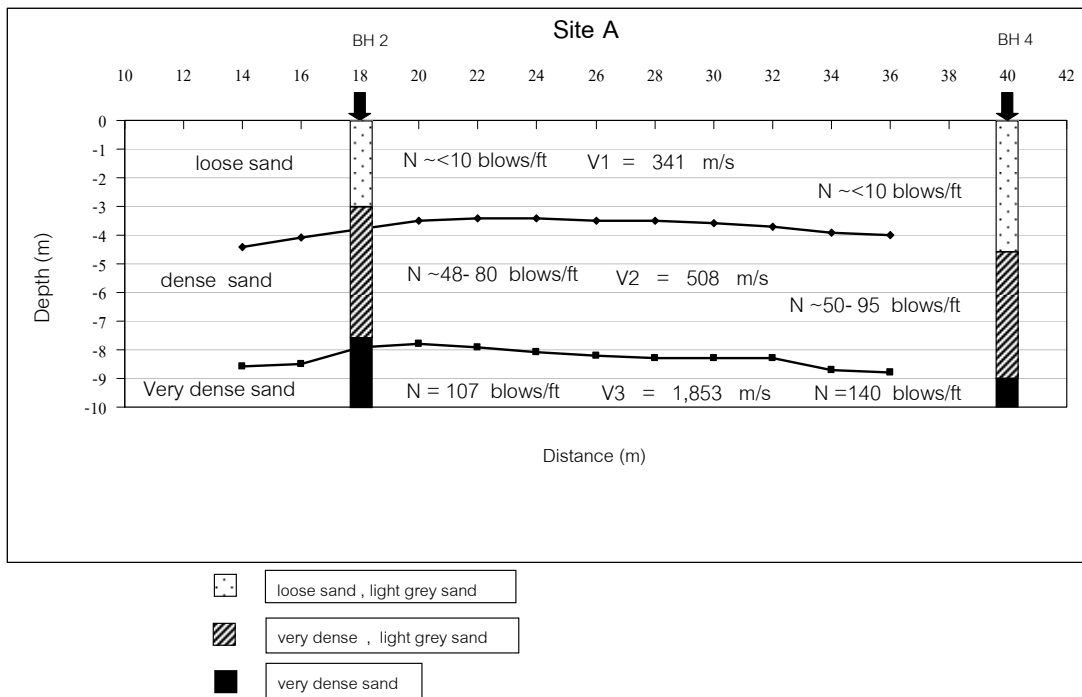
การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเหกับลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะของพื้นที่ศึกษา A แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.5 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าดินชั้นแรกซึ่งเป็นชั้นดินทรายสีเทาที่จับตัวกันอย่างหลวมๆเป็นชั้นดินที่มีความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนเท่ากับ 341 m/s ดินชั้นที่สองซึ่งเป็นชั้นดินทรายแน่นสีเทาเป็นชั้นดินที่มีความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนเท่ากับ 508 m/s สำหรับดินชั้นล่างสุดซึ่งเป็นชั้นดินรับน้ำหนักที่มีความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนเท่ากับ 1,853 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 107 blows/ft

ซึ่งจากข้อมูลผลการวัดคลื่นสั้นสะเทือนและข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษานี้จะได้ว่า

ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือน 341 m/s มีความสัมพันธ์กับ N ที่น้อยกว่า 10 blows/ft

ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือน 508 m/s มีความสัมพันธ์กับ N ประมาณ 48-95 blows/ft

ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือน 1,853 m/s มีความสัมพันธ์กับ N ประมาณ 107-140 blows/ft

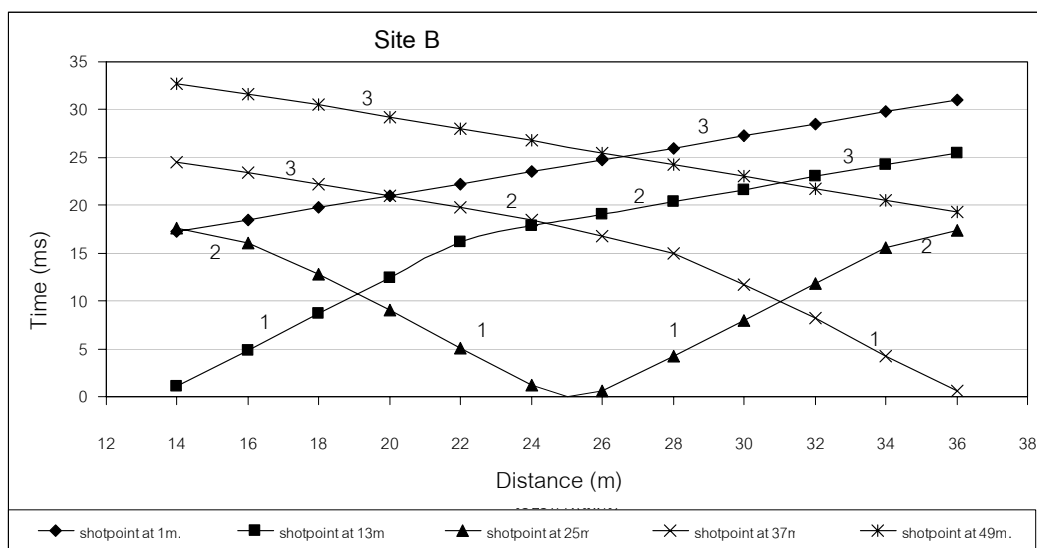


ภาพประกอบ 3.5 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา A

3.1.2 พื้นที่ศึกษา B (บริเวณก่อสร้างอาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง)

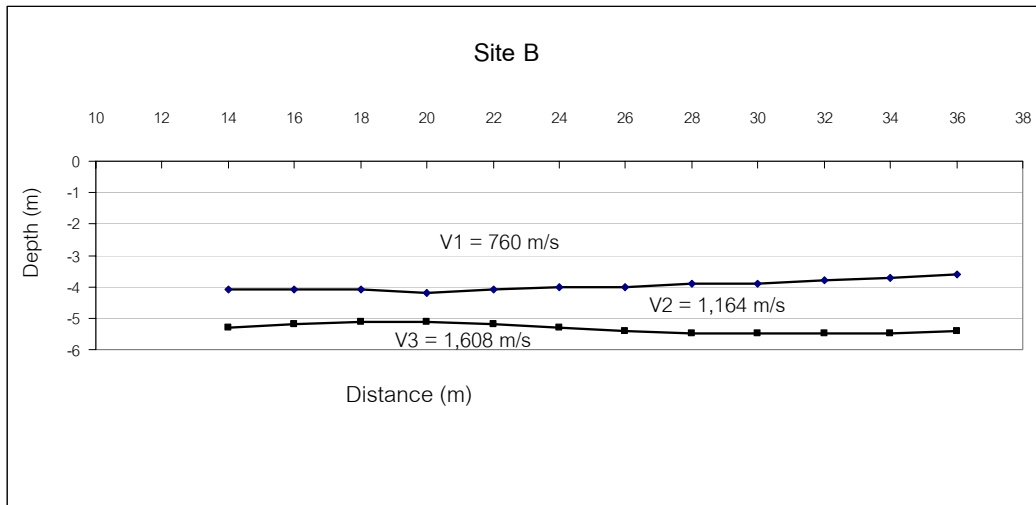
3.1.2.1 ผลการศึกษาวิถีคลื่นสั้นสะท้อนหักเห

กราฟเวลา-ระยะทาง ของข้อมูลคลื่นสั้นสะท้อนหักเหของพื้นที่ศึกษา B แสดงดังภาพประกอบ 3.6 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟเวลา-ระยะทางจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงสามส่วน โดยแต่ละส่วนมีค่าความชันต่างกัน ซึ่งแสดงว่าลักษณะโครงสร้างชั้นดินในพื้นที่ศึกษานี้ประกอบด้วยชั้นดินสามชั้น



ภาพประกอบ 3.6 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา B

ผลการวิเคราะห์คลื่นสั้นสะท้อนหักเหในพื้นที่ศึกษา B พบว่าชั้นดินในบริเวณนี้ประกอบด้วยชั้นดิน 3 ชั้น ดังนี้ ดินชั้นที่ 1 ในช่วงความลึกประมาณ 0.0-4.0 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะท้อนเท่ากับ 760 m/s ดินชั้นที่ 2 มีช่วงความลึกประมาณ 4.0-5.5 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะท้อนเท่ากับ 1,164 m/s และชั้นล่างสุดมีค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะท้อนเท่ากับ 1,608 m/s ดังภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา B

3.1.2.2 ผลการศึกษาวิธีหลุมเจาะสำรวจ

จากข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษา B มีจำนวนหลุมเจาะสำรวจ 1 หลุม (สถาพร ศิริลิம்பี, 2543) ลักษณะของชั้นดินและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน เป็นดังนี้

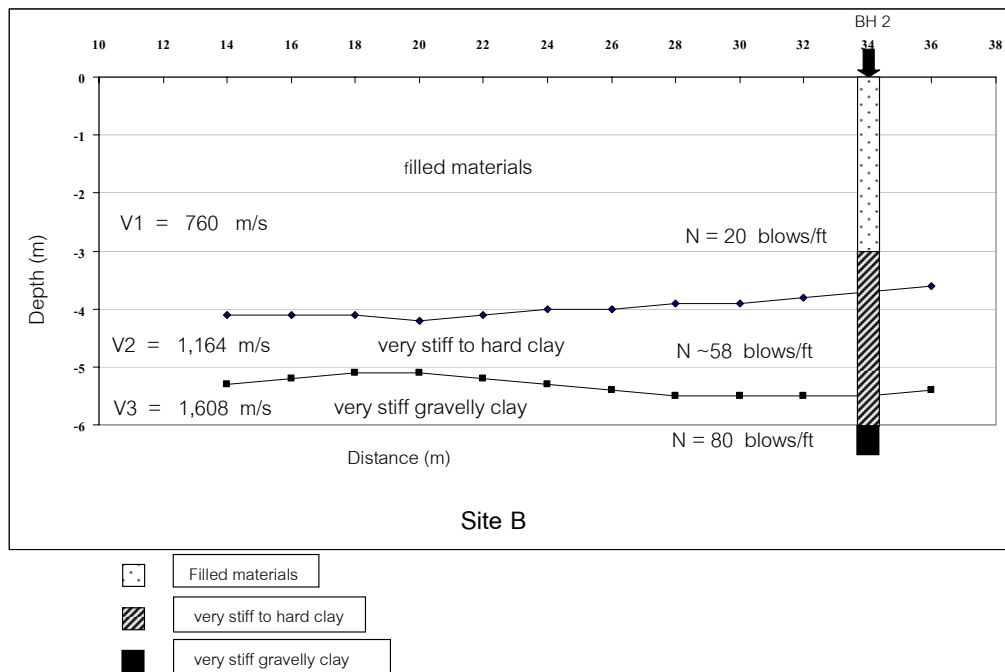
LOG OF BORING															
PROJECT :		อาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง													
LOCATION :			BH.2		TEST DATE : 26 / 07 / 2543										
DEPTH(m)	SAMPLE(No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m^3)	N (blows/ft)									
						20	40	60	80	100	120	140			
1	1														
2				filled materials											
3	2														
4				very stiff to hard											
5				yellowish grey clay (CL)	1.8										
6	3														
7				very stiff gravelly clay											
8	4,5														
9															
10	6														
11															
12															
13															
14															
15															

ภาพประกอบ 3.8 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.2 พื้นที่ศึกษา B (อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง)

ข้อมูลชั้นดินหลุมเจาะ BH.2 ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 34 m ของแนววัดคลื่นสั่นสะเทือน คือ ที่ช่วงความลึก 0.0-3.0 m เป็นชั้นดินถมใหม่ (filled materials) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 20 blows/ft ที่ช่วงความลึก 3.0-6.0 m เป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานละเอียดแน่นแข็ง (very stiff to hard , yellowish grey clay) และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 58 blows/ft ที่ช่วงความลึกตั้งแต่ 6.0 m ลงไป เป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดแน่นมาก (very stiff gravelly clay) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 80 blows/ft ดังภาพประกอบ 3.8

3.1.2.3 การเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นสั่นสะเทือนกับข้อมูลหลุมเจาะ

การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหกับลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจ ของพื้นที่ B ดังแสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.9 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าดินชั้นแรกซึ่งเป็นชั้นดินถมใหม่มีความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 760 m/s และดินชั้นนี้มีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 20 blows/ft ดินชั้นที่สองเป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานละเอียดแน่นแข็งมีความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,164 m/s ดินชั้นล่างสุดเป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดโดยเป็นชั้นดินรับน้ำหนักมีความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,608 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 80 blows/ft

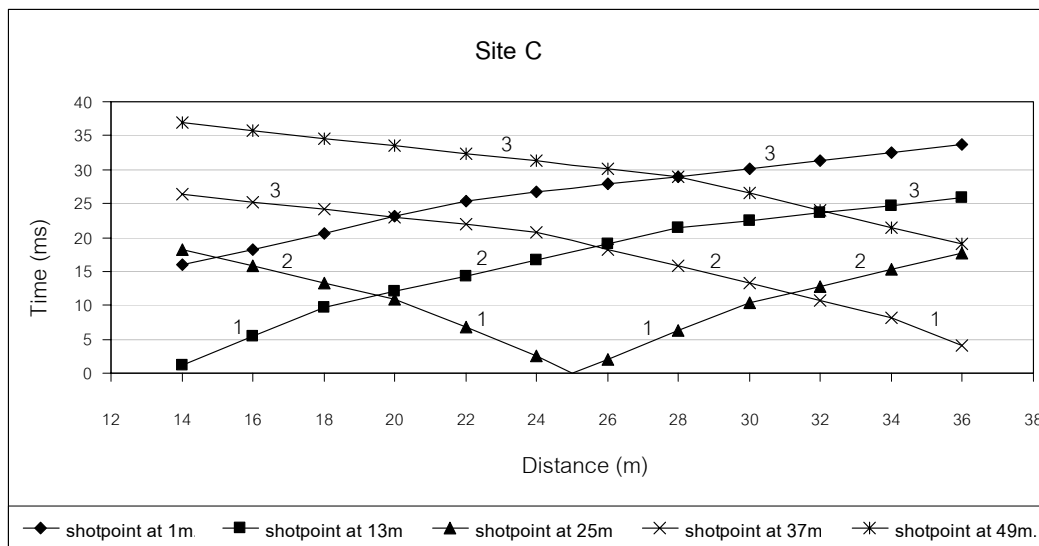


ภาพประกอบ 3.9 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา B

3.1.3 พื้นที่ศึกษา C (หน่วยงานก่อสร้างอาคารที่พักบุคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง)

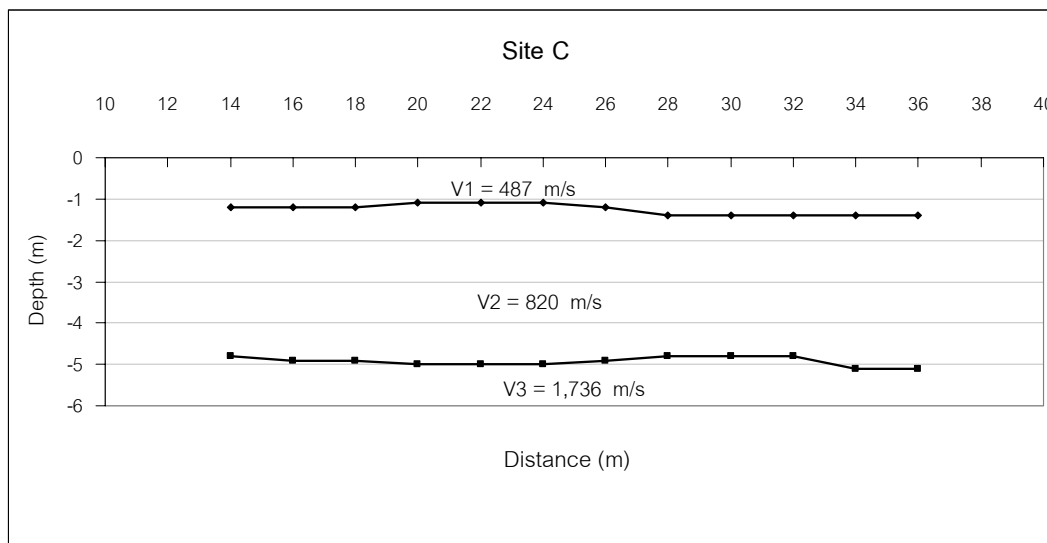
3.1.3.1 ผลการศึกษาวิถีคลื่นสั่นสะเทือนประเภทหักเห

กราฟเวลา-ระยะทาง ของข้อมูลคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา C แสดงดังภาพประกอบ 3.10 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟเวลา-ระยะทางจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงสามส่วน โดยแต่ละส่วนมีค่าความชันต่างกัน ซึ่งแสดงว่าลักษณะโครงสร้างชั้นดินในพื้นที่ศึกษานี้ประกอบด้วยชั้นดินสามชั้น



ภาพประกอบ 3.10 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา C

ผลการวิเคราะห์คลื่นสั่นสะเทือนหักเหในพื้นที่ศึกษา C พบว่าชั้นดินในบริเวณนี้ประกอบด้วยชั้นดิน 3 ชั้น ดังนี้ โดยดินชั้นที่ 1 มีช่วงความลึกประมาณ 0.0-1.5 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 478 m/s ดินชั้นที่ 2 มีช่วงความลึกประมาณ 1.5-4.5 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 820 m/s และชั้นล่างสุดมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,736 m/s ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 3.11



ภาพประกอบ 3.11 โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา C

3.1.3.2 ผลการศึกษาวิธีหลุมเจาะสำรวจ

ในพื้นที่ศึกษา C มีจำนวนหลุมเจาะสำรวจทั้งสิ้น 2 หลุม (สถาพร ศิริลิம்பี, 2546) ลักษณะของชั้นดินและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน เป็นดังนี้

ข้อมูลชั้นดินหลุมเจาะ BH.2 ซึ่งอยู่ตรงกับตำแหน่ง 14 m ของแนววัดคลื่นสั่นสะเทือน คือ ที่ช่วงความลึก 0.0-1.5 m เป็นชั้นดินทรายแน่นปานกลาง (medium dense sand) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 20 Blows/ft ที่ช่วงความลึก 1.5-4.5 m เป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานปนกรวดแน่น (hard, very gravelly, grey clay) และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 60 Blows/ft ที่ช่วงความลึกตั้งแต่ 4.5 m ลงไปเป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดแน่นมาก (very stiff gravelly clay) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 105 Blows/ft ดังภาพประกอบ 3.12

สำหรับหลุมเจาะ BH.3 ซึ่งอยู่ตรงกับตำแหน่ง 36 m ของแนววัดคลื่นสั่นสะเทือน ข้อมูลชั้นดินในหลุมเจาะเป็นดังนี้คือ ที่ช่วงความลึก 0.0-1.5 m เป็นชั้นดินทรายแน่นปานกลาง (medium dense sand) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 20 Blows/ft ที่ช่วงความลึก 1.5-5.0 m เป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานปนกรวดแน่น (hard, very gravelly, grey clay) และมีค่า standard penetration resistance ประมาณ 51-83 Blows/ft ที่ช่วงความลึก ตั้งแต่ 5.0 m ลงไป เป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดแน่นมาก (very stiff gravelly clay) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 105 Blows/ft ดังภาพประกอบ 3.13

LOG OF BORING															
PROJECT : อาคารที่พักบุคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง															
LOCATION : BH.2					TEST DATE : 04 / 06 / 2546										
DEPTH(m)	SAMPLE(No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m ³)	N (blows/ft)									
						20	40	60	80	100	120	140			
1	1			medium dense sand	1.8										
2						20									
3															
4	2			hard,reddish,very gravelly grey clay (CL)	1.8			60							
5															
6	3,4			very stiff gravelly clay						105					
7															115
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															

ภาพประกอบ 3.12 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.2 พื้นที่ศึกษา C (อาคารที่พักบุคลากร)

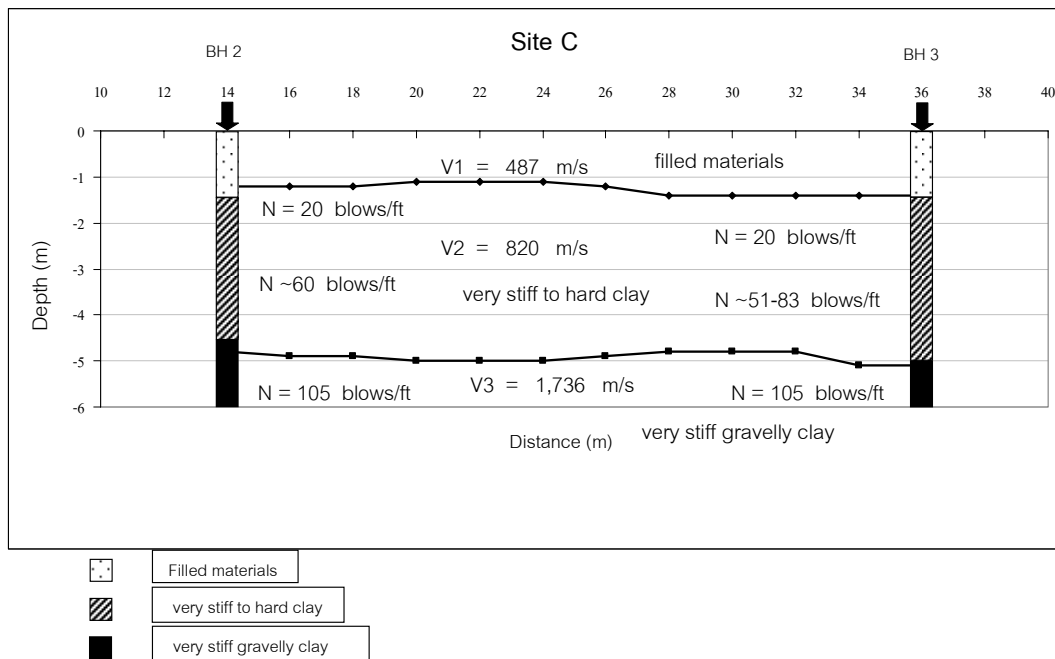
LOG OF BORING															
PROJECT : อาคารที่พักบุคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง															
LOCATION : BH.3					TEST DATE : 05 / 06 / 2546										
DEPTH(m)	SAMPLE(No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m ³)	N (blows/ft)									
						20	40	60	80	100	120	140			
1	1			medium dense sand	1.8										
2						20									
3	2			hard,reddish grey clay (CL)											
4	3			very gravelly	1.8			51							
5															
6	4,5			very stiff gravelly clay						83		105			
7															109
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															

ภาพประกอบ 3.13 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.3 พื้นที่ศึกษา C (อาคารที่พักบุคลากร)

3.1.3.3 การเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นสั้นสะเทือนกับข้อมูลหลุมเจาะ

การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเหกับลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะ ของพื้นที่ศึกษา C แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.14 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า

ดินชั้นแรกเป็นชั้นดินทรายแน่นปานกลางมีความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนเท่ากับ 487 m/s ดินชั้นที่สองเป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานปนกรวดแน่นมีความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนเท่ากับ 820 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 20 blows/ft ดินชั้นล่างสุดเป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดซึ่งเป็นชั้นรับน้ำหนักที่มีความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนเท่ากับ 1,736 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 105 blows/ft

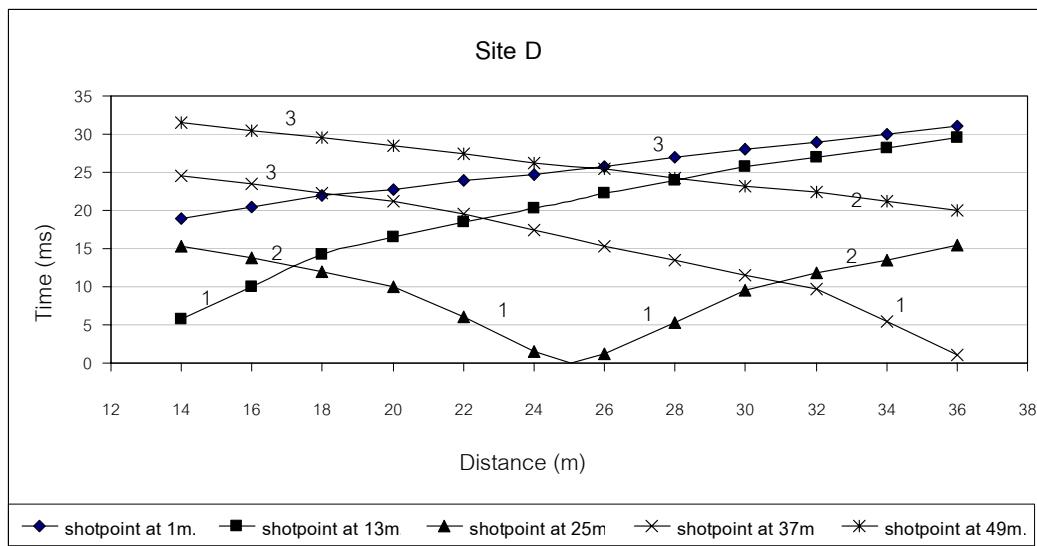


ภาพประกอบ 3.14 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา C

3.1.4 พื้นที่ศึกษา D (บริเวณก่อสร้าง โรงแรมศิริกนิษฐ์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา)

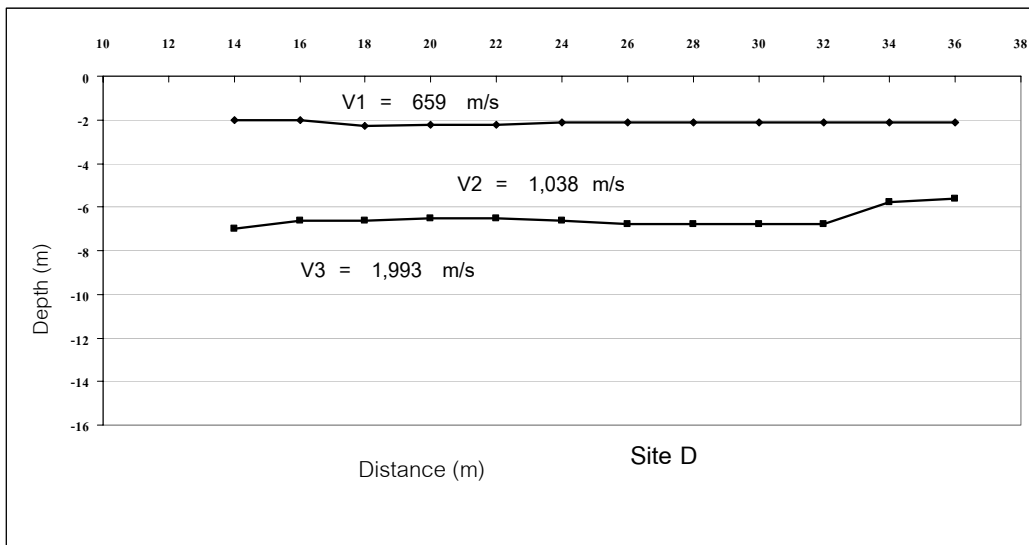
3.1.4.1 ผลการศึกษาวิถีคลื่นสั่นสะเทือนประเภทหักเห

กราฟเวลา-ระยะทาง ของข้อมูลคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา D แสดงดังภาพประกอบ 3.15 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟเวลา-ระยะทางจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงสามส่วน โดยแต่ละส่วนมีค่าความชันต่างกัน ซึ่งแสดงว่าลักษณะโครงสร้างชั้นดินในพื้นที่ศึกษานี้ประกอบด้วยชั้นดินสามชั้น



ภาพประกอบ 3.15 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา D

ผลการวิเคราะห์คลื่นสั่นสะเทือนหักเหในพื้นที่ศึกษา D พบว่าชั้นดินในบริเวณนี้ประกอบด้วยชั้นดิน 3 ชั้น ดังนี้คือ โดยดินชั้นที่ 1 มีช่วงความลึกประมาณ 0.0-2.0 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 659 m/s ดินชั้นที่ 2 มีช่วงความลึกประมาณ 2.0-6.0 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,038 m/s และชั้นล่างสุดมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,993 m/s ดังภาพประกอบ 3.16



ภาพประกอบ 3.16 โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา D

3.1.4.2 ผลการศึกษาวิธีหลุมเจาะสำรวจ

ในพื้นที่ศึกษา D มีจำนวนหลุมเจาะสำรวจทั้งสิ้น 1 หลุม (สถาพร ศิริลิம்பี, 2546) ลักษณะของชั้นดินและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน เป็นดังนี้

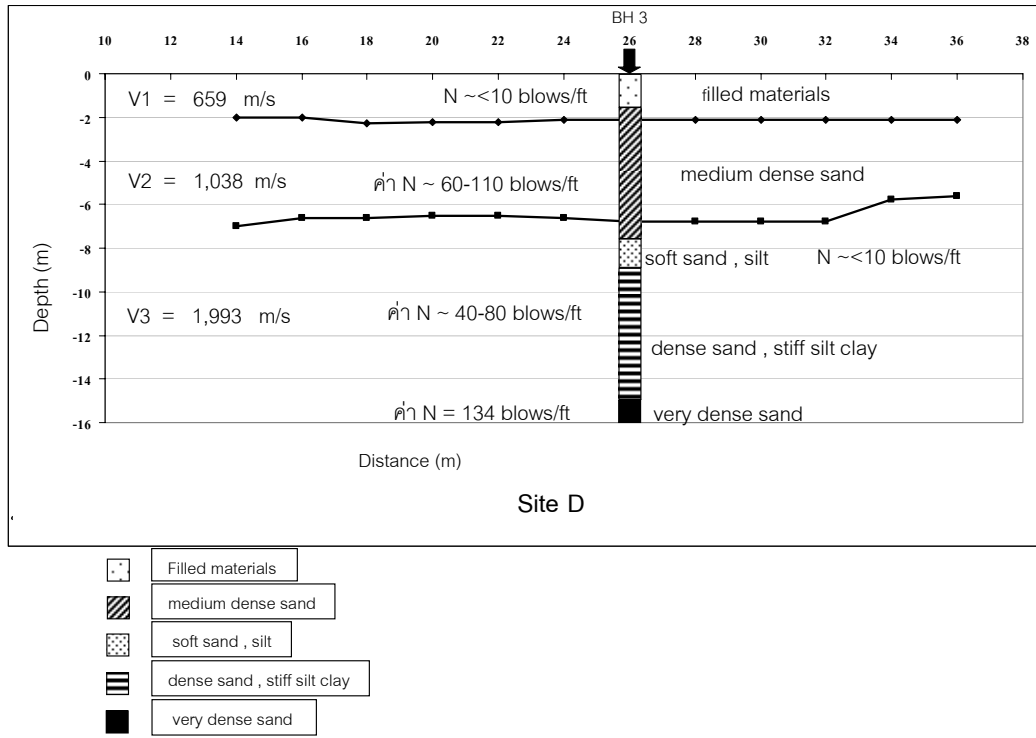
ข้อมูลชั้นดินหลุมเจาะ BH.1 ซึ่งอยู่ตรงตำแหน่ง 26 m ของแนววัดคลื่นสั่นสะเทือนคือ ที่ช่วงความลึก 0.0-1.5 m เป็นชั้นดินถมใหม่ (filled materials) ที่ช่วงความลึก 1.5-7.5 m เป็นชั้นดินทรายหรือดินดานละเอียดแน่นปานกลาง (medium dense sand , silty clay) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 121 Blows/ft ที่ช่วงความลึก 7.5-9.0 m เป็นชั้นดินทรายอ่อนหรือดินดานละเอียดอ่อน (soft sand , soft silty) ที่ช่วงความลึก 9.0-15.0 m เป็นชั้นดินทรายแน่นหรือดินละเอียดแน่น (dense sand ,stiff silty clay) ที่ช่วงความลึกตั้งแต่ 15.0 m ลงไป เป็นชั้นดินทรายแน่นมาก (very dense sand) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 134 Blows/ft ดังภาพประกอบ 3.17

LOG OF BORING																	
PROJECT : โรงเรียนศิริวิวัฒน์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา																	
LOCATION : BH.1				TEST DATE : 27 / 12 / 2546													
DEPTH(m)	SAMPLE (No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m ³)	N (blows/ft)											
						20	40	60	80	100	120	140					
1	1			filled materials													
2	2			medium dense sand													
3	3			clayey , sand (SC)	1.6			60									
4	4																
5	5										80						
6	6																
7	7			soft silty , sand	1.4												
8	8			stiff silty clay	1.5												
9	9																
10	10									40							
11	11			dense fine sand	1.6												
12	12																
13	13																
14	14																
15	15			very dense sand													
16	16																
17	17																
18	18																
19	19																
20	20																

ภาพประกอบ 3.17 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.1 พื้นที่ศึกษา D (อาคารโรงเรียนศิริวิวัฒน์ อ.สงขลา)

3.1.4.3 การเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นสั่นสะเทือนกับข้อมูลหลุมเจาะ

การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหกับลักษณะชั้นดินหลุมเจาะ ของพื้นที่ศึกษา D ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าดินชั้นแรกเป็นชั้นดินถมใหม่ มีความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 659 m/s ดินชั้นที่สองซึ่งเป็นชั้นดินทรายหรือดินดานละเอียดแน่นปานกลางถึงแน่น มีความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,038 m/s ดินชั้นที่สามเป็นชั้นดินรับน้ำหนักที่มีความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 1,993 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 121 blows/ft ดินชั้นที่สี่เป็นชั้นดินทรายอ่อนหรือดินดานละเอียดอ่อนอยู่ที่ช่วงความลึก 7.5-9.0 m ดินชั้นล่างสุดซึ่งเป็นดินทรายแน่นหรือดินละเอียดแน่นอยู่ที่ช่วงความลึก 9.0-15.0 m โดยในดินชั้นที่สี่และชั้นล่างสุดไม่มีข้อมูลจากวิธีการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเนื่องจากการทำการทดลองไม่ได้ออกแบบการเก็บข้อมูลในระดับลึก เพราะจากข้อมูลการก่อสร้างอาคารใช้เสาเข็มยาว 7.00 m รองรับน้ำหนักอาคาร และก็เป็นข้อจำกัดของวิธีการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหที่ไม่สามารถแยกชั้นดินที่มีความเร็วคลื่นน้อยได้ชั้นดินที่มีความเร็วคลื่นมากกว่าด้านบนได้ โดยเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ผลของวิธีการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหในพื้นที่ศึกษา D สามารถแยกชั้นดินได้เพียง 3 ชั้น ดังภาพประกอบ 3.18

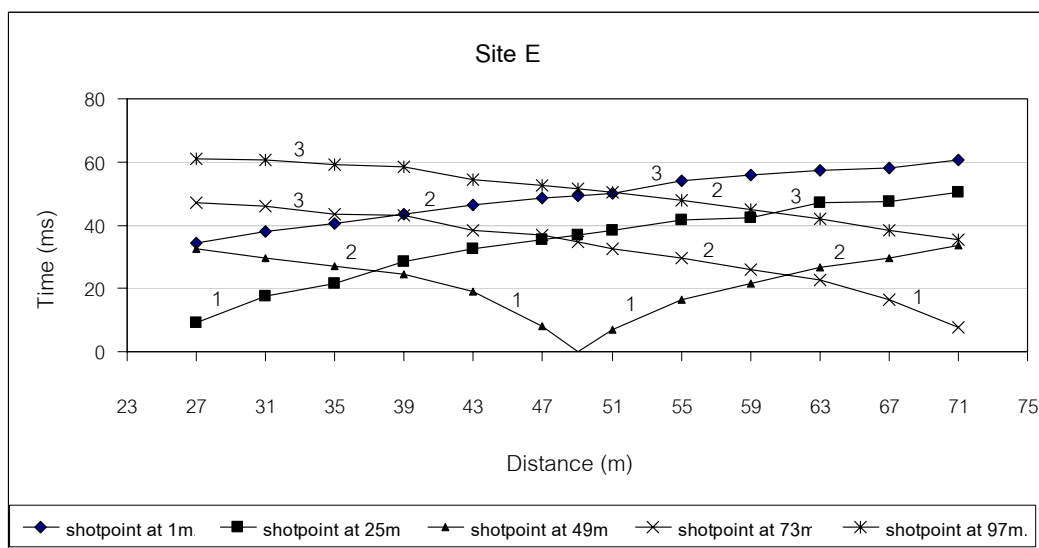


ภาพประกอบ 3.18 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา D

3.1.5 พื้นที่ศึกษา E (บริเวณก่อสร้าง อาคารที่พักข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง)

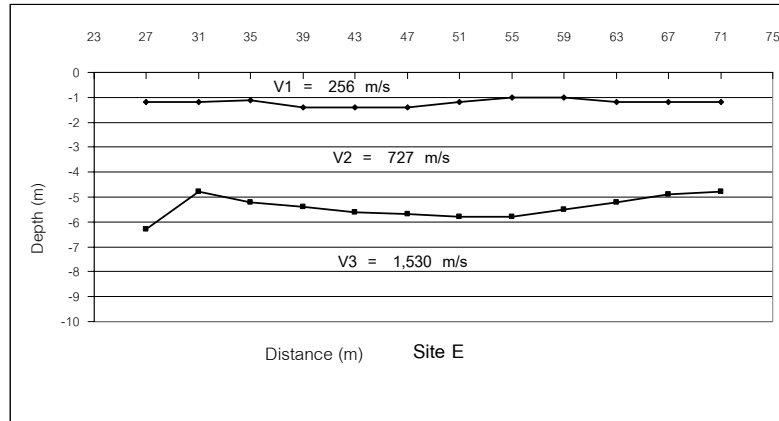
3.1.5.1 ผลการศึกษาวิถีคลื่นสั่นสะเทือนประเภทหักเห

กราฟเวลา-ระยะทาง ของข้อมูลคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา E แสดงดังภาพประกอบ 3.19 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟเวลา-ระยะทางจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงสามส่วน โดยแต่ละส่วนมีค่าความชันต่างกัน ซึ่งแสดงว่าลักษณะโครงสร้างชั้นดินในพื้นที่ศึกษานี้ประกอบด้วยชั้นดินสามชั้น



ภาพประกอบ 3.19 กราฟเวลา-ระยะทางของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณในพื้นที่ศึกษา E

ผลการวิเคราะห์หัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหในพื้นที่ศึกษา E พบว่าชั้นดินในบริเวณนี้ประกอบด้วยชั้นดิน 3 ชั้น ดังนี้คือ ดินชั้นที่ 1 มีช่วงความลึกประมาณ 1.0-1.5 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือน เท่ากับ 256 m/s ดินชั้นที่ 2 มีช่วงความลึกประมาณ 5.0-6.5 m และมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนเท่ากับ 727 m/s และชั้นล่างสุดมีค่าความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือน เท่ากับ 1,530 m/s ดังภาพประกอบ 3.20



ภาพประกอบ 3.20 โครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหของพื้นที่ศึกษา E

3.1.5.2 ผลการศึกษาวิธีหลุมเจาะสำรวจ

ในพื้นที่ศึกษา E มีจำนวนหลุมเจาะสำรวจทั้งสิ้น 1 หลุม (สถาพร ศิริดิษฐ์, 2548) ลักษณะของชั้นดินและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน เป็นดังนี้ ข้อมูลชั้นดินหลุมเจาะ BH.3 ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 47 m ของแนววัดคลื่นสั่นสะเทือน คือ ที่ช่วงความลึก 0.0-1.5 m เป็นชั้นดินถมใหม่ (filled materials) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 12 blows/ft ที่ช่วงความลึก 1.5-7.5 m เป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานละเอียดแข็ง (very stiff to hard, yellow clay) ที่ช่วงความลึกตั้งแต่ 7.5 m ลงไป เป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดแน่นมาก (very stiff gravelly clay) และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 75 Blows/ft ดังภาพประกอบ 3.21

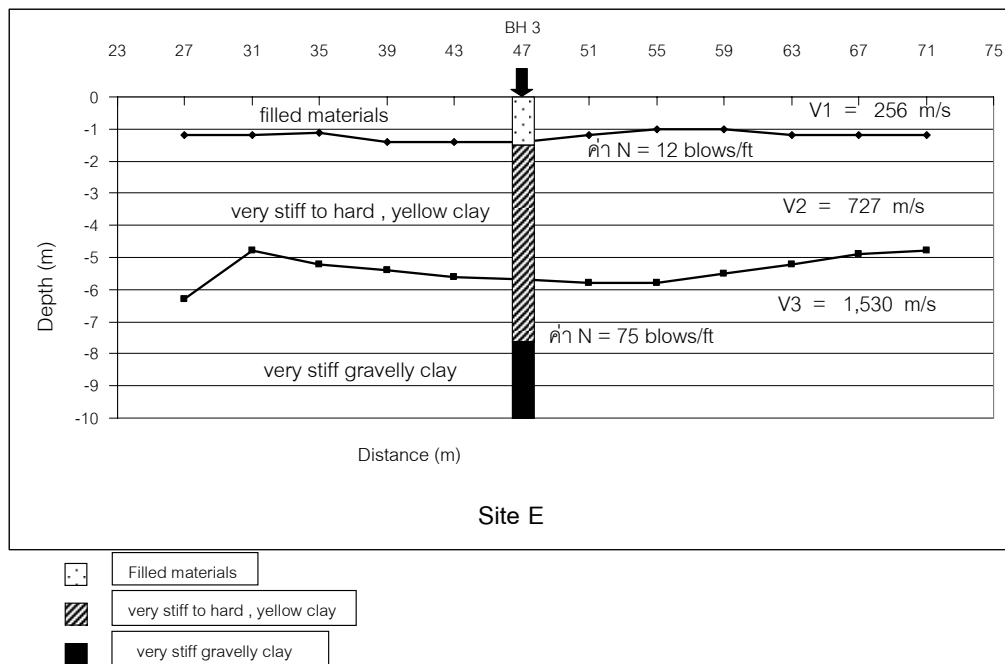
LOG OF BORING															
PROJECT :		อาคารชุดที่พักอาศัยข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง													
LOCATION :			BH.3		TEST DATE : 11 / 07 / 2548										
DEPTH(m)	SAMPLE (No.)	TYPE OF SAMPLE	LEGEND	DESCRIPTION OF SOIL	UNITWEIGHT(T/m^3)	N (blows/ft)									
						20	40	60	80	100	120	140			
1	1			filled materials		12									
2															
3															
4	2			very stiff to hard	1.8				37						
5	3			yellow clay (CL)						50					
6	3									63					
7	4										75				
8															
9	5,6			very stiff gravelly clay											
10															
11															
12															
13															
14															
15															

ภาพประกอบ 3.21 ข้อมูลหลุมเจาะ BH.3 พื้นที่ศึกษา E (อาคารชุดที่พักอาศัยข้าราชการ)

3.1.5.3 การเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นสั่นสะเทือนกับข้อมูลหลุมเจาะ

การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหกับลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะของพื้นที่ศึกษา E พบว่าดินชั้นแรกซึ่งเป็นชั้นดินถมใหม่มีความเร็วคลื่นเท่ากับ 256 m/s ดินชั้นที่สองซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวหรือดินดานละเอียดแข็งมีความเร็วคลื่นเท่ากับ 727 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 12 blows/ft สำหรับดินชั้นล่างสุดซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวปนกรวดแน่นมากซึ่งเป็นชั้นดินรับน้ำหนักมีความเร็วคลื่นเท่ากับ 1,530 m/s และมีค่า standard penetration resistance เท่ากับ 75 blows/ft ดังภาพประกอบ 3.22

สังเกตเห็นว่าความลึกถึงชั้นดินชั้นล่างสุด(ชั้นรับน้ำหนัก)จากข้อมูลหลุมเจาะแตกต่างจากผลการสำรวจคลื่นสั่นสะเทือนหักเห เนื่องจากตำแหน่งหลุมเจาะอยู่ห่างจากแนววัดคลื่นสั่นสะเทือน หักเหประมาณ 20 m ดังภาพประกอบ 2.8 ซึ่งแสดงว่าชั้นดินชั้นล่างสุดมีมุมเอียงเทไปทางทิศเหนือ ประมาณ 6 องศา



ภาพประกอบ 3.22 โครงสร้างชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั่นสะเทือนหักเหเปรียบเทียบกับลำดับชั้นดินของผลหลุมเจาะ ในพื้นที่ศึกษา E

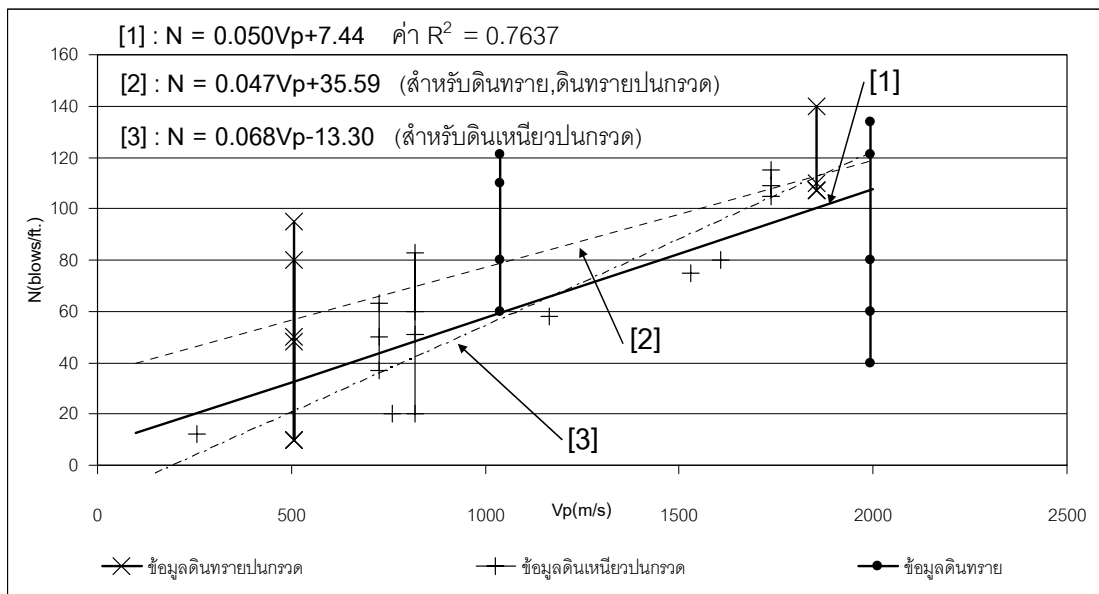
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนกับค่า standard penetration resistance และหน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มของชั้นดิน (q_p)

ข้อมูลและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนและค่า standard penetration resistance (N) ของชั้นดินที่สัมพันธ์กันของพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 พื้นที่แสดงไว้ในตาราง 3.1 และภาพประกอบ 3.23 ตามลำดับ โดยชั้นดินที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 พื้นที่ มีลักษณะดังนี้คือ (1) เป็นชั้นดินทราย ในกรณีของพื้นที่ศึกษา A (อ.เมือง จ.สงขลา) (2) เป็นชั้นดินทรายปนกรวด ในกรณีพื้นที่ศึกษา D (อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา) และ (3) เป็นชั้นดินเหนียวปนกรวด ในกรณีของพื้นที่ศึกษา B, C และ E (อ. ป่าพะยอม จ.พัทลุง)

ตาราง 3.1 ความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนและค่า standard penetration resistance ของชั้นดิน

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ค่า Vp ในชั้นดิน (m/s)	ค่า standard penetration resistance				ลักษณะชั้นดิน
			ค่า N หลุมเจาะที่ 1 ในชั้นดิน (blows/ft.)	ค่า N หลุมเจาะที่ 2 ในชั้นดิน (blows/ft.)	N เฉลี่ย (mean) (blows/ft.)	ค่าเบี่ยงเบน (SD) หรือค่าละเอียดสุดของข้อมูล	
1	A	508	10	10	48.83	34.99	ดินทรายปนกรวด
2	A		48	50			ดินทรายปนกรวด
3	A		80	95			ดินทรายปนกรวด
7	A	1853	107	140	119.00	18.25	ดินทรายปนกรวด
8	A		110	-			ดินทรายปนกรวด
10	B	760	20	-	20.00	13.00	ดินเหนียวปนกรวด
11	B	1164	58	-	58.00	13.00	ดินเหนียวปนกรวด
12	B	1608	80	-	80.00	13.00	ดินเหนียวปนกรวด
13	C	820	20	20	46.80	27.11	ดินเหนียวปนกรวด
14	C		51	60			ดินเหนียวปนกรวด
15	C		83	-			ดินเหนียวปนกรวด
18	C	1736	105	105	108.50	4.73	ดินเหนียวปนกรวด
19	C		115	109			ดินเหนียวปนกรวด
20	D	1038	60	-	83.33	25.17	ดินทราย
21	D		80	-			ดินทราย
22	D		110	-			ดินทราย
25	D	1993	40	-	87.00	39.85	ดินทราย
26	D		60	-			ดินทราย
27	D		80	-			ดินทราย
28	D		121	-			ดินทราย
29	D		134	-			ดินทราย
30	E	256	12	-	12.00	13.00	ดินเหนียวปนกรวด
31	E	727	37	-	50.00	13.00	ดินเหนียวปนกรวด
32	E		50	-			ดินเหนียวปนกรวด
33	E		63	-			ดินเหนียวปนกรวด
34	E		1530	75			-

ความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือน (V_p) ที่ปรากฏในตาราง 3.1 เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของดินแต่ละชั้น ในขณะที่ค่า standard penetration resistance (N) ของชั้นดินได้จากการเก็บข้อมูลในหลุมเจาะทุกๆความลึก 1.5 m ดังนั้นในกรณีในพื้นที่ศึกษาหนึ่งมีข้อมูลหลุมเจาะเพียงหลุมเดียว และชั้นดินที่เกี่ยวข้องเป็นดินชั้นล่างสุด หรือดินชั้นที่สองที่มีความหนาน้อยกว่า 1.5 m หรือ เป็นดินชั้นแรกที่มีความหนาน้อยกว่า 1.5 m หรือมากกว่า 1.5 m แต่ไม่มีการเก็บข้อมูลในช่วง 1.5 m แรก จะทำให้ค่า N ที่บันทึกได้มีเพียงค่าเดียว กรณีของค่า N เดียวสำหรับชั้นดินนี้ได้ถูกตรวจพบในพื้นที่ศึกษา B และ C ซึ่งชั้นดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนกรวด ซึ่งในกรณีพื้นที่ศึกษาเป็นชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวปนกรวด ค่า N มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 4.73 ถึง 27.11 blows/ft และมีค่ามัธยฐานเท่ากับ 13.0 blows/ft ดังนั้นในกรณีชั้นดินมีค่า N เพียงค่าเดียว เรา จะกำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า N นั้นเท่ากับ 13.0 blows/ft



ภาพประกอบ 3.23 ความสัมพันธ์ของค่า standard penetration resistance กับค่าความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนของชั้นดิน

โดยทั่วไป ค่า standard penetration resistance หรือ N จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนดังแสดงในภาพประกอบ 3.23 ในกรณีของข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งได้จากการศึกษาในพื้นที่ซึ่งชั้นดินมีลักษณะเป็นดินทราย ดินทรายปนกรวด และดินเหนียวปนกรวด ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของค่าเฉลี่ยของค่า standard penetration resistance

หรือ N กับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนที่สัมพันธ์กัน (กราฟ [1] ในภาพประกอบ 3.23) จะมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7637 และสมการของกราฟเส้นตรง ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงไว้ดังสมการ (3.1)

$$N = 0.050V_p + 7.44 \quad (3.1)$$

สำหรับพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินทรายและดินทรายปนกรวด เช่น พื้นที่ศึกษา A และ D ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของค่า standard penetration resistance หรือ N กับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนที่สัมพันธ์กัน (กราฟ [2] ในภาพประกอบ 3.23) สามารถอธิบายด้วยสมการของกราฟเส้นตรงดังสมการ (3.2) โดยใช้การถ่วงน้ำหนักในการหาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นดังกล่าว ซึ่งได้ให้ค่าน้ำหนักแปรผกผันกับกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Miller and Miller, 1993)

$$N = 0.047V_p + 35.39 \quad (3.2)$$

สำหรับพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวปนกรวด เช่น พื้นที่ศึกษา B, C และ E ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของค่า standard penetration resistance หรือ N กับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนที่สัมพันธ์กัน (กราฟ [3] ในภาพประกอบ 3.23) สามารถอธิบายด้วยสมการ (3.3) ซึ่งเป็นสมการของกราฟเส้นตรง โดยใช้การถ่วงน้ำหนักในการหาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นดังกล่าวเช่นเดียวกัน ซึ่งได้ให้ค่าน้ำหนักแปรผกผันกับกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Miller and Miller, 1993)

$$N = 0.068V_p - 13.30 \quad (3.3)$$

ในกรณีของชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินทรายหรือดินทรายปนกรวด ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) ในหน่วย tons/m^2 กับค่า standard penetration resistance หรือ N ในหน่วย blows/ft เป็นดังสมการ (1.7) หรือ $q_B = 40N$ Meyerhof's equation อ้างถึงใน Bowles (1988) ดังนั้นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของค่าหน่วย

แรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) ในหน่วย tons/m^2 กับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือน (V_p) ในหน่วย m/s จึงสามารถอธิบายด้วยสมการ (3.4) ซึ่งเป็นสมการของกราฟเส้นตรงดังนี้คือ

$$q_B = 1.88V_p + 1423.60 \quad (3.4)$$

สำหรับในกรณีของชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนกรวดความสัมพันธ์ของค่าหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) ในหน่วย tons/m^2 กับค่า standard penetration resistance หรือ N ในหน่วย blows/ft เป็นดังสมการ (1.8) และ (1.9) คือ $q_B = 9 \cdot S_U$ เมื่อ $S_U = N/1.5$ Meyerhof's equation อ้างถึงในสภาพ ศิริลิம்பี (2546) และ Bowles (1988) ดังนั้นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของค่าหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) ในหน่วย tons/m^2 กับค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือน (V_p) ในหน่วย m/s จึงสามารถอธิบายด้วยสมการ (3.5) ซึ่งเป็นสมการของกราฟเส้นตรงดังนี้คือ

$$q_B = 0.41V_p - 79.80 \quad (3.5)$$

ดังนั้น ค่า standard penetration resistance หรือ N และค่าหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม หรือ q_B สามารถประเมินได้เมื่อเราทราบค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนของชั้นดิน (V_p) ที่สัมพันธ์กัน โดยในกรณีที่ชั้นดินมีลักษณะเป็นชั้นทรายหรือชั้นทรายปนกรวด ความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_B กับ V_p เป็นดังสมการ (3.2) และ (3.4) ตามลำดับ แต่ในกรณีที่ชั้นดินมีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวปนกรวด ความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_B กับ V_p เป็นดังสมการ (3.3) และ (3.5) ตามลำดับ

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการกำหนดสมบัติของชั้นดินทางวิศวกรรมโดยวิธีคลื่นสั้นสะเทือน โดยสมบัติของชั้นดินทางวิศวกรรมคือค่า standard penetration resistance (N) และค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดิน (Q) หรือ หน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) โดยทำการทดลองในพื้นที่ศึกษารวม 5 แห่ง ในจังหวัดพัทลุงและจังหวัดสงขลา ซึ่งชั้นดินเป็นประเภทชั้นทราย ชั้นทรายปนกรวด และชั้นเหนียวปนกรวดแน่นปานกลางถึงแน่นมาก

ลักษณะโครงสร้างของชั้นดินในพื้นที่ศึกษาซึ่งกำหนดได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเห ประกอบด้วยจำนวนของชั้นดิน ความหนาของดินแต่ละชั้น และความเร็วคลื่นสั้นสะเทือนในดินแต่ละชั้น ลักษณะโครงสร้างของชั้นดินซึ่งกำหนดได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเหนี้ สอดคล้องกับโครงสร้างของชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจในพื้นที่ศึกษา โดยโครงสร้างของชั้นดินที่ได้จากการวัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเหจะลักษณะต่อเนื่องตลอดแนววัด ในขณะที่ผลการเจาะหลุมสำรวจจะให้โครงสร้างชั้นดินสำหรับจุดเจาะสำรวจนั้นๆ

สำหรับพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินทรายและดินทรายปนกรวด ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าค่า standard penetration resistance (N) ของชั้นดิน และหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นดินแต่ละชั้น (V_p) ดังสมการ (3.2) และ (3.4) ดังนี้

$$N = 0.047V_p + 35.39$$

$$q_B = 1.88V_p + 1423.60$$

สำหรับในกรณีของชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนกรวดผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าค่า standard penetration resistance (N) ของชั้นดิน และหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม (q_B) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนในชั้นดินแต่ละชั้น (V_p) ดังสมการ (3.3) และ (3.5) ดังนี้

$$N = 0.068V_p - 13.30$$

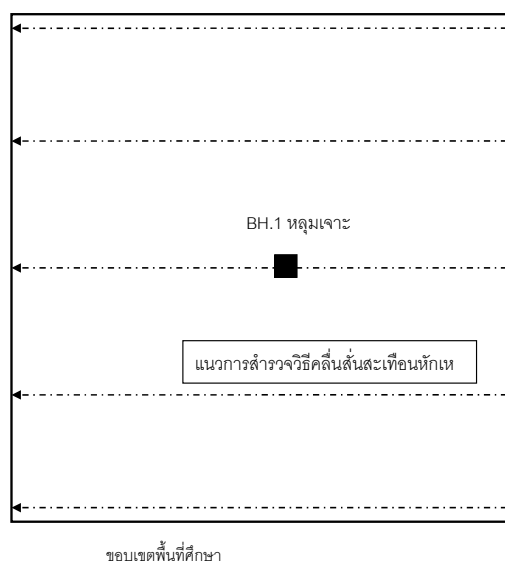
$$q_B = 0.41V_p - 79.80$$

นั่นหมายความว่าถ้ากำหนดความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนหักเหในชั้นดิน สำหรับลักษณะชั้นดินที่เป็น ดินทรายหรือดินทรายปนกรวด และลักษณะชั้นดินเป็นดินเหนียวปนกรวด ก็จะสามารถประเมินค่า standard penetration resistance (N) และหน่วยแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มของแต่ละชั้นได้ ซึ่งค่าทั้งสองเป็นสมบัติที่สำคัญของดินในทางวิศวกรรมสำหรับงานออกแบบทางวิศวกรรมฐานรากต่อไป

โดยปกติงานโครงสร้างทางวิศวกรรมต้องการข้อมูลหลุมเจาะสำรวจ 1 หลุมสำหรับพื้นที่ก่อสร้างขนาดประมาณ 40 x 40 ตารางเมตร หรือ 60 x 60 ตารางเมตร (มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545) แต่สำหรับงานโครงสร้างทางวิศวกรรมขนาดใหญ่และมีมูลค่างานสูงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจจำนวนมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับการเจาะหลุมสำรวจเพิ่มสูงขึ้นมากเช่นกัน ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้วิธีคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเหร่วมกับหลุมเจาะสำรวจในจำนวนที่น้อยกว่าเพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างของชั้นดินและสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งพื้นที่ของโครงการนั้นๆ

4.1 ข้อเสนอแนะ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีวัดคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเหร่วมกับการเจาะหลุมสำรวจในพื้นที่โครงการหนึ่ง คือ (1) เจาะหลุมสำรวจชั้นดิน 1 หลุม ที่ตำแหน่งกึ่งกลางในพื้นที่ของโครงการ (2) วางแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนที่ขนานกันหลายแนวและมีระยะห่างระหว่างแนวเท่ากับ 5 เมตร ให้ครอบคลุมพื้นที่ของโครงการ (3) ทำการวัดคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเหในแต่ละแนววัดโดยจัดวางตัวรับสัญญาณ และจุดกำเนิดคลื่น เช่นเดียวกับหัวข้อ 2.2 (ภาพประกอบ 4.1)



ภาพประกอบ 4.1 การจัดวางแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนหักเหร่วมกับการเจาะหลุมสำรวจ

โดยลักษณะการจัดวางแนววัดคลื่นสั้นสะเทือนแบบหักเหรวมกับการเจาะหลุมสำรวจจะทำให้ทราบลักษณะของโครงสร้างชั้นดินและการแปรผันของค่า standard penetration resistance และค่าแรงแบกทานของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มอย่างต่อเนื่องในพื้นที่โครงการ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีคลื่นสั้นสะเทือนหักเหสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกรณีที่โครงสร้างชั้นดินประกอบด้วยดินชั้นล่างที่มีค่าความเร็วของคลื่นสั้นสะเทือนมากกว่าดินชั้นบนเสมอ ดังนั้นในกรณีที่ดินชั้นล่างมีความเร็วน้อยกว่าดินชั้นบน วิธีคลื่นสั้นสะเทือนหักเหจะมองไม่เห็นดินชั้นล่างจึงทำให้ดินชั้นบนที่ประเมินได้มีความหนาแน่นมากกว่าปกติ เช่นกรณีของพื้นที่ศึกษาที่ 4 ในกรณีเช่นนี้อาจพิจารณานำวิธีคลื่นสั้นสะเทือนสะท้อนมาประยุกต์ใช้ต่อไป

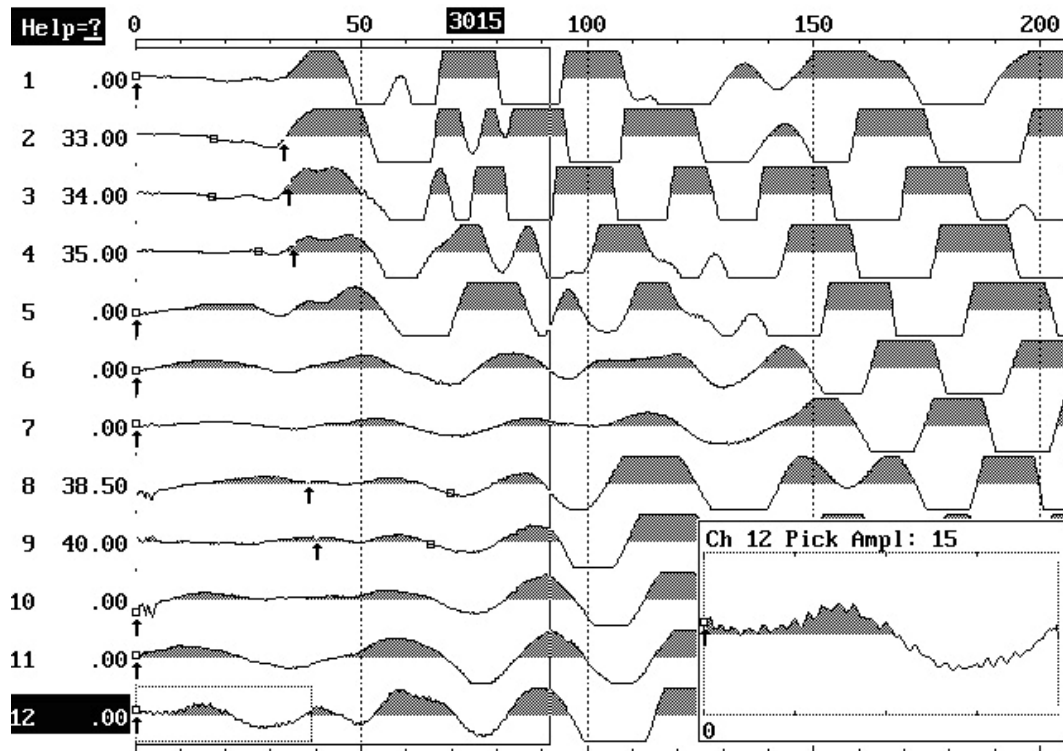
บรรณานุกรม

- ไกรวุฒิ วงศ์วิวัฒน์ , 2516. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ประยุกต์ เล่มที่๑ วิธีสำรวจโดยการวัดคลื่น
ความสั่นสะเทือน. หน้า 1-4 .
- พันธวิศวรรม , 2538. รายงานผลการเจาะสำรวจดินโครงการก่อสร้างอาคารองค์การโทรศัพท์
แห่งประเทศไทย จ.ยะลา , 22 หน้า.
- เพียงตา สาตวรรษ , 2544. การสำรวจใต้ผิวดินด้วยคลื่นสั่นสะเทือน, ขอนแก่น : มหาวิทยาลัย
ขอนแก่น , 316 หน้า.
- มณเฑียร กังศศิเทียม , 2531. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร : สมาคมศิษย์
เก่าวิศวกรรมชลประทาน , หน้า 1 – 34.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , 2545. แนวทางการตรวจสอบชั้นดินเพื่องานฐานราก ,
กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , หน้า 83-85 .
- สถาพร ศิริลิம்பี , 2541. รายงานการสำรวจดิน โครงการก่อสร้างอาคารหอพักนิสิต
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต สงขลา , สงขลา: บริษัท พีริเมียร์ จีโอ เซอร์วิส จำกัด,
25 หน้า.
- สถาพร ศิริลิம்பี , 2543. รายงานการสำรวจดิน โครงการก่อสร้างอาคารวิทยบริการ
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต พัทลุง , สงขลา: บริษัท พีริเมียร์ จีโอ เซอร์วิส จำกัด,
27 หน้า.
- สถาพร ศิริลิம்பี , 2546. รายงานการสำรวจดิน โครงการก่อสร้างอาคารที่พักบุคลากร
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต พัทลุง , สงขลา: บริษัท พีริเมียร์ จีโอ เซอร์วิส จำกัด,
27 หน้า.

- สถาพร ศิริลิம்பี , 2546. รายงานการสำรวจดิน โครงการก่อสร้างอาคารโรงแรมศิริกนิษฐ์
จ.สงขลา , สงขลา: บริษัท พรีเมียร์ จีโอ เซอร์วิส จำกัด, 24 หน้า.
- สถาพร ศิริลิம்பี , 2548. รายงานการสำรวจดิน โครงการก่อสร้างอาคารชุดที่พักอาศัยข้าราชการ
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต พัทลุง , สงขลา: บริษัท พรีเมียร์ จีโอ เซอร์วิส จำกัด,
27 หน้า.
- สวัสน์ ช่างหล่อ , 2545 . การศึกษาสนามโน้มถ่วงของแหล่งแร่ดีบุก บริเวณทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น
อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , หน้า 83-85 .
- อภิชัย จุฑาศิริวงศ์ , 2538. รายงานผลทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณที่ ก่อสร้างอาคารคลัง
พัสดุเขต องค์การโทรศัพท์ หาดใหญ่ สงขลา , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ม.สงขลานครินทร์ ,
8 หน้า .
- Azizi, F., 1999. Applied Analysis in geotechnics , London : E&FW spon . pp 426-511.
- Bowles, J.E., 1988 . Foundation Analysis and Design , Singapore : McGRAW-HILL
international edition . pp 714-782.
- Cernica, J.N., 1995 . Geotechnical Engineering Foundation Design, New York:
John Willy & Sons. pp 396-401.
- Das, B.M., 1999. Fundamentals of Geotechnical Engineering, Brooks/Cole.
pp 511-520.
- Ezersky, M., 2006. The seismic velocities of Dead Sea salt applied to the sinkhole
problem. Journal of Applied Geophysics , 58 , 45-58.

- Griffiths, D.H. and King, R.F., 1981. Applied geophysics for geologists and engineers the elements of geophysical prospecting, Oxford Pergamon Press. pp 32-64.
- Karastathis, V.K. and Papamarinopoulos, St.P., 1997. The detection of King Xerxes' Canal by the use of shallow reflection and refraction seismics-Preliminary results, Geophysical Prospecting, vol. 45, issue 3, p. 389-401.
- Lambe, T. W. and Whitman, R. V., 1979. Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons. pp. 97-240.
- Miller, J. C. and Miller, J. N., 1993. Statistic for Analytical Chemistry. Singapore: Ellis Hoowood PTR Prentice Hall. pp. 105-128.
- Naik, S., Kumar, G. and Raghava, M.S., 1980. The correlation refraction method as applied to weathered zone studies in a granite terrain, Geophysical Prospecting, Vol. 28, issue 1, p. 18-29.
- Parasnis, D.S., 1997. Principles of Applied Geophysics. London: Chapman & Hall. pp 273-344.
- Sain, K.C., Reddy, P.R., Behera, L., 2002. Imaging of low-velocity Gondwana Sediment in the Mahanadi delta of India using travelttime inversion of first arrival seismic data. Journal of Applied Geophysics, 49, 163-171.

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลสัญญาณคินที่บันทึก



ภาพประกอบ 1 ข้อมูล 3015.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2546 เวลา 11:23:02 น. สถานที่ อาคารหอพักนิสิต ม.ทักษิณ จ.สงขลา

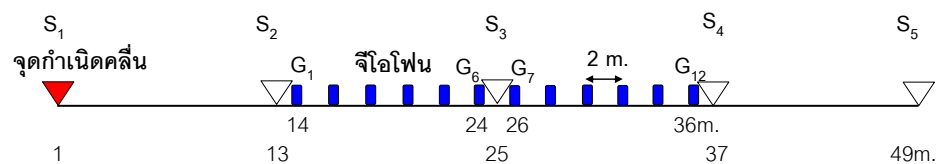
File 3015.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

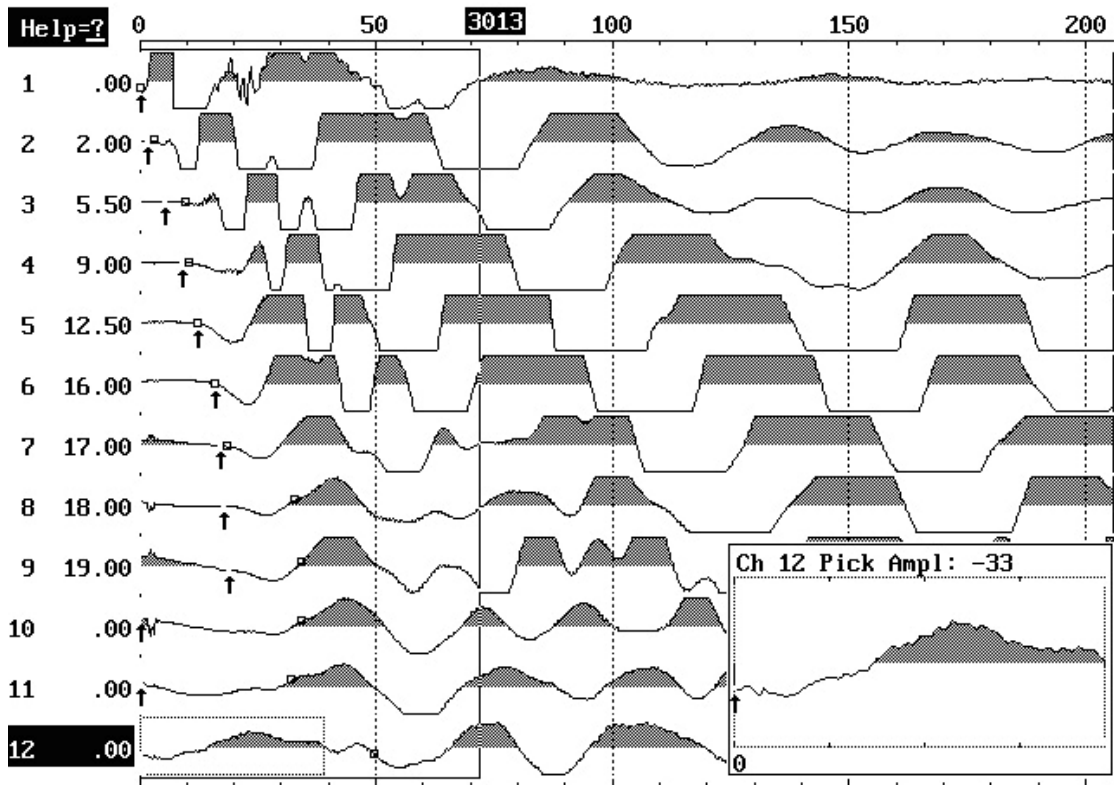
Sample Rate 0.25 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₁ = 1 m.





ภาพประกอบ 2 ข้อมูล 3013.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2546 เวลา 10:46:52 น. สถานที่ อาคารหอพักนิสิต ม.ทักษิณ จ.สงขลา

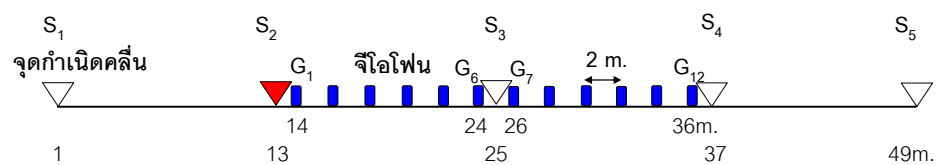
File 3013.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

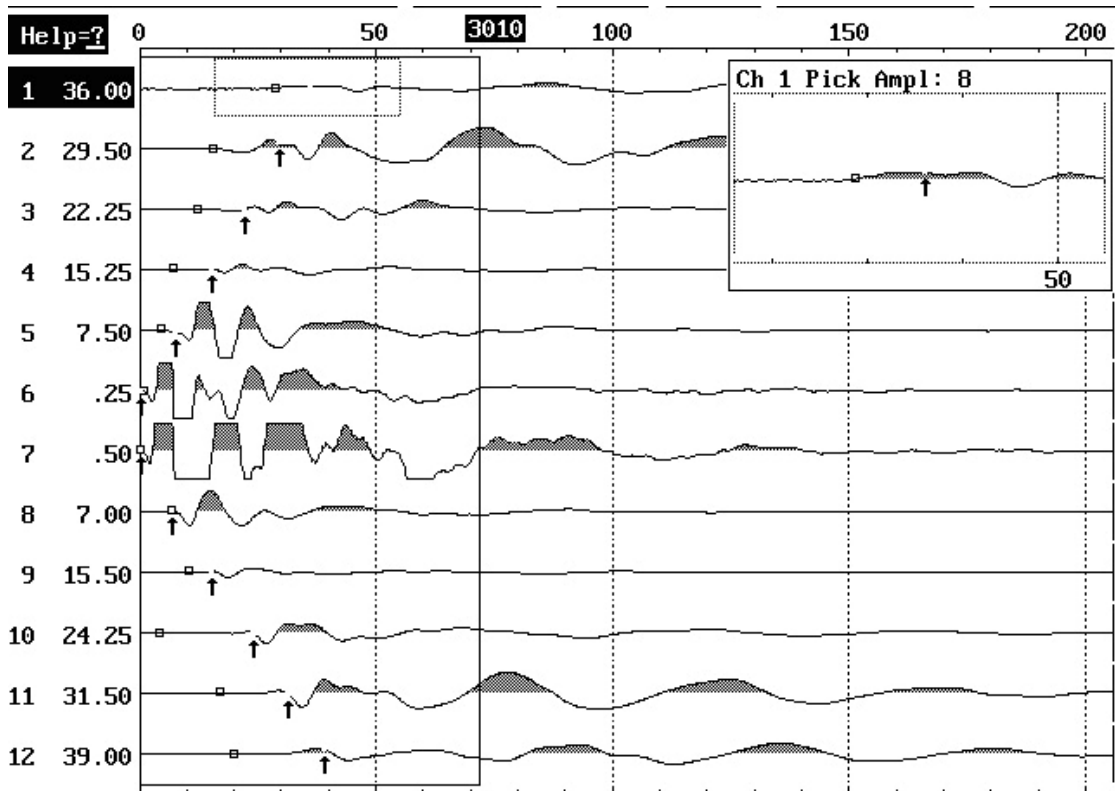
Sample Rate 0.25 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₂ = 13 m.





ภาพประกอบ 3 ข้อมูล 3010.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2546 เวลา 10:39:58 น. สถานที่ อาคารหอพักนิสิต ม.ทักษิณ จ.สงขลา

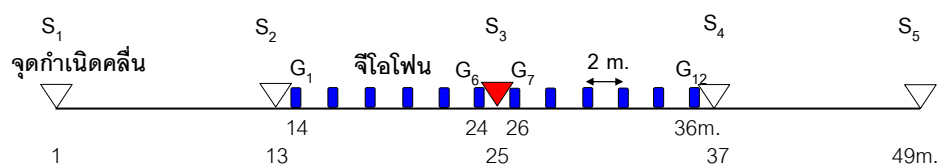
File 3010.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

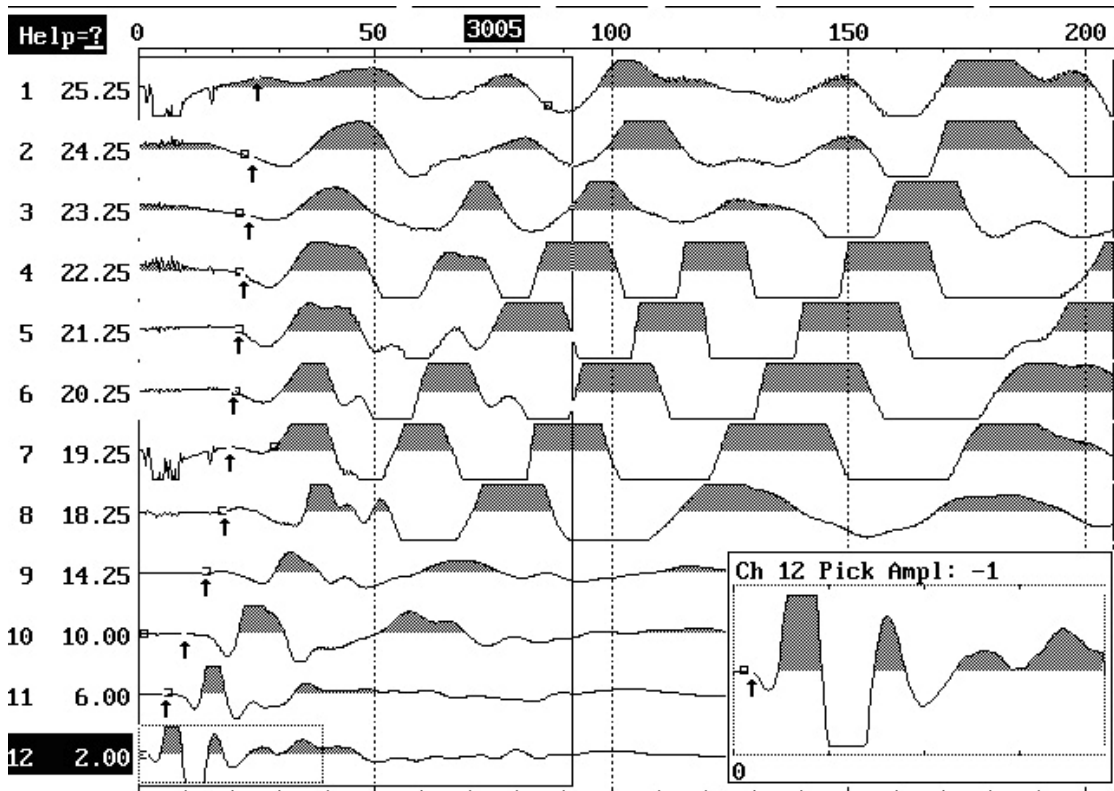
Sample Rate 0.25 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₃ = 25 m.





ภาพประกอบ 4 ข้อมูล 3005.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2546 เวลา 10:22:56 น. สถานที่ อาคารหอพักนิสิต ม.ทักษิณ จ.สงขลา

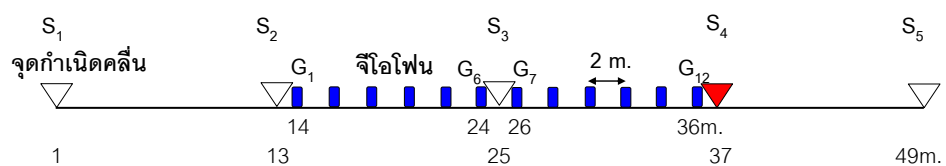
File 3005.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

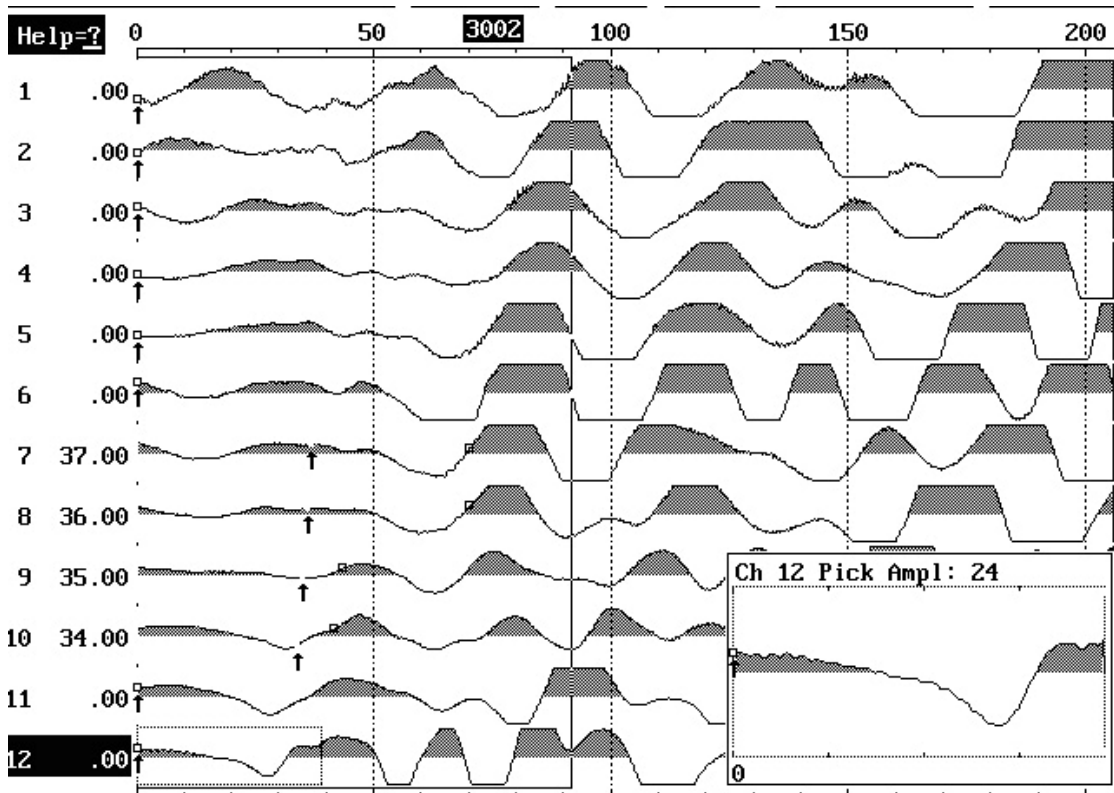
Sample Rate 0.25 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₄ = 37 m.





ภาพประกอบ 5 ข้อมูล 3002.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2546 เวลา 09:50:57 น. สถานที่ อาคารหอพักนิสิต ม.ทักษิณ จ.สงขลา

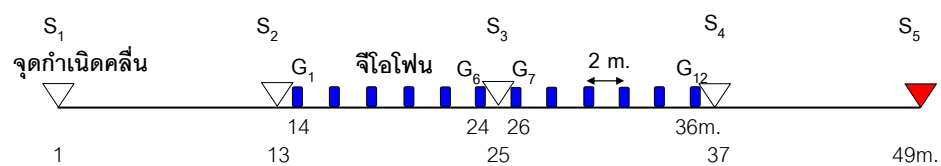
File 3002.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

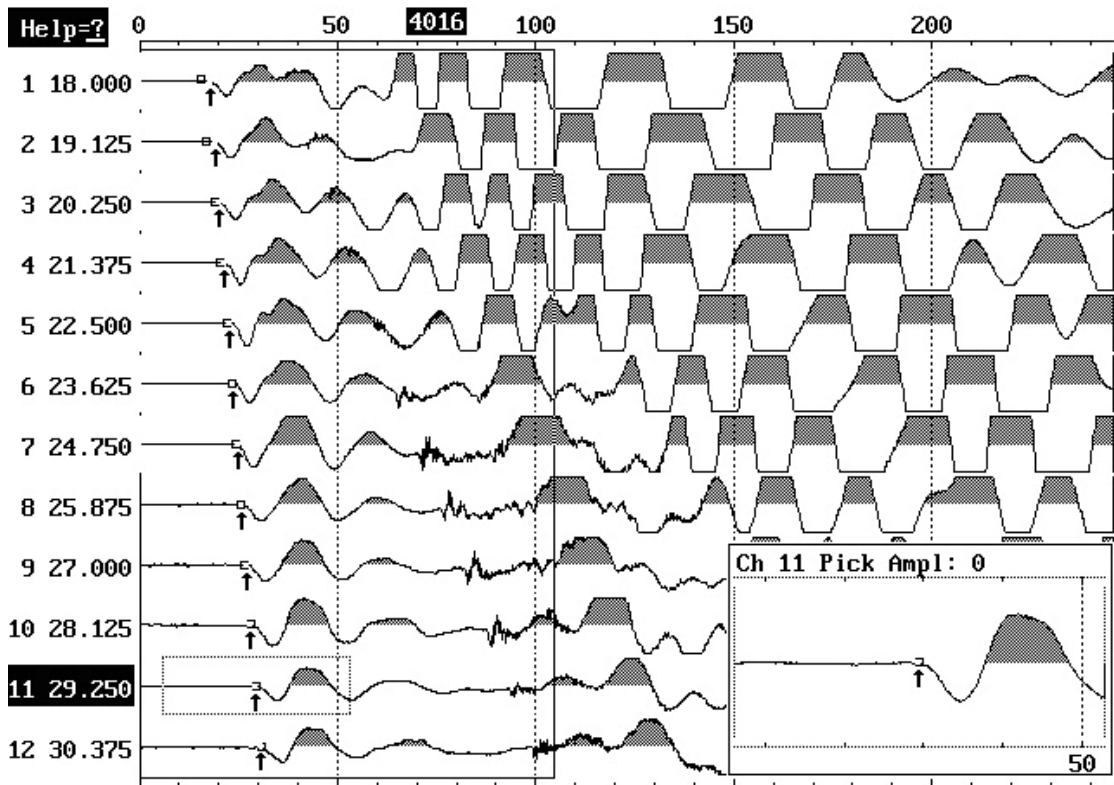
Sample Rate 0.25 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₅ = 49 m.





ภาพประกอบ 6 ข้อมูล 4016.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 มีนาคม 2546 เวลา 10:39:07 น. สถานที่ อาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

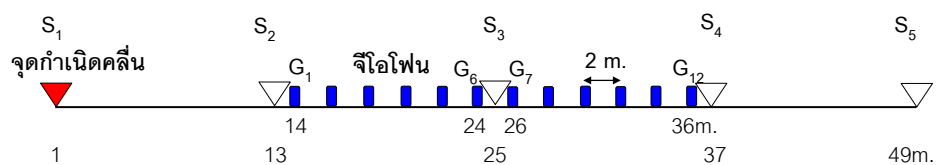
File 4016.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

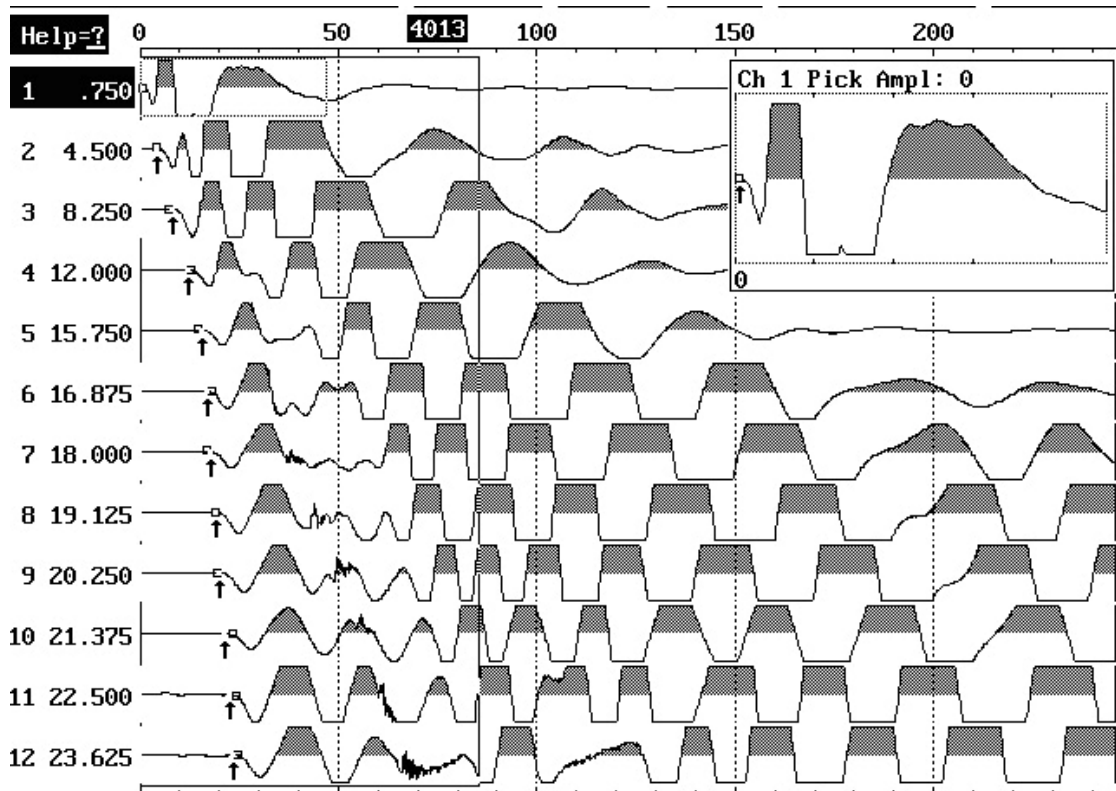
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₁ = 1 m.





ภาพประกอบ 7 ข้อมูล 4013.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 มีนาคม 2546 เวลา 10:36:30 น. สถานที่ อาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

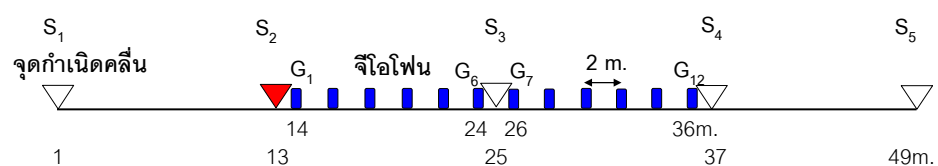
File 4013.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

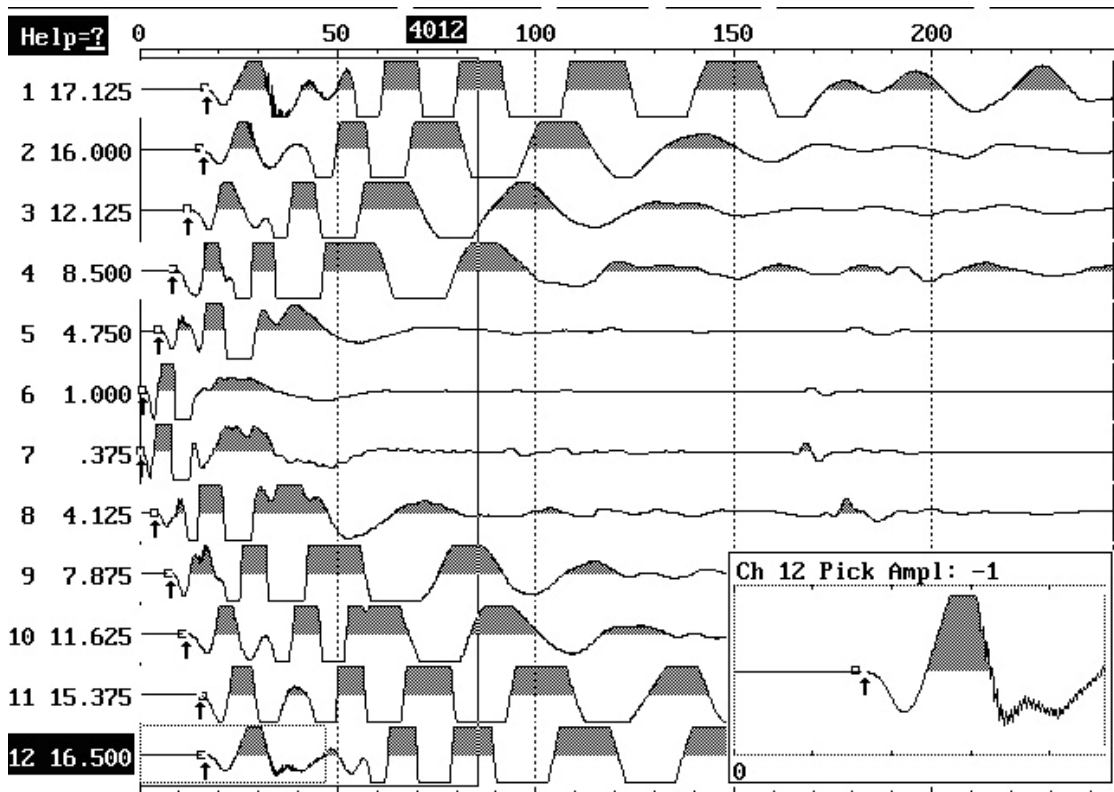
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 Geophones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₂ = 13 m.





ภาพประกอบ 8 ข้อมูล 4012.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 มีนาคม 2546 เวลา 10:34:15 น. สถานที่ อาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

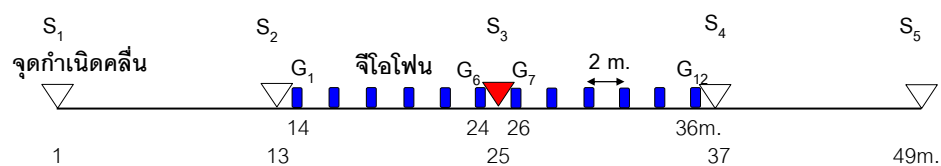
File 4012.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

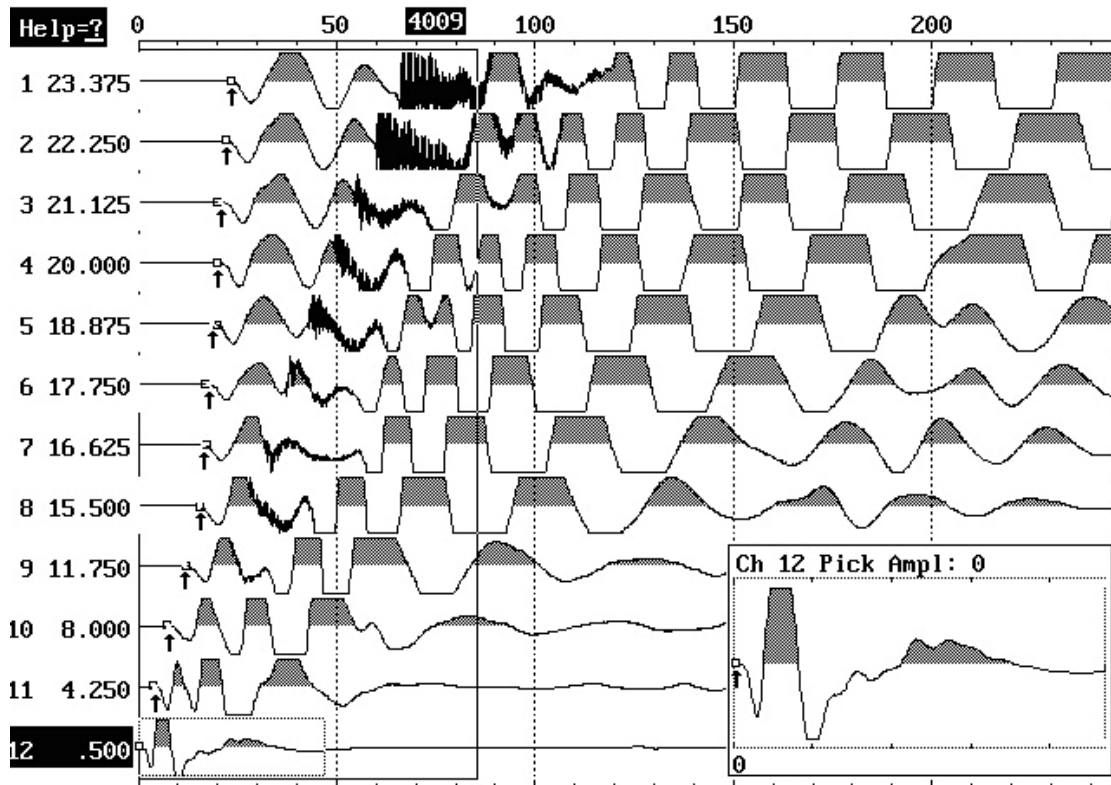
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₃ = 25 m.





ภาพประกอบ 9 ข้อมูล 4009.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 มีนาคม 2546 เวลา 10:30:33 น. สถานที่ อาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

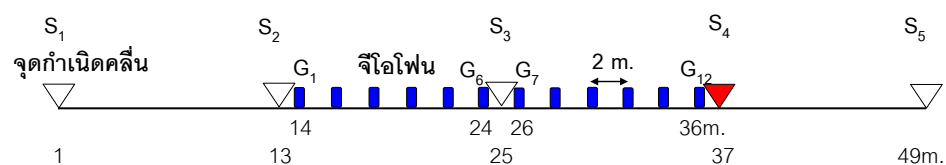
File 4009.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

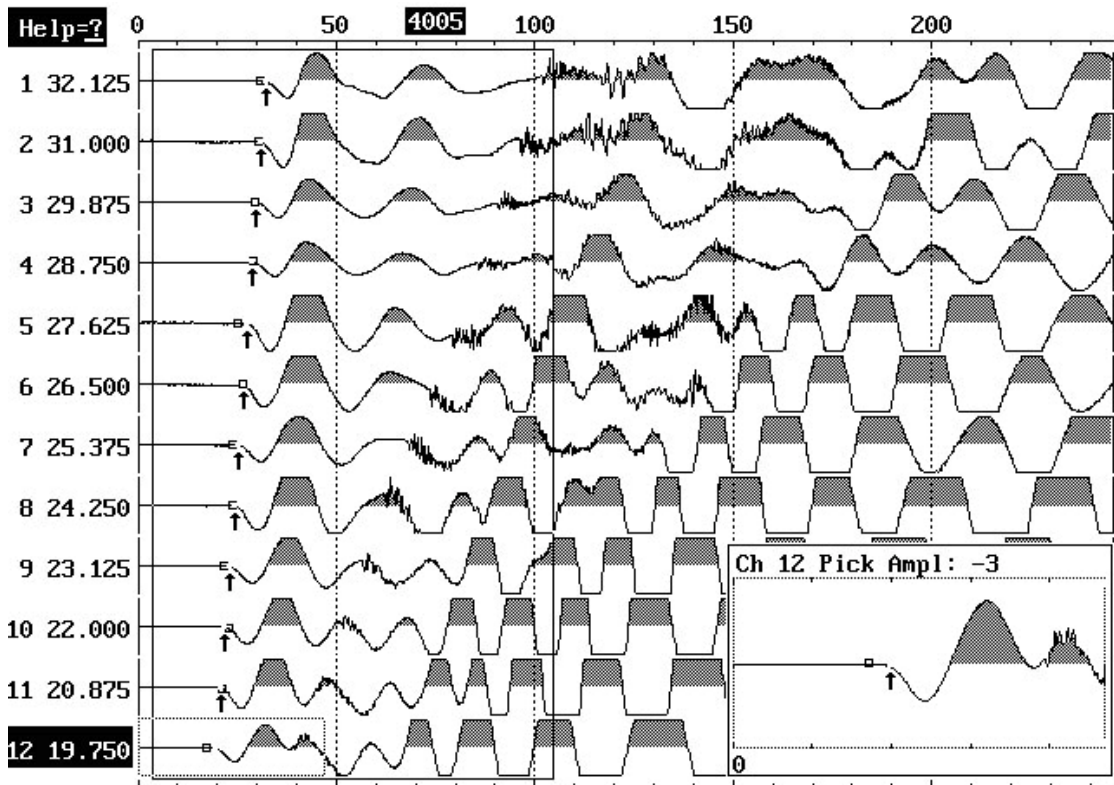
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₄ = 37 m.





ภาพประกอบ 10 ข้อมูล 4005.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 มีนาคม 2546 เวลา 10:26:01 น. สถานที่ อาคารวิทยบริการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

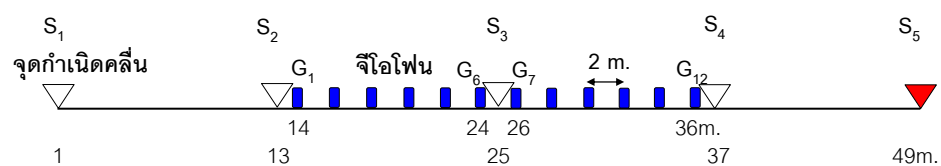
File 4005.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

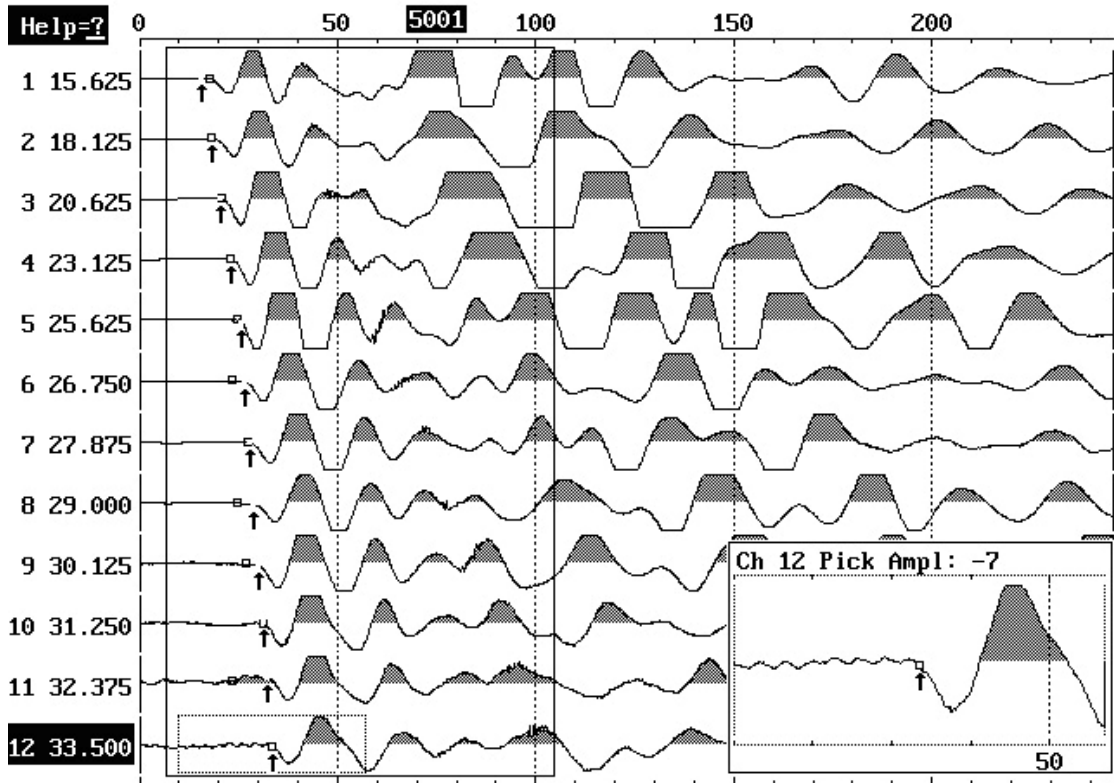
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₅ = 49 m.





ภาพประกอบ 11 ข้อมูล 5001.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 พฤษภาคม 2546 เวลา 10:16:32 น. สถานที่ อาคารที่ฟักบุคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

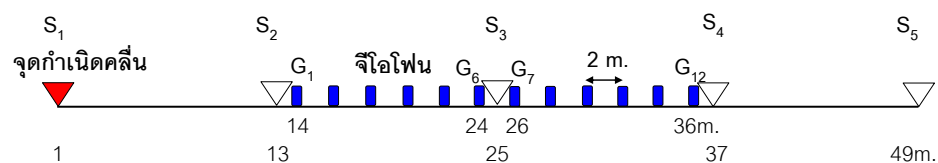
File 5001.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

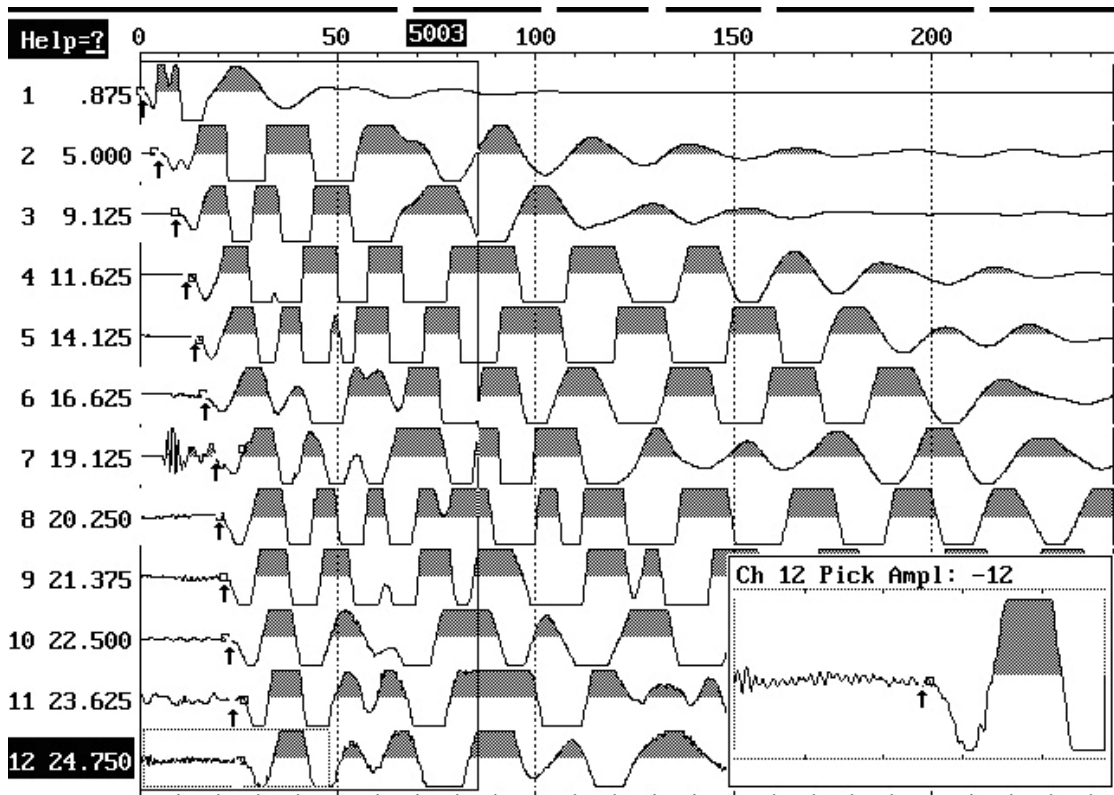
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₁ = 1 m.





ภาพประกอบ 12 ข้อมูล 5003.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 พฤษภาคม 2546 เวลา 10:21:03 น. สถานที่ อาคารที่פקบุคคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

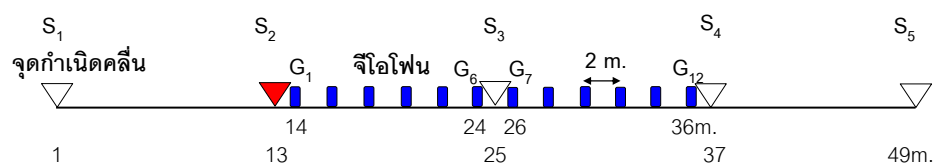
File 5003.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

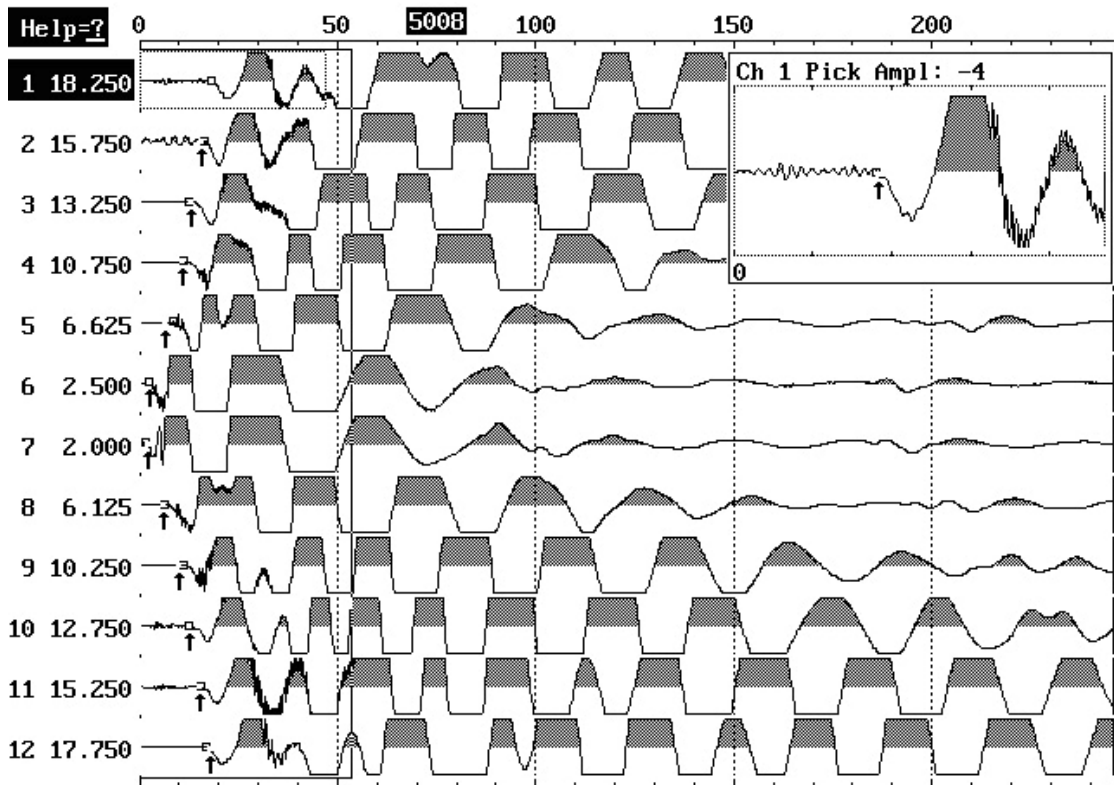
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₂ = 13 m.





ภาพประกอบ 13 ข้อมูล 5008.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 พฤษภาคม 2546 เวลา 10:31:17 น. สถานที่ อาคารที่פקบุคคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

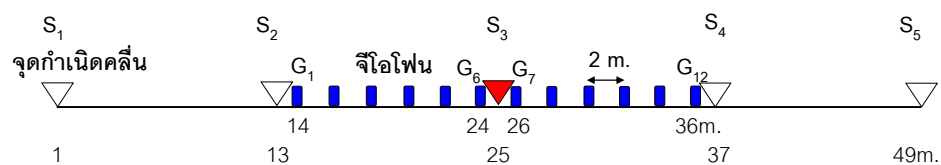
File 5008.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

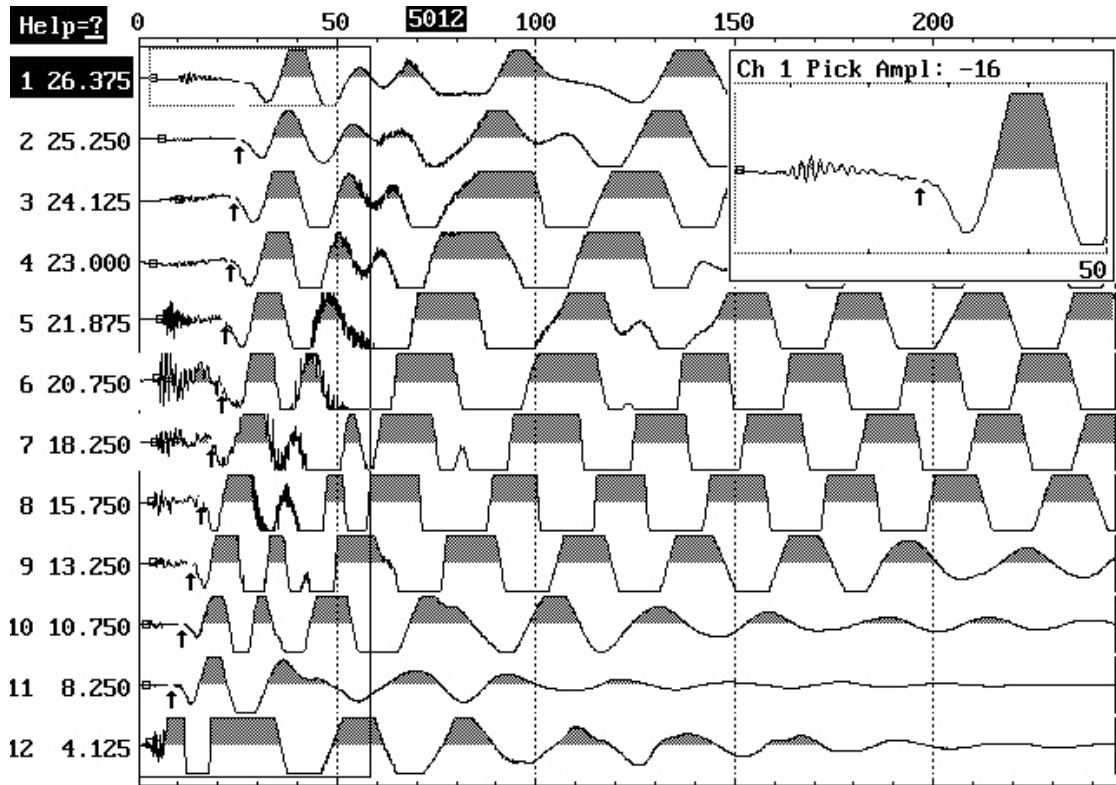
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₃ = 25 m.





ภาพประกอบ 14 ข้อมูล 5012.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 พฤษภาคม 2546 เวลา 10:36:14 น. สถานที่ อาคารที่פקบุคคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

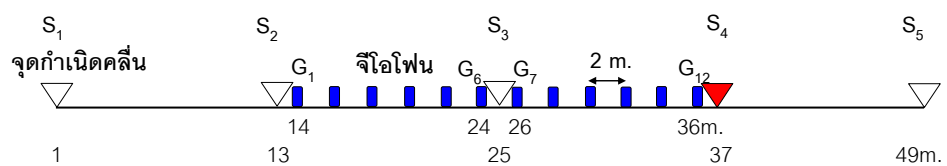
File 5012.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

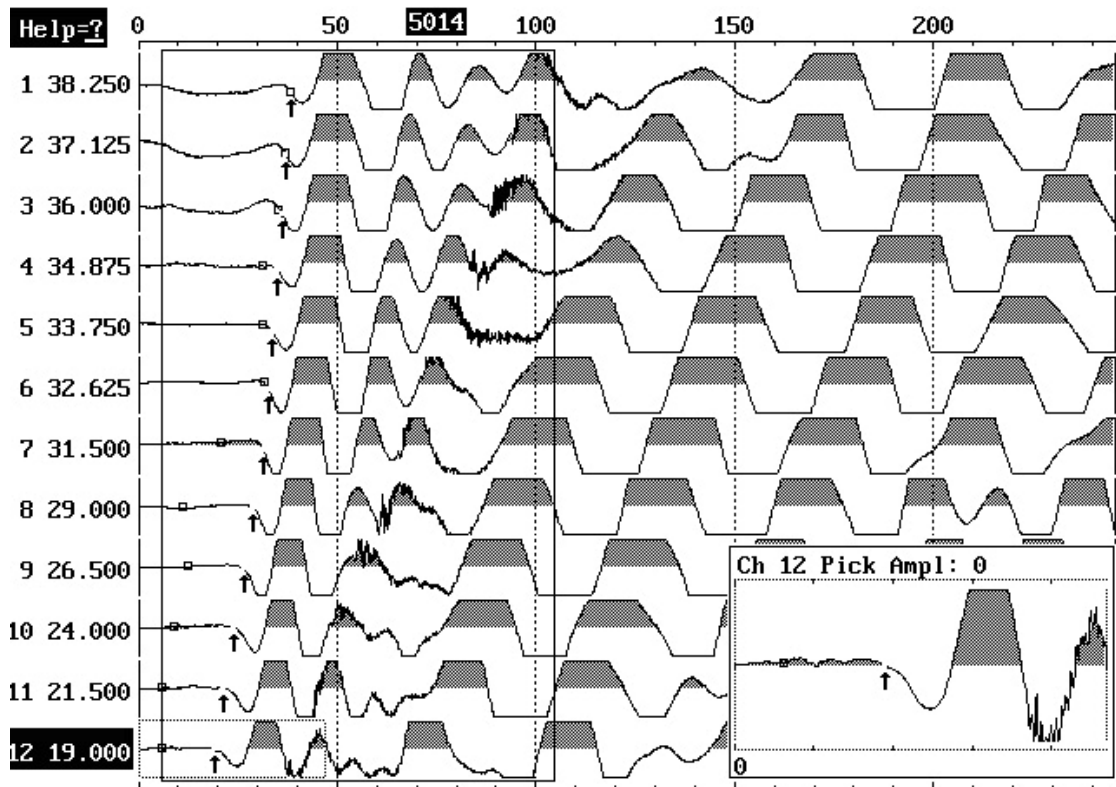
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₄ = 37 m.





ภาพประกอบ 15 ข้อมูล 5014.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 28 พฤษภาคม 2546 เวลา 10:39:19 น. สถานที่ อาคารที่פקบุคคลากร ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

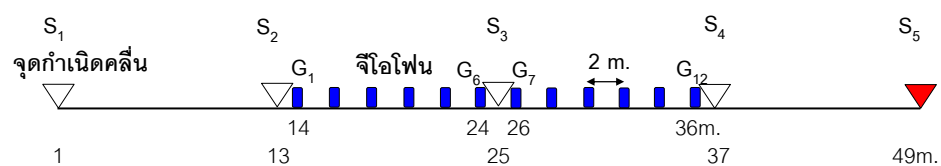
File 5014.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

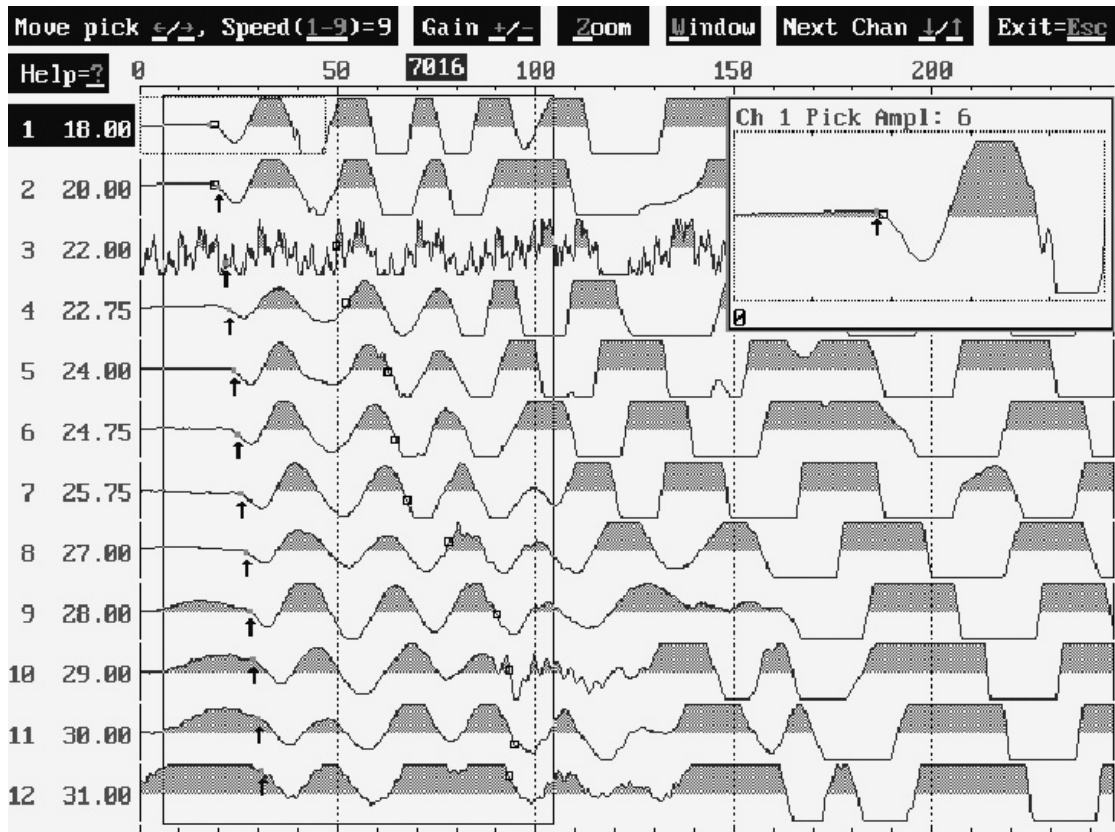
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₅ = 49 m.





ภาพประกอบ 16 ข้อมูล 7016.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 6 มกราคม 2547 เวลา 10:18:13 น. สถานที่ โรงแรมศิริวิรินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

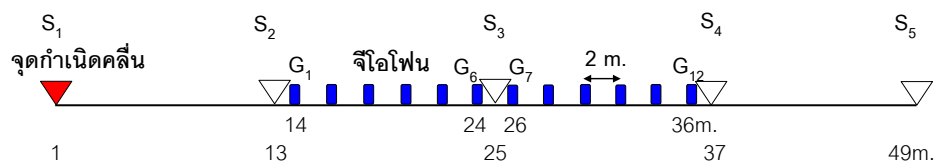
File 7016.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

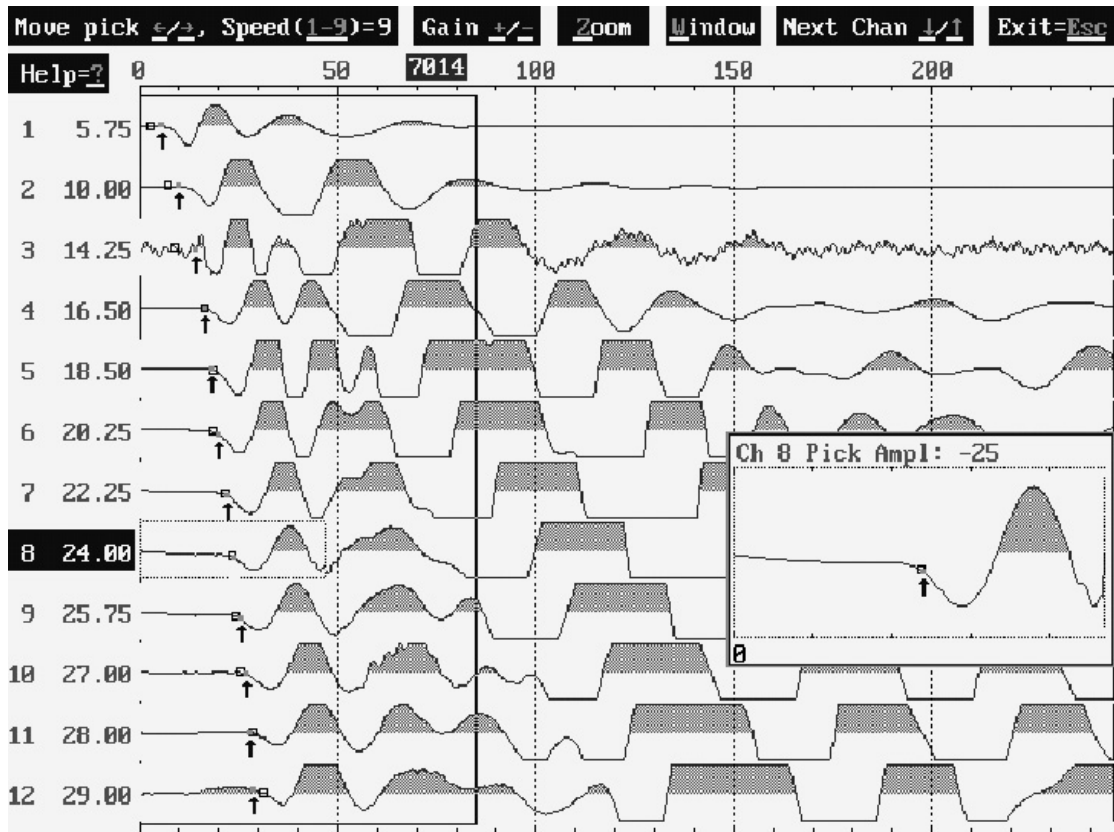
Sample Rate 0.25 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₁ = 1 m.





ภาพประกอบ 17 ข้อมูล 7014.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 6 มกราคม 2547 เวลา 10:14:01 น. สถานที่ โรงแรมศิริวิรินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

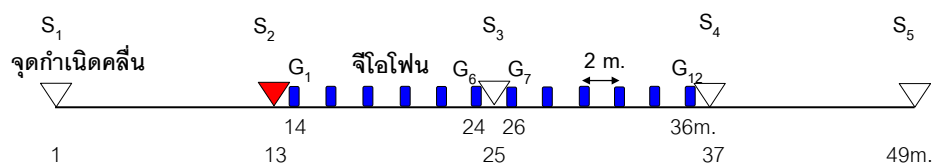
File 7014.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

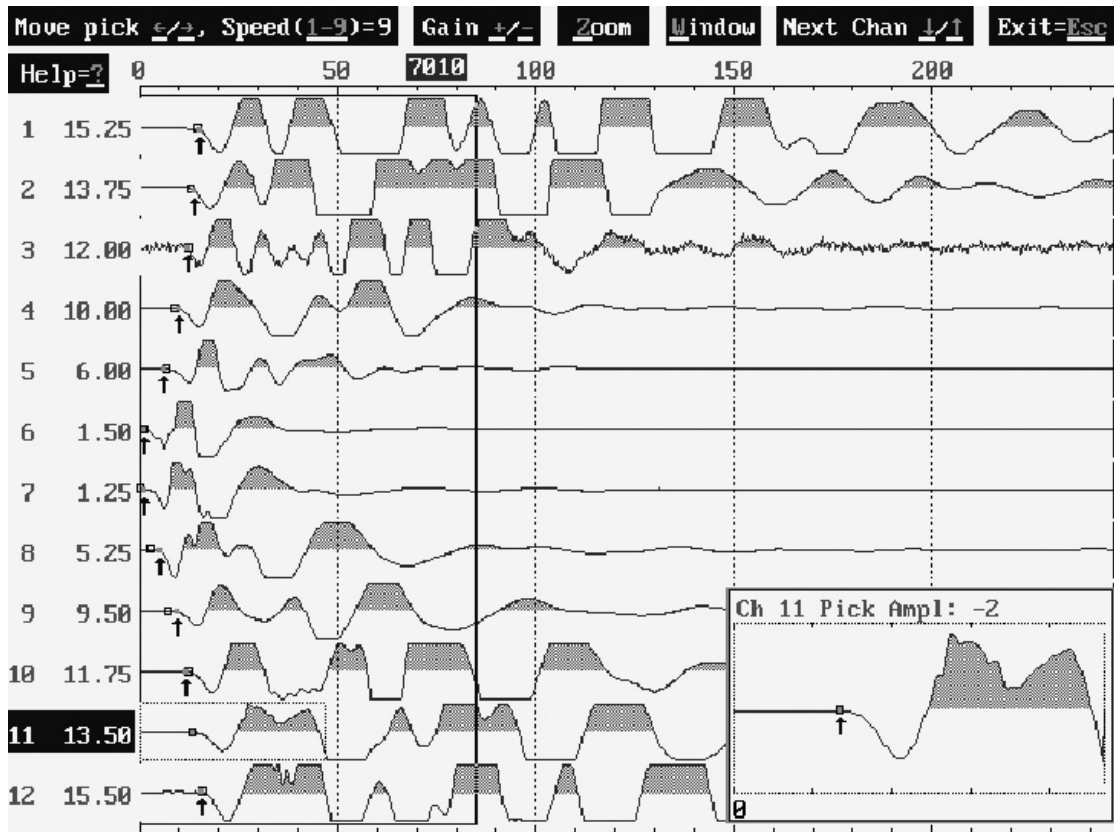
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₂ = 13 m.





ภาพประกอบ 18 ข้อมูล 7010.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 6 มกราคม 2547 เวลา 09:59:02 น. สถานที่ โรงแรมศิริวิรินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

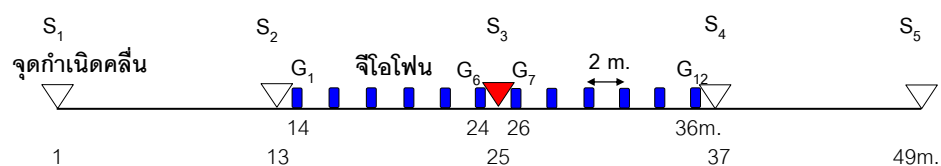
File 7010.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

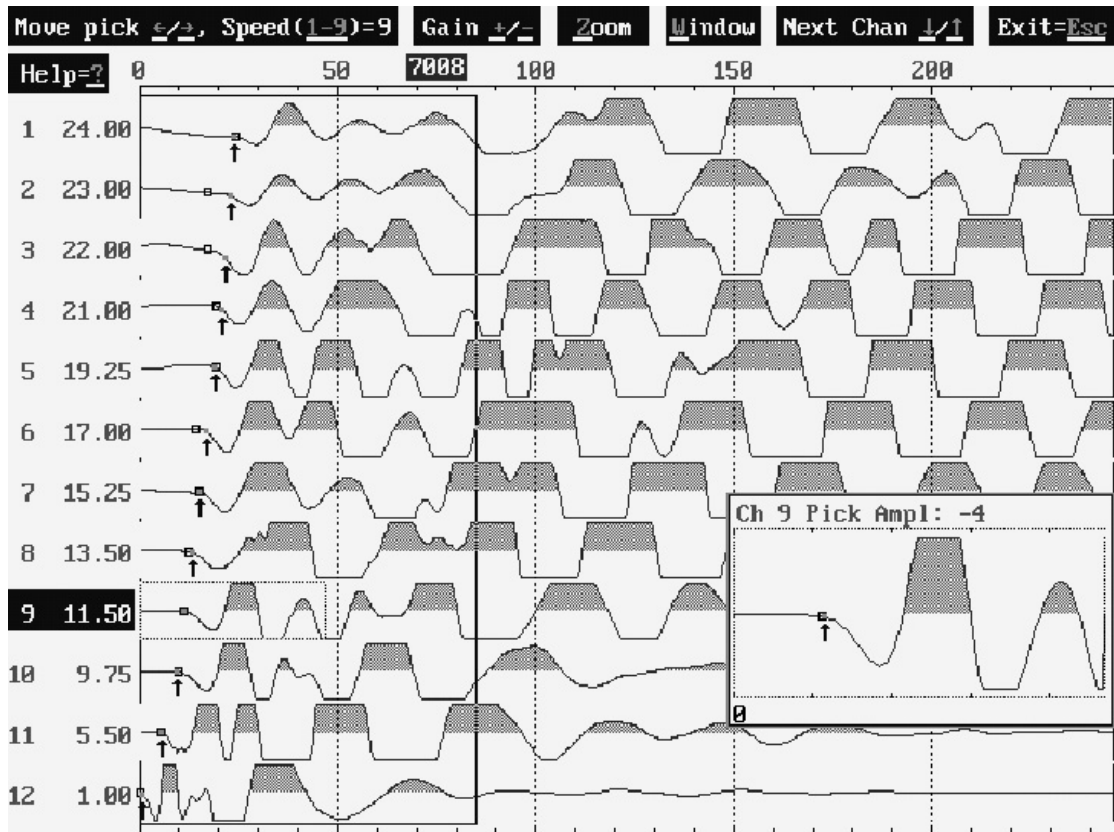
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₃ = 25 m.





ภาพประกอบ 19 ข้อมูล 7008.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 6 มกราคม 2547 เวลา 09:52:46 น. สถานที่ โรงแรมศิริวิรินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

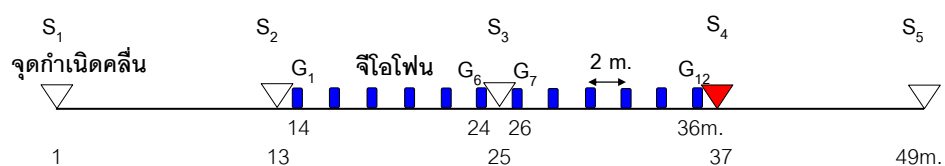
File 7008.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

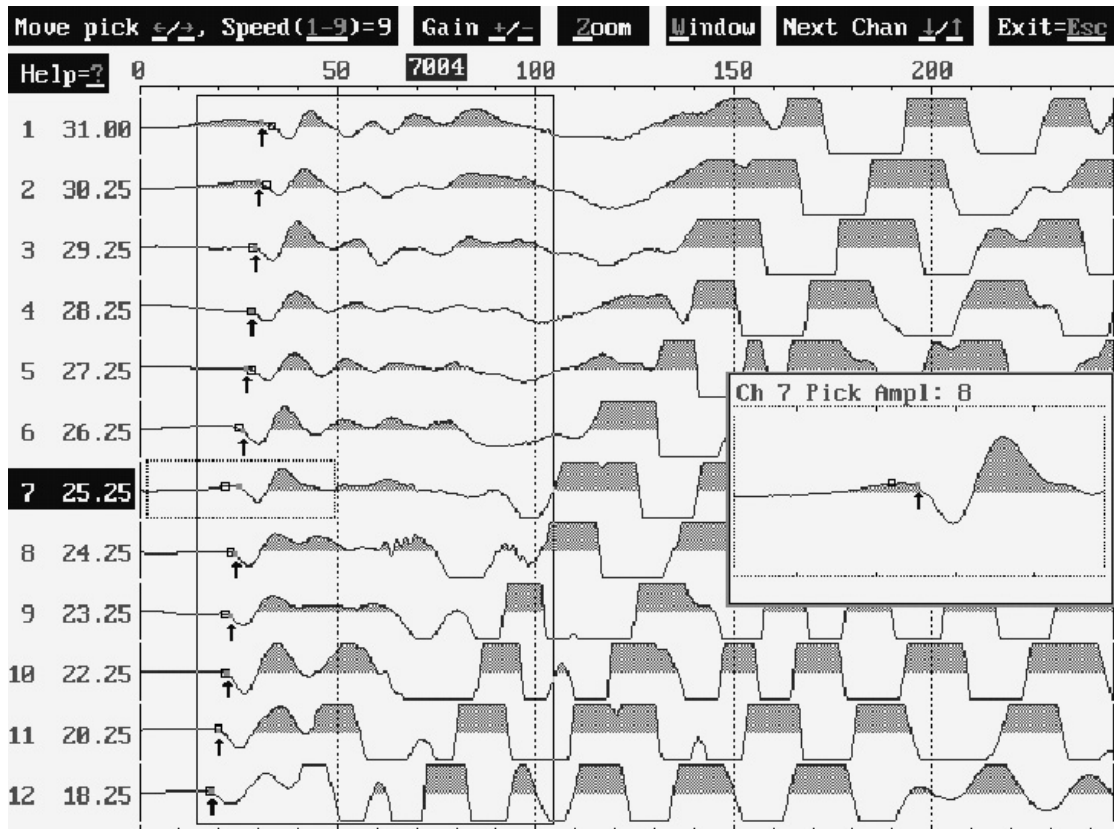
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₄ = 37 m.





ภาพประกอบ 20 ข้อมูล 7004.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 6 มกราคม 2547 เวลา 09:32:32 น. สถานที่ โรงแรมศิริวิรินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

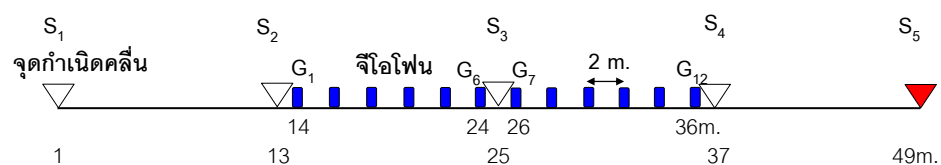
File 7004.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

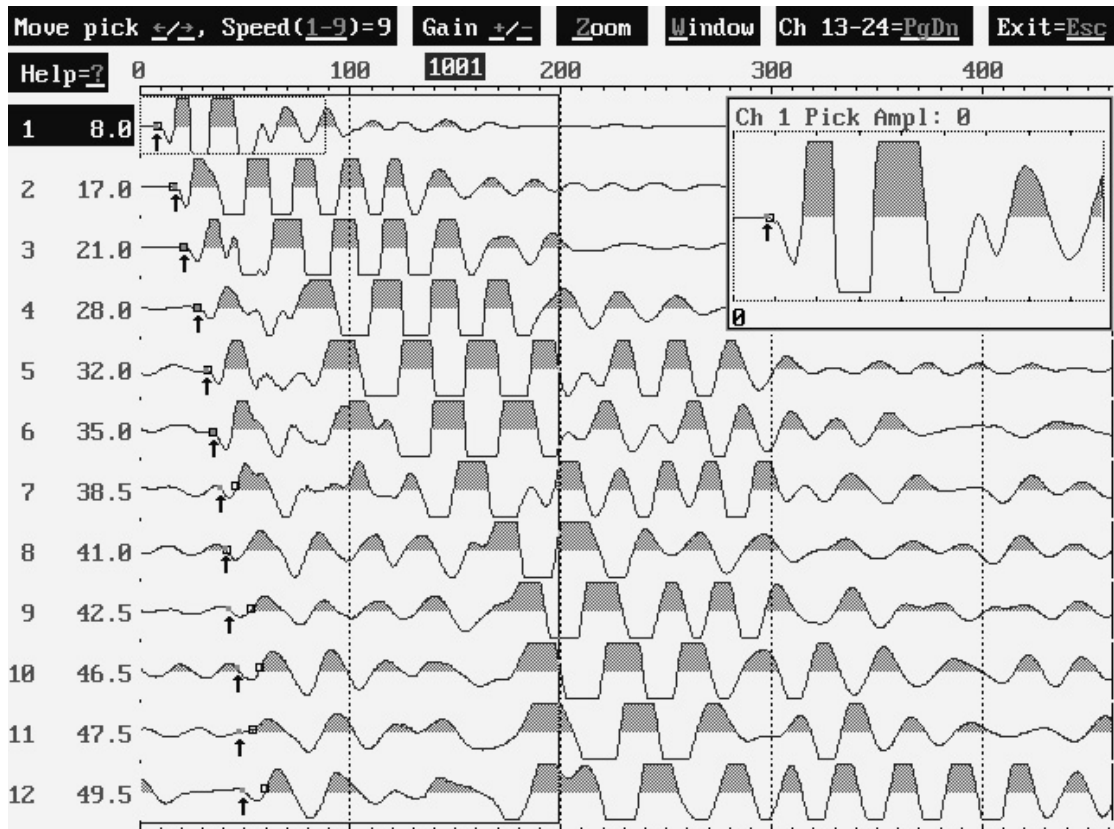
Sample Rate 0.125 ms Delay Time -10 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 2 m.

Geophone₁ G₁ = 14 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 36 m.

Shotpoint S₅ = 49 m.





ภาพประกอบ 21 ข้อมูล 1001.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 14 สิงหาคม 2548 เวลา 9:18:05 น. สถานที่ อาคารที่พักข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

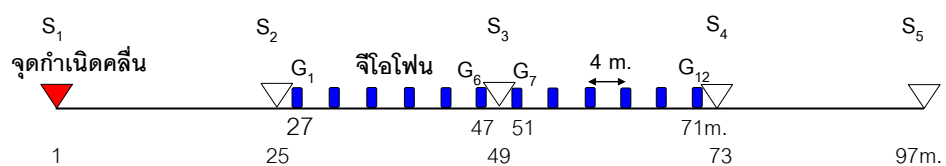
File 1001.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

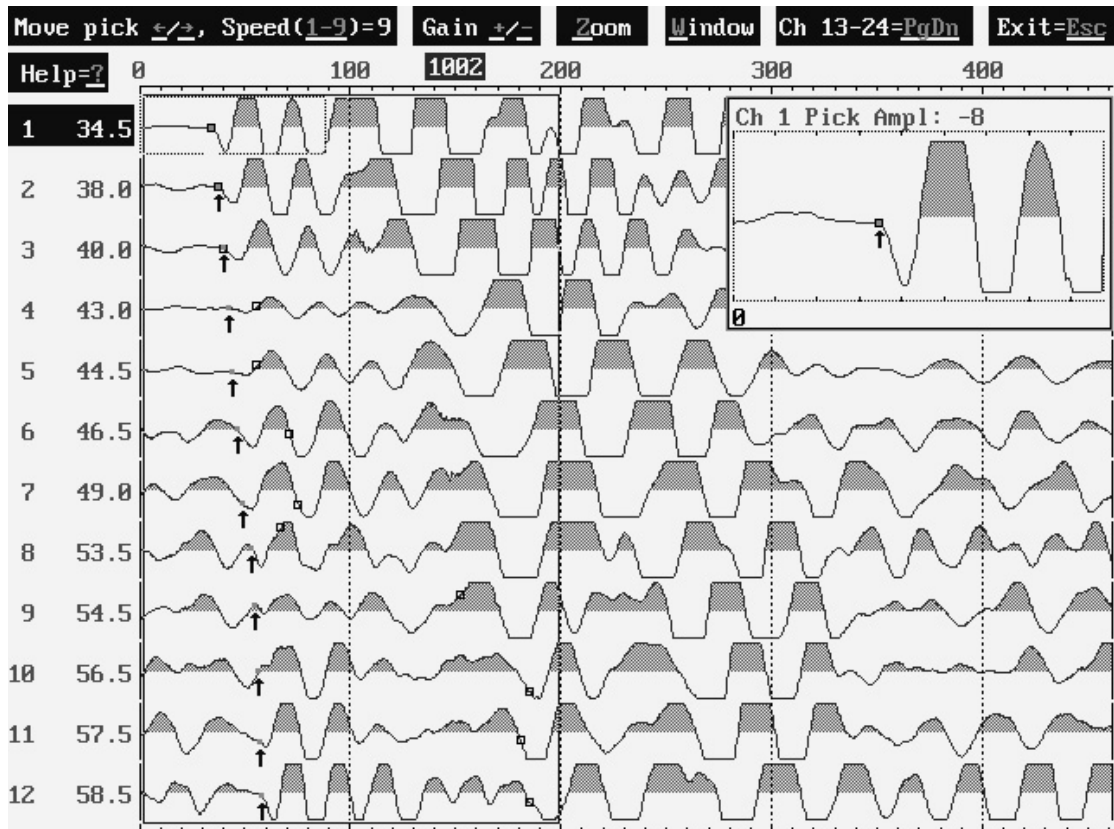
Sample Rate 0.5 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 4 m.

Geophone₁ G₁ = 27 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 71 m.

Shotpoint S₁ = 1 m.





ภาพประกอบ 22 ข้อมูล 1002.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 14 สิงหาคม 2548 เวลา 9:20:38 น. สถานที่ อาคารที่พักข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

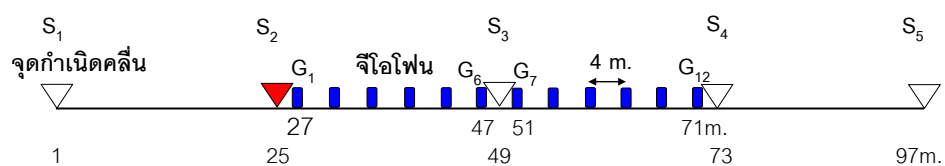
File 1002.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

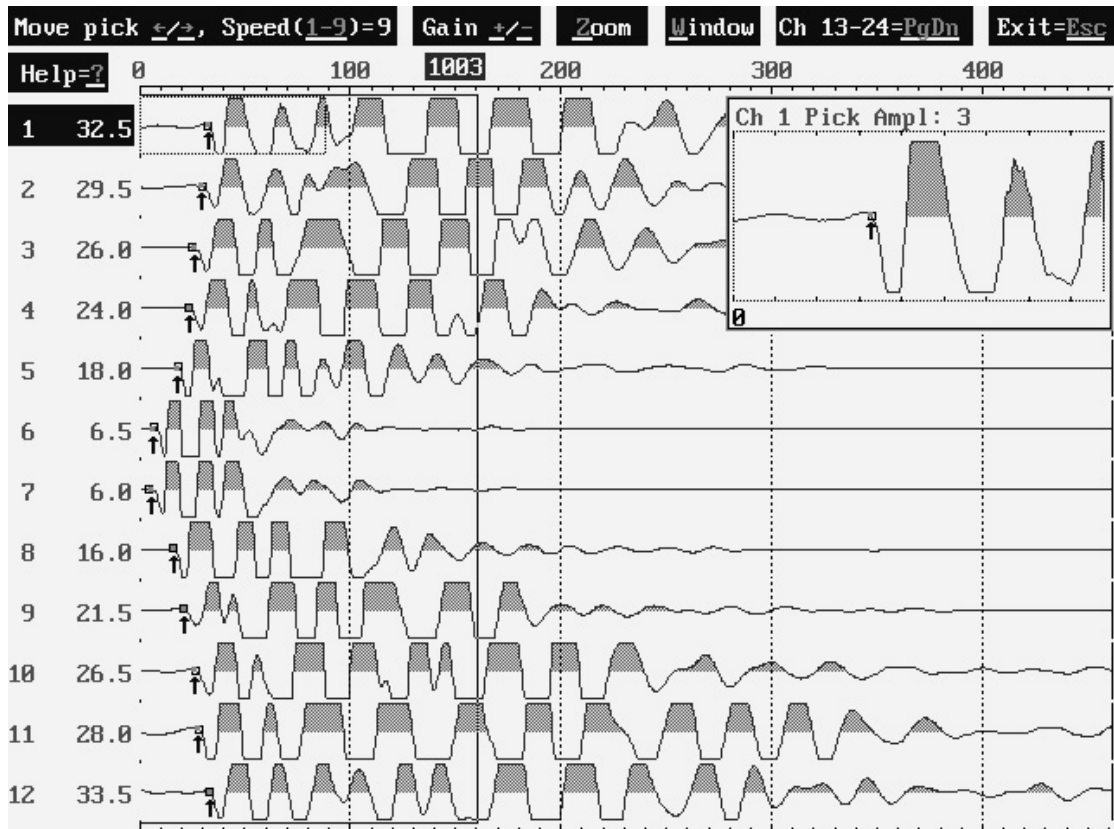
Sample Rate 0.5 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 4 m.

Geophone₁ G₁ = 27 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 71 m.

Shotpoint S₂ = 25 m.





ภาพประกอบ 23 ข้อมูล 1003.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 14 สิงหาคม 2548 เวลา 9:23:09 น. สถานที่ อาคารที่พักข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

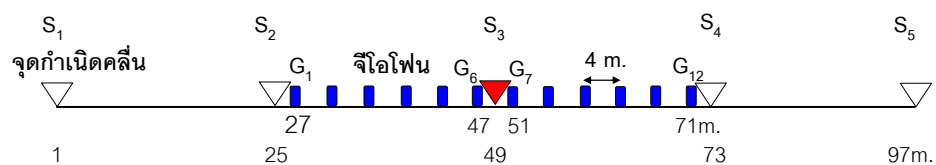
File 1003.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

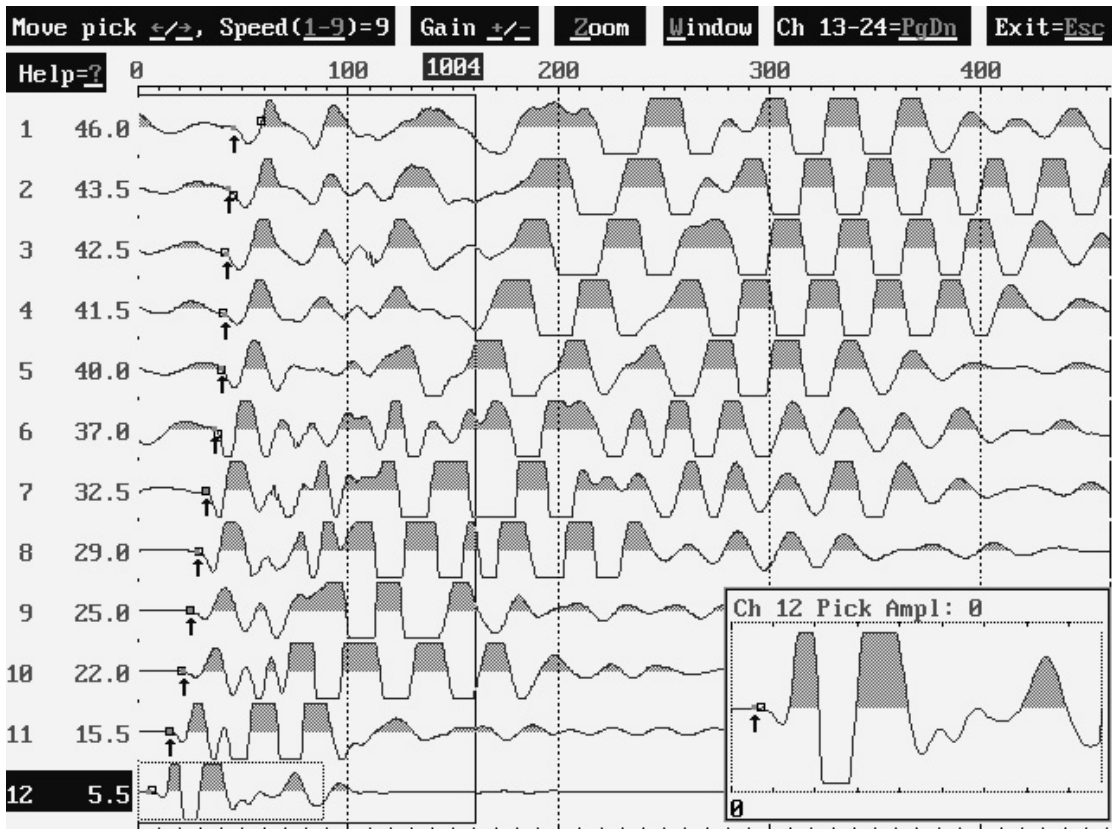
Sample Rate 0.5 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 4 m.

Geophone₁ G₁ = 27 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 71 m.

Shotpoint S₃ = 49 m.





ภาพประกอบ 24 ข้อมูล 1004.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 14 สิงหาคม 2548 เวลา 9:41:45 น. สถานที่ อาคารที่พักข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

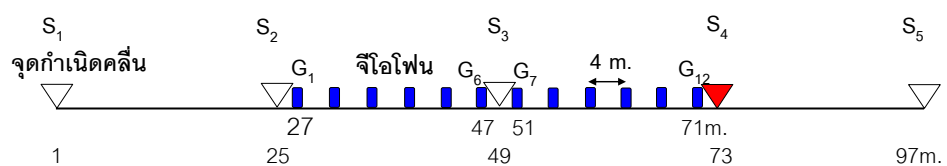
File 1004.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

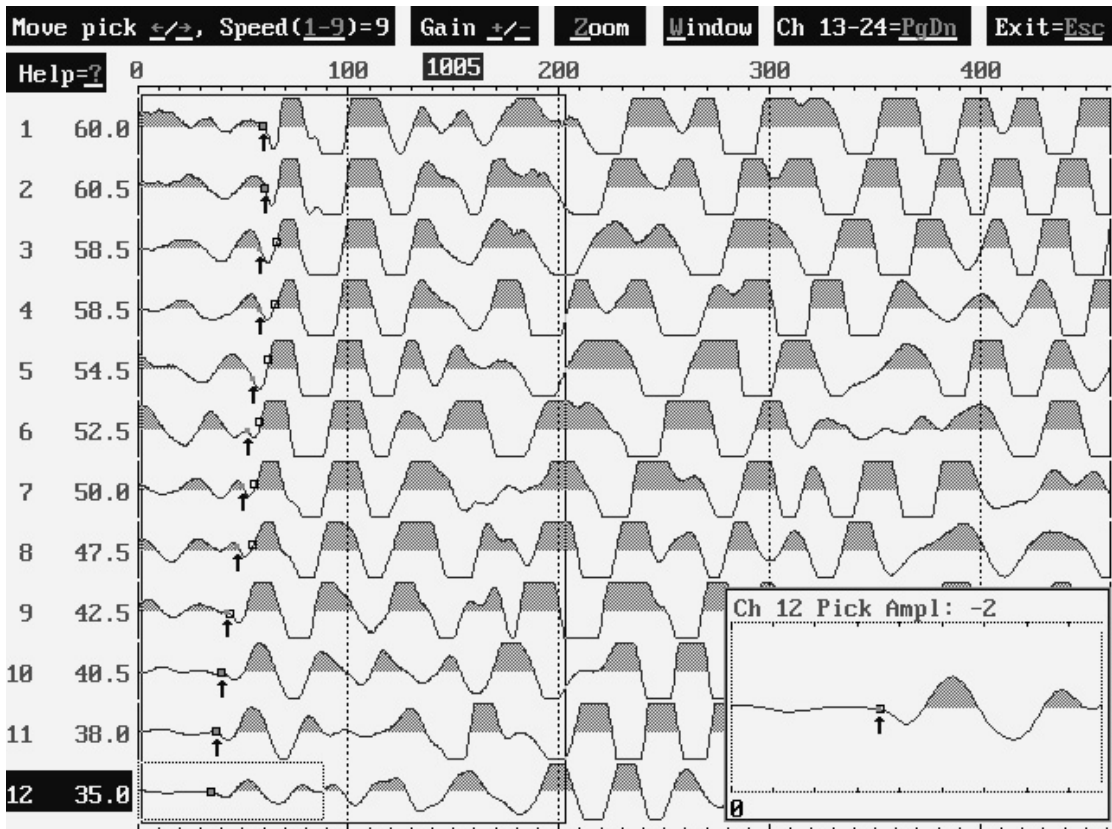
Sample Rate 0.5 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 4 m.

Geophone₁ G₁ = 27 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 71 m.

Shotpoint S₄ = 73 m.





ภาพประกอบ 25 ข้อมูล 1005.dat แสดงการบันทึกการเดินทางของคลื่น P ที่เดินทางมาถึง Geophone ทั้ง 12 ตัว โดยหาเวลาของคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง Geophone ต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วคลื่นในชั้นดิน

รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึก

วันที่ 14 สิงหาคม 2548 เวลา 9:48:45 น. สถานที่ อาคารที่พักข้าราชการ ม.ทักษิณ จ.พัทลุง

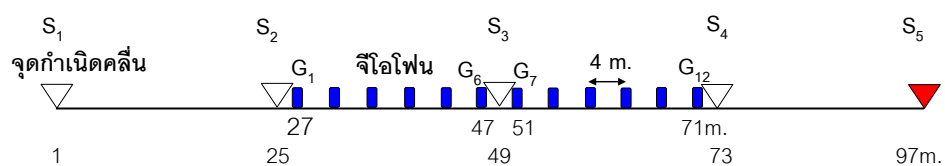
File 1005.DAT เครื่องมือวัด SmartSeis วิธี คลื่นหักเห P wave

Sample Rate 0.5 ms Delay Time -50 ms

Channels : 12 GeoPhones ระยะห่าง Geophone : 4 m.

Geophone₁ G₁ = 27 m. Geophone₁₂ G₁₂ = 71 m.

Shotpoint S₅ = 97 m.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวิลาศ บุรณะวัฒนากุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4422048

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(โยธา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2532

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนทบวงมหาวิทยาลัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2545

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Buranawattanakul. V, Lohawijarn. W, Tunyopas. D., 2007. Determination engineering property of soil by seismic method. In proceedings, 7th National Grad Research Conference (April 4 – 5, 2007): Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Thailand.