

เอกสารอ้างอิง

1. ชัย มุกตะพันธ์ และ กาซุโตะ นาคาซาวา. ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 1. พระนคร : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2526
2. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์. "ทฤษฎีและเทคนิคในการวิเคราะห์การทรุดตัวและอัตราการทรุดตัวของชั้นดิน." เอกสารการอบรมทางวิชาการ 1-2 พ.ย. 27 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. Apichart Dharmasaroja. "One-dimensional Settlement Analysis of the Nong Ngoo Hao Test Embankments." M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1976
4. A. Rauf Chaudhry. "Effects of Applied Stress Path on the Stress-Strain Behaviour and Strength Characteristics of Nong Ngoo Hao Clay." M. Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1975
5. Balasubramania, A.S., "Performance on Sand Drains in a Test Embankment in Soft Bangkok Clay." , 6th Southeast Asian Conf. 19-23 May 1980, Taipei, pp. 447-468
6. Braja M. Das, Advanced Soil Mechanics. Mc Graw-Hill, New York, 1985
7. Casagrande, L. and Poulos, S., "On the Effectiveness of Sand Drains" Canadian Geotechnical Journal, 6, 287 (1969) pp. 287-326
8. Hansbo, S., "Consolidation of Clay, with Special Reference to Influence of Vertical Sand Drains, "Proceedings, Swedish Geotechnical Institute, No. 18, 1960
9. Johnson, Stanley J. "Foundation Precompression with Vertical Sand Drains," J. SMFD, ASCE, Vol. 96, SM 1, 1970 pp. 145-175

10. Leonards, G.A., Foundation Engineering. Mc Graw-Hill, New York,  
1962
  11. Richard E.L., "Method of Installation as a Factor in Sand Drain  
Stabilization Design" Hwy. Research Record, No. 133  
1966 pp. 75-97
  12. Richart, F.E., Jr., "A Review of the Theories for Sand Drains,"  
Transactions, ASCE, Vol. 124, 1959, pp. 709-739
  13. Rutledge, P.C. and Johnson, S.J., "Review of Uses of Vertical  
Sand Drains," Bulletin 173, Highway Research Board,  
1957
  14. Somporn Reinmanorom "One-Dimensional Consolidation  
Characteristics of Soft Nong Ngoo Hao Clay" M.Eng.  
Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1974
  15. Tan, S.B., "Performance of Sand Drains (at Taxiway 1 Changi  
Airport)" Proc. of 6th Asian Reg. Conf., pp. 183-186
  16. Tanimoto, K., Ukita, Y. and Suematsu, N., "Stabilization of  
Reclaimed Land by Sand Drains" Proc. of 6th Asian Reg.  
Conf. pp. 187-190
  17. Weber, W.G., Jr., "Experimental Sand Drain Fill at Napa River,"  
Highway Research Record, No.133, 1961
  18. Younger, J.S., "Design Procedure for Sand Drains," Civil  
Engineering and Public Wark Review, England, March,  
1968, pp. 285-291
-

## ภาคผนวก ก.

### วิธีการติดตั้งและการอ่านค่าเครื่องมือต่าง ๆ ที่ติดตั้ง

#### พิโซมิเตอร์แบบนิวแมติก (Pneumatic Piezometer)

##### 1. หลักการ

พิโซมิเตอร์แบบนิวแมติก ที่ปลายพิโซมิเตอร์จะเป็นหินพรุน (porous stone) ติดด้วยไดอะแฟรม ทรานส์ดิวเซอร์ (diaphragm transducer) มีท่อไนลอนคู่ซึ่งมีโพลีเอทิลีน (Polythene) หุ้มอยู่ ต่อกับทรานส์ดิวเซอร์ ส่งไปยังเครื่องมืออ่านค่าแบบดิจิตอล (Digital Pneumatic Readout unit) หลักการทำงานของเครื่องมือ คือ ทำให้เกิดความสมดุลของความดันน้ำในโพรง (pore water pressure) ที่ด้านหนึ่งของไดอะแฟรมกับความดันของอากาศที่อัดเข้าไปอีกด้านหนึ่งของไดอะแฟรม ความดันอากาศที่อัดเข้าไปเมื่อวัด (แสดงอยู่บนจอดิจิตอล) จะเป็นความดันน้ำในโพรง

##### 2. วิธีติดตั้ง

พิโซมิเตอร์แบบนิวแมติก ในแปลงทดสอบ ดำเนินการติดตั้งดังนี้ คือ

1. เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 75 มม. โดยใช้ shell และ auger หรือเจาะแบบ Rotary water flush ไปจนถึงความลึกที่ต้องการ ด้านข้างของหลุมเจาะใกล้ ๆ กับปลายของพิโซมิเตอร์ ไม่ควรมีน้ำโคลนที่แข็งเกาะอยู่ (mud-cake) หรือ เศษชั้นดิน ในกรณีที่มีการเจาะหลุมต้องใช้ปลอก (casing) การดึงปลอกควรทำไปพร้อม ๆ กับขณะติดตั้งพิโซมิเตอร์

2. ถอดฟิลเตอร์แบบเซรามิก (ceramic filter) ออกจากพิโซมิเตอร์และแช่ในน้ำสะอาดที่เอาอากาศออก (clean de-aired water) อย่างน้อยที่สุด 24 ชั่วโมง ก่อนการติดตั้ง

3. ต่อท่อไนลอนคู่เข้ากับทรานส์ดิวเซอร์ และนำไปทดสอบการรั่ว (leak test)

4. ต่อฟิลเตอร์แบบเซรามิกเข้ากับก้านรับฟิลเตอร์ (supporting stem)

โดยทำได้น้ำ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศเข้าไป

5. นำชั้นส่วนของทรานส์ดีวเซอร์มาแช่น้ำให้ไล่อากาศออกจนหมด แล้วต่อกับ  
ก้านรับ
6. ในทางปฏิบัติ ตรวจสอบพีโซมิเตอร์ได้โดยหย่อนลงไปใต้น้ำที่ความลึกที่  
กำหนด และอ่านค่าออกมา ดูว่าตรงกับความเป็นจริงหรือไม่
7. ทิ้งชั้นเบนโทไนต์ (bentonite pellets) ลงในหลุม และดำชั้นเบน-  
โทไนต์ให้กลายเป็นปลั๊กที่น้ำซึมผ่านไม่ได้หนา 30 ซม. ที่ก้นหลุม เททรายหยาบสะอาดที่ผ่าน  
การคัดเลือกมาแล้ว ผ่านน้ำลงไปในหลุม และบดอัด จนถึงระดับของฐานปลายพีโซมิเตอร์ที่  
กำหนด
8. ติดตั้งปลายพีโซมิเตอร์ โดยหย่อนลงไปในหลุมเจาะ ถึงความลึกที่ต้องการ  
โดยต้องให้ปลายพีโซมิเตอร์อยู่ในสภาพ de-aired
9. เททราย (filter sand) ลงไปในหลุมและบดอัด เทจนระดับสูงกว่า  
ปลายพีโซมิเตอร์อย่างน้อยที่สุด 15 ซม.
10. ทิ้งชั้นเบนโทไนต์ลงในหลุมและดำชั้น เพื่อให้เป็นปลั๊กที่น้ำซึมผ่านไม่ได้หนา  
อย่างน้อย 30 ซม. เนื้อทรายสะอาดที่ได้เทลงไปแล้ว
11. เททรายลงในหลุม หนา 15 ซม. เนื้อปลั๊กเบนโทไนต์
12. เทปลั๊กเบนโทไนต์หนา 30 ซม. เนื้อทรายที่ใส่ลงไปอีกที่
13. สูบเบนโทไนต์และซีเมนต์ที่ผสมกันลงผ่านท่อ Tremie ไปในหลุมอย่าง  
ช้า ๆ จนถึงระดับผิวดิน
14. ถ้าต้องการติดตั้งพีโซมิเตอร์ ที่ระดับเหนือกว่าที่ติดตั้งไปแล้ว ทำได้โดยทำ  
ปลั๊กเบนโทไนต์หนา 30 ซม. อยู่ด้านบนของ bentonite-cement grout
15. รวบท่อ pneumatic ให้อยู่ในที่สะดวก ปลอดภัยและไม่มีการรบกวน
16. หล่อแท่นคอนกรีตขนาด 120 × 120 ซม. หนา 10 ซม. และสร้างกล่อง  
คอนกรีตพร้อมด้วยฝาเหล็กปิดล็อกได้ เพื่อป้องกัน ท่อ ที่วางอยู่บนแท่นคอนกรีต

### 3. การดำเนินการอ่านค่าจากเครื่องมือ

หลังจากที่ได้เชื่อมต่อในลอน ขึ้นมาวางบนแท่นคอนกรีตแล้ว การอ่านค่าจะนำเครื่องมือ Digital Pneumatic Readout Unit มา โดยเชื่อมต่อในลอนเข้ากับเครื่องมือแล้วอ่านค่า ผลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ สรุปผลออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในโพรง กับ เวลา

## แผ่นวัดการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement Plate)

### 1. หลักการ

แผ่นวัดการทรุดตัวของผิวดิน เป็นท่อนเหล็กกลวงยึดติดกับแผ่นเหล็ก ใช้วัดอัตราและปริมาณการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ใต้แปลงทดสอบ และระดับน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่บริเวณนั้น การติดตั้งจะฝังอยู่ใต้แปลงทดสอบ โดยแผ่นเหล็กจะวางอยู่บนชั้นดินท่อนเหล็กกลวงจะโผล่ขึ้นมาเหนือแปลงทดสอบ เมื่อดินเหนียวอ่อนเกิดการทรุดตัวแผ่นเหล็กที่วางอยู่บนชั้นดินนี้จะจมลงตามชั้นดิน ท่อนเหล็กที่โผล่เหนือผิวดินจะจมลงตามด้วย จะทำการวัดโดยใช้กล้องระดับที่ปลายของท่อนเหล็ก ตั้งแต่ก่อนเริ่มดำเนินการทดสอบ เพื่อเป็นระดับอ้างอิง ระดับเริ่มต้น แล้วทำการวัดทุกระยะเวลาตามกำหนด นำมาวิเคราะห์จะได้ผลของการทรุดตัวของผิวดิน ทั้งปริมาณและอัตราการทรุดตัว

รายละเอียดของแผ่นวัดการทรุดตัว แสดงอยู่ในรูป โดยท่อเหล็กขนาด  $\phi$  30 ซม. ใช้เป็นปลอกสวมครอบท่อนเหล็กกลวงที่ยึดติดกับแผ่นเหล็กเพื่อป้องกันมิให้เกิดการยึดเกาะของดินกับท่อนเหล็กกลวงข้างใน ซึ่งมีผลให้เกิดการเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ

### 2. วิธีติดตั้ง

การติดตั้งแผ่นวัดการทรุดตัวของผิวดิน จะทำการติดตั้งดังนี้

1. ประกอบเครื่องมือ โดยติดตั้งท่อนเหล็กกลวง กับ แผ่นเหล็กวัดการทรุดตัว
2. ขุดดินให้เป็นบ่อ (pit) ใต้ผิวดิน ลึกประมาณ 30 ซม. หรือที่ความลึกตามต้องการ บ่อที่ขุดควรมีขนาดใหญ่พอที่จะวางแผ่นเหล็กได้
3. วางแผ่นเหล็กในบ่อให้ยึดติดแน่นกับผิวดิน ตามแนวราบ โดยการกดเข็มเหล็กที่ติดกับแผ่นเหล็กลงในผิวดิน
4. สวมท่อเหล็กที่ไขป้องกันท่อนเหล็กกลวง
5. ทำการถมบ่อด้วยดินเดิมที่ขุดออกมาและบดอัด ท่อนเหล็กต้องอยู่ในแนวตั้งเสมอ
6. อ่านระดับของท่อนเหล็กภายใน จากหมุดระดับอ้างอิง แล้วทำการลดระดับไปจนถึงผิวของแผ่นเหล็ก (ค่าที่ได้จะเป็นการอ่านเริ่มต้นของแผ่นวัดการทรุดตัว)

### 3. การดำเนินการวัดค่าจากเครื่องมือ

#### 3.1 การอ่านค่าการทรุดตัว

- ใช้กล้องระดับ (ความละเอียดของการอ่านค่าระดับ 1 มม.) โดยยอมให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดวงรอบปิดกับหมุดระดับอ้างอิงได้ไม่เกิน 5 มม. จะอ่านโดยการวางไม้สตาฟบนท่อนเหล็กกลางที่โผล่ขึ้น

#### 3.2 การอ่านระดับน้ำใต้ดิน

- ใช้แอมแปร์มิเตอร์ธรรมดา หย่อนสายลงไปในท่อนเหล็ก

#### 3.3 ข้อมูลและการคำนวณ

- จดข้อมูลการวัดระดับสำรวจและระดับน้ำใต้ดินลงในแผ่นข้อมูลในสนามข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์และเขียนออกมาในรูปกราฟ การทรุดตัวกับเวลาและระดับน้ำใต้ดินกับเวลา

## อินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer)

### 1. หลักการ

อินคลิโนมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน ใช้สำหรับตรวจสอบพฤติกรรมและความปลอดภัยของโครงสร้าง เช่น เขื่อน, คันดิน เป็นต้น ประกอบด้วยท่อมากเป็นร่องภายใน (grooved casing) , เซนเซอร์ (Sensors) อินดิเคเตอร์ (Indicators) และสายเคเบิล หลักการทำงานของอินคลิโนมิเตอร์มีดังนี้ คือ หลังจากที่ได้ติดตั้ง ท่อมากเป็นร่องภายใน ลงในหลุมเจาะตามความลึกที่ต้องการแล้ว ทำการหย่อนเซนเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องวัดความเร่ง (accelerometer) แบบสมดุลย์ทางแรง (forced balanced, servo type) แสดงผลออกมาในรูปไซน์ (sine) มุมเอียง (angle of inclination) ตามแกนยาวของเซนเซอร์จากแนวตั้ง เมื่อเซนเซอร์เกิดวางตัวอยู่ในแนวเอียงตามร่องของท่อ เซนเซอร์เปลี่ยนการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดภายใน อินดิเคเตอร์จะอ่านค่าออกมาได้ หลังจากที่ได้ทำการวัดเริ่มต้นแล้ว วัดติดตามมาทุก ระยะ จะทำให้ทราบถึงการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินและอัตราการเคลื่อนตัวได้

### 2. วิธีติดตั้ง

การติดตั้งอินคลิโนมิเตอร์ ทำดังนี้

1. ทำหลุมเจาะ เส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 15 ซม. จนถึงความลึกที่ต้องการ ทำความสะอาดหลุมให้ดินออกจนหมด
2. บิดปลายท่อมากเป็นร่องภายใน หย่อนลงไปในหลุมเจาะ โดยให้วางตัวอยู่ในแนวตั้งหรือแนวที่ต้องการ
3. ต่อท่อท่อนต่อไป โดยใช้ข้อต่อพลาสติก (plastic coupling) และหย่อนลงไปตรวจสอบแนวการวางตัวให้ได้แนวตั้งหรือแนวที่ต้องการเสมอ
4. หลังจากต่อท่อทุกท่อนจนถึงความลึกที่ต้องการแล้ว และตรวจสอบการติดตั้งท่อทุกท่อนแล้ว จึงทำการฉีด ซีเมนต์-เบนโทไนต์ (1:3) ลงไปรอบท่อจนเต็ม
5. หล่อแท่นคอนกรีตและทำฝากล่องปิด พร้อมติดตั้งหลักบนแท่นคอนกรีต
6. วัดและอ่านค่าเริ่มต้นของการติดตั้ง



### 3. การดำเนินการอ่านค่า

หลังจากที่ได้ติดตั้งอินคลิโนมิเตอร์ และอ่านค่าเริ่มต้นเสร็จแล้ว เมื่อเริ่มดำเนินการทดสอบ ชั้นดินมีการเคลื่อนตัว การอ่านค่าจะหย่อนเซนเซอร์ลงไปในที่ซึ่งจะเคลื่อนตัวตามชั้นดิน อ่านค่าผ่านมาที่อินดิเคเตอร์ ทำการแปลผลออกมา หาขนาดการเคลื่อนตัวของชั้นดินได้

## ระบบการวัดการทรุดตัวของแบบซอนเด็กซ์ (SONDEX SETTLEMENT PROBE SYSTEM)

### 1. หลักการ

ระบบการวัดการทรุดตัวของแบบซอนเด็กซ์ประกอบด้วยเครื่องหยั่ง (probe) แบบซอนเด็กซ์พร้อมม้วนสายเคเบิลและเครื่องอ่านค่า ไซส์สำรวจ และ ท่อโพลีเอทิลีนแบบย่น (CORRUGATED POLYTHYLENE TUBE) ที่ติดด้วยแหวนโลหะ ฝังอยู่ตามความลึกต่าง ๆ ในหลุมเจาะหรือในส่วนที่ทำการถม ระบบการวัดการทรุดตัวของแบบซอนเด็กซ์สามารถวัดการทรุดตัวที่เกิดขึ้นที่ความลึกต่าง ๆ ได้ โดยเมื่อดินมีการทรุดตัวเกิดขึ้น แหวนโลหะจะทรุดตัวตามชั้นดิน เมื่อหย่อนเครื่องหยั่งลงไปถึงระดับที่แหวนโลหะอยู่ เครื่องหยั่งจะเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้ากับแหวนโลหะ ทำให้ทราบตำแหน่งของแหวนโลหะได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการหย่อนเครื่องหยั่งในตอนก่อนเกิดการทรุดตัว (ใช้เป็นฐานอ้างอิง) ทำให้ทราบถึงขนาดการทรุดตัว เมื่อทำการวัดทุกระยะเวลาตามต้องการ จะได้ผลการทรุดตัวของชั้นดินแต่ละชั้น ทั้งขนาดและอัตราการทรุดตัว

### 2. วิธีติดตั้ง

การติดตั้งระบบการวัดการทรุดตัวของแบบซอนเด็กซ์ ทำการติดตั้งดังนี้

1. วัดความยาวที่แน่นอนของท่อโพลีเอทิลีน และตรวจสอบตำแหน่งที่แน่นอนของแหวนโลหะที่ติดอยู่กับท่อ
2. ปิดปลายท่อโพลีเอทิลีน
3. เจาะหลุมเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 15 ซม. จนถึงที่ความลึกตามต้องการ โดยทำให้หลุมสะอาดไม่มีเศษดินค้างอยู่ในหลุมและเพื่อให้แน่ใจว่าหลุมเจาะไม่พัง ควรใส่โคลนเบนโทไนต์ (Bentonite slurry) หรือปลอกเหล็ก (casing)
4. หย่อนปลายท่อโพลีเอทิลีนลงในหลุมเจาะ โดยติดคัมน้ำหนัก (ประมาณ 5 กิโลกรัม) ถ่วงที่ปลาย เติมน้ำสะอาดลงในท่อโพลีเอทิลีน เพื่อให้ท่อจมลงอย่างช้า ๆ ได้
5. วัดตำแหน่งต่าง ๆ ของแหวนหลังจากที่หย่อนท่อจนถึงระดับก้นหลุม อย่างคร่าว ๆ
6. ปิดปากท่อส่วนบน

7. ค่อย ๆ ถมช่องว่างระหว่างท่อและหลุมเจาะ ด้วยกรวดและทราย
8. กัดท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. รอบท่อโพลีเอทิลีน ที่บริเวณผิวดิน เพื่อป้องกันไม่ให้ท่อโพลีเอทิลีนเสียหาย
9. หล่อแท่นคอนกรีตและทำฝากล่องปิด รอบท่อโพลีเอทิลีนส่วนบน
10. ติดหมุดหลักบนแท่นคอนกรีต ก่อนที่จะเริ่มวัดระดับ (หมุดนี้ใช้เป็นที่อ้างอิงส่วนบนสำหรับท่อโพลีเอทิลีนที่ใช้วัดการทรุดตัว)
11. วัดและอ่านค่าตำแหน่งต่าง ๆ ของแหวนที่อยู่ระดับต่าง ๆ ในหลุม เพื่อใช้เป็นการอ่านค่าเริ่มต้น (initial reading)

### 3. การดำเนินการอ่านค่า

หลังจากที่ได้ติดตั้งระบบการวัดการทรุดตัวแบบโซนเด็คซ์แล้ว และอ่านค่าเริ่มต้นของตำแหน่งแหวนโลหะที่ระดับต่าง ๆ แล้ว เมื่อเริ่มมีการทดสอบทำให้ดินเกิดการทรุดตัวขึ้น วัดการทรุดตัวที่เกิดขึ้นได้โดยการหย่อนเครื่องหยั่ง (probe) ลงไป เมื่อถึงระดับที่มีแหวนโลหะอยู่ จะเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าขึ้น ส่งสัญญาณตามสายเคเบิลที่ติดกับเครื่องหยั่งขึ้นมา จึงทำการวัดตำแหน่งของแหวนโลหะได้ โดยใช้ไซส์สำรวจวัด ผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ทำให้ทราบถึงการทรุดตัวในแต่ละระดับที่เกิดขึ้น

## มาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง (Hydrostatic profile gauges)

### 1. หลักการ

มาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง เป็นเครื่องมือสำหรับวัดการทรุดตัวแบบตัดขวาง ตามแนวราบที่กำหนดไว้ ซึ่งหลักการเป็นแบบเดียวกับอินคลิโนมิเตอร์ แต่เป็นอินคลิโนมิเตอร์ที่ติดตั้งตามแนวนอน เพื่อวัดการเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง แทนที่จะวัดตามแนวตั้งข้าง

### 2. วิธีติดตั้ง

การติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวาง ทำดังนี้

1. ตัดท่อเข้า (access tube) ให้อยู่ตามต้องการ
2. ร้อยสาย (cord) ตลอดแนวท่อที่ตัด ผูกไว้ที่ปลายท่อด้านหนึ่งพร้อมปิดปากท่อ เพื่อป้องกันความสกปรก
3. ขุดร่องลึกประมาณ 50 ซม. ตามแนวตัดขวางที่ต้องการ ปรับระดับและบดอัดฐานร่อง ที่ปลายแต่ละด้าน ค่อย ๆ ทำความลาดเอียงขึ้นมา
4. ถมหินหรือดินหนา 15 ซม. แล้วบดอัด
5. วางท่อเข้า ตามแนวร่อง ถมหินหรือดินหนา 30 ซม. บนท่อ
6. กลบร่องโดยใช้ดินขุดเดิม
7. ปิดฝาครอบท่อเข้า ทั้งสองด้าน
8. หล่อแทนคอนกรีตพร้อมฝาเปิด พร้อมติดหมุดหลักบนแท่นคอนกรีต
9. วัดและอ่านค่าเริ่มต้นของการติดตั้ง

### 3. การดำเนินการอ่านค่า

หลังจากติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวภาคตัดขวางเสร็จ และอ่านค่าเริ่มต้นเพื่อใช้อ้างอิงเสร็จ เมื่อเริ่มดำเนินการทดสอบ ดินมีการทรุดตัวเกิดขึ้น จะทำการอ่านค่าเป็นระยะ ๆ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นจะทำให้ทราบว่า ที่บริเวณใดมีการทรุดตัวเท่าไร (ตามตำแหน่งของท่อเข้า)

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินบริเวณหนองงูเห่า

ข.1 ชั้นดินบริเวณหนองงูเห่า

จากการขุดเจาะสำรวจชั้นดินด้วยการขุดหลุมเจาะ การทดสอบ cone penetration และผลของการทดสอบตัวอย่างดินที่เก็บขึ้นมาจากระดับความลึกต่าง ๆ ได้รูปแบบภาคตัดขวางของชั้นดิน (typical cross section of subsurface) บริเวณหนองงูเห่า ดังแสดงอยู่ในรูปที่ ข.1 (ก.) ถึง ข.1 (ง.) โดยเป็นรูปตัดตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 3 แนว และแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก 1 แนว จากการเจาะสำรวจนี้ทำให้สามารถแบ่งชั้นดินที่แตกต่างกันจนถึงความลึก 35 เมตร ได้เป็น 5 ชั้นดิน ดังนี้คือ

- ก.) Weathered clay
- ข.) Soft clay
- ค.) Soft to Medium clay
- ง.) Stiff clay
- จ.) Dense sand

ก.) Weathered clay เป็นดินชั้นเปลือกโลกส่วนบนสุดของชั้นดิน ดินเป็นดินสีเทาปนน้ำตาล (brownish grey) จนถึงสีเทาปนเขียว (greenish grey) ความหนาของชั้นดินประมาณ 1 ถึง 1.5 เมตร (ดูรูปที่ ข.2)

ข.) Soft clay เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ถัดลงมาจากรชั้น Weathered clay อยู่ลึกจนถึงระดับประมาณ 11 เมตร จากผิวดิน (หนาประมาณ 10 เมตร) ชั้นดินนี้ยังสามารถ แบ่งออกเป็นชั้นย่อยได้อีก 2 ชั้น คือ ชั้นดินเหนียวอ่อนมาก (very soft clay) ซึ่งจะอยู่ส่วนบนของชั้นนี้และชั้นดินเหนียวอ่อน (soft clay) ซึ่งจะอยู่ในส่วนกลาง โดยทั่วไปชั้นดินเหนียวอ่อนมากอยู่ที่ระดับ 1.5 เมตร ถึง 8 เมตร จากผิวดิน และชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ที่ระดับประมาณ 8 เมตร ถึง 11 เมตร ความหนาที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งพื้นที่โครงการดูจากรูปที่ ข.3 และรูปที่ ข.4 ชั้นดินนี้เป็นดินสีเทาปนเขียว (greenish grey) มีเศษเปลือกหอยปนอยู่ โดยเฉพาะในชั้นดินเหนียวอ่อนส่วนล่าง

ค.) Soft to Medium clay เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงชั้นดินเหนียวปานกลาง อยู่ที่ความลึกประมาณ 11 เมตร ถึง 15 เมตร จากผิวดิน ความหนาของชั้นดินเปลี่ยนแปลงไปตลอดพื้นที่โครงการ (ดูรูปที่ ข.5) โดยทั่วไปความหนาของชั้นดินเปลี่ยนแปลงจากแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ถึงทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จาก 3 เมตร ถึง 5 เมตร ชั้นดินนี้เป็นดินสีเทาปนเขียว (greenish grey) มีเศษเปลือกหอยปนอยู่

ง.) Stiff clay เป็นชั้นดินเหนียวแข็ง อยู่ที่ความลึกประมาณ 15 เมตร จากผิวดิน ชั้นดินนี้มีความหนาตั้งแต่ 7 เมตร ถึง 13 เมตร จากการศึกษาในอดีตพบว่าดินชั้นนี้มีอายุมากกว่าชั้นดินข้างบนหลายพันปี ชั้นดินนี้เป็นดินสีน้ำตาลปนเทา (greyish brown) ถึงสีน้ำตาล (brown) มีรอยแยกเล็ก ๆ (small cracks) และพบว่ามีลักษณะเป็น shickensides ด้วย

จ.) Dense to very Dense sand เป็นชั้นทรายที่มีความแน่นจนถึงแน่นมาก อยู่ใต้ชั้น stiff clay จนถึงที่ระดับความลึกประมาณ 35 เมตร จากผิวดินทรายในชั้นนี้เป็นทรายที่มีสีน้ำตาลปนเหลือง (yellowish brown) สีน้ำตาล (brown) หรือสีเทา (grey) ลักษณะเม็ดทราย (grain size) มีลักษณะละเอียด (fine) ถึงปานกลาง (medium) ที่ระดับความลึก 30 เมตร และ 35 เมตร มีทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ปนอยู่บ้าง ทรายชั้นนี้รู้จักโดยทั่วไปว่าเป็นชั้นน้ำใต้ดินกรุงเทพ (Bangkok aquifer)

จากรูปแบบภาคตัดขวางของชั้นดิน (รูปที่ ข.1 (ก.) - (ง.) และรูปที่ ข.2 - ข.5 ที่แสดงความหนาของดินในชั้นต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า สภาพชั้นดินของโครงการมีลักษณะสม่ำเสมอซึ่งถ้านำผลของการทดสอบคุณสมบัติดัชนีทางกายภาพมาประกอบการพิจารณาจะแสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอ (uniform) อย่างเห็นได้ชัด

## ข.2 ลักษณะของน้ำใต้ดิน (Groundwater Condition)

จากการติดตั้งพิโซมิเตอร์แบบท่อเปิด (open tube piezometer) และพิโซมิเตอร์แบบใช้ความดันลม (pneumatic piezometer) ยาวจนถึงความลึก 35 เมตร เพื่อวัดการกระจายความดันน้ำในดิน (piezometric head distribution) ในชั้นดินเหนียวอ่อน (soft clay) ชั้นดินเหนียวแข็ง (stiff clay) และชั้นน้ำใต้ดินกรุงเทพ (Bangkok aquifer) ตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม 2526 ถึงสิ้นเดือนตุลาคม 2526 ผลของการเปลี่ยน

แปลงแสดงดังในรูปที่ ข.6 และ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคาร์บอนิกจากสถานีใกล้เคียง ๆ ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (จากผลการสำรวจการทรุดตัวของพื้นดินเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลในกรุงเทพฯของ AIT 2524 สถานีที่ 20) ทำให้สรุปผลได้ดังนี้

- ก. ระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่ใกล้กับผิวดินมาก
- ข. การกระจายความดันน้ำในดิน เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากความดันน้ำภาคสถิตย์ (hydrostatic pressure) เนื่องจากการสูบน้ำบาดาล ที่ระดับความลึก 12 เมตร ลงมา
- ค. ความดันน้ำในดินลดลงเรื่อย ๆ ตลอดเวลา โดยเฉพาะในชั้นดินเหนียวปานกลาง (medium clay) และชั้นดินเหนียวแข็ง (stiff clay)

### ข.3 คุณสมบัติดินทางวิศวกรรม (Soil Engineering Properties)

คุณสมบัติดินทางวิศวกรรมได้มาจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและภาคสนามในขณะเตรียมทำการสร้างแปลงทดสอบ และข้อมูลในอดีตต่าง ๆ ที่มีเกี่ยวกับชั้นดินต่าง ๆ บริเวณหนองงูเห่า ซึ่งส่วนมากได้ข้อมูลจากสถาบัน เอ ไอ ที

#### ข.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของดินเหนียวและทรายข้างล่างได้สรุปไว้ในตารางที่ ข.1 และรูปที่ ข.7-ข.8 คุณสมบัติของดินเหนียวและทรายจะได้อธิบายโดยละเอียดดังนี้

- ก. Weathered clay - ดินชนิดนี้มีการกระจายขนาด (grain size distribution) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นดินเหนียว 60-65 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง (silt) 30 เปอร์เซ็นต์ และทรายละเอียด (fine sand) 5-10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการกระจายขนาดของดิน Weathered clay คล้ายกับการกระจายขนาดของดินเหนียวอ่อนที่อยู่ข้างใต้ บริเวณที่ต่อเนื่องกัน ทำให้พิจารณาได้ว่าดิน Weathered clay นี้เป็นดินเหนียวอ่อนที่เกิดขบวนการ dessication และ cementation ตามธรรมชาติในส่วนบนของชั้นดินประมาณ 1 เมตร ถึง 1.5 เมตร มีขีดจำกัดแอดเทอร์เบิร์ก (Atterberg's limit) และ ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติต่ำกว่า ส่วนล่างของชั้นดิน แต่มีหน่วยน้ำหนักรวม (total unit weight) สูงกว่า กล่าวคือ ที่ระดับความลึก 1 เมตร จากผิวดิน มีขีดจำกัดเหลว

(liquid limit) 76 เปอร์เซ็นต์ ชีดจำกัดพลาสติก 31 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติ (water content) 68 เปอร์เซ็นต์ และหน่วยน้ำหนักรวมเท่ากับ 1.62 ดันต์ต่อลูกบาศก์เมตร จัดอยู่ในระบบดินเอกภาพ (Unified Soil System) เป็น CH บริเวณเส้น A (A-line) ของแผนภาพ chart (ดูรูปที่ ข.9) ขณะที่พารามิเตอร์ดังกล่าวที่ระดับลึก 2 เมตร จากผิวดินเท่ากันหรือใกล้เคียงกับดินเหนียวอ่อนมาก (very soft clay)

ข. ดินเหนียวอ่อนมาก (very soft clay) - ดินชนิดนี้มีการกระจายขนาดประกอบด้วยส่วนที่เป็นดินเหนียว 60 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 30 เปอร์เซ็นต์ และทราย 10 เปอร์เซ็นต์ มีขีดจำกัดเหลว 100-105 เปอร์เซ็นต์ ชีดจำกัดพลาสติก 40-42 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติ 112 เปอร์เซ็นต์ มีหน่วยน้ำหนักรวม 1.40-1.44 ดันต์ต่อลูกบาศก์เมตร จัดอยู่ในระบบดินเอกภาพเป็น CH อยู่บริเวณเส้น A ของแผนภาพ (ดูรูปที่ ข.9) คุณสมบัติทางกายภาพของดินนี้ไม่เปลี่ยนแปลงตามความลึก

ค. ดินเหนียวอ่อน (soft clay)- คุณสมบัติทางกายภาพของดินชนิดนี้ เปลี่ยนแปลงตามความลึกของชั้นดิน การกระจายขนาดส่วนที่เป็นขนาดทรายแป้งเพิ่มขึ้นตามความลึกจาก 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั้นบนถึงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั้นล่างในทำนองเดียวกับส่วนที่เป็นขนาดดินเหนียวลดลงตามความลึก ส่วนที่เป็นขนาดของทรายคงที่ตลอดความลึกขีดจำกัดเหลวโดยเฉลี่ยจากชั้นบน 106 เปอร์เซ็นต์ ถึงชั้นล่างประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ ชีดจำกัดพลาสติกจาก 42 เปอร์เซ็นต์ ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติจาก 106 เปอร์เซ็นต์ ถึง 71 เปอร์เซ็นต์ หน่วยน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นจาก 1.43 ดันต์ต่อลูกบาศก์เมตร ที่ชั้นดินส่วนบนจนถึง 1.60 ดันต์ต่อลูกบาศก์เมตร ที่ชั้นดินส่วนล่างจัดอยู่ในระบบดินเอกภาพเป็น CH (ดูรูปที่ ข.9)

ง. ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวปานกลาง (soft to medium clay)-ดินเหนียวในชั้นนี้ค่อนข้างมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ การกระจายขนาดคล้ายกับดินเหนียวอ่อนมาก คือ มีส่วนขนาดดินเหนียว 60 เปอร์เซ็นต์ ขนาดทรายแป้ง 30 เปอร์เซ็นต์ และขนาดทราย 10 เปอร์เซ็นต์ ชีดจำกัดเหลวประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ ชีดจำกัดพลาสติกประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติลดลงจาก 71 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั้นดินส่วนบนเป็น 65 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั้นดินส่วนล่างหน่วยน้ำหนักรวมของดินประมาณ 1.60 ดันต์ต่อลูกบาศก์เมตร จัดอยู่ในระบบดินเอกภาพ เป็น MH (ดูรูปที่ ข.9)



จ. Stiff clay - ดินชั้นนี้ มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายขนาดอย่างมากในช่วงความลึกระหว่าง 15 เมตร ถึง 20 เมตร โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 15-17 เมตร สัดส่วนการกระจายขนาดทรายเพิ่มขึ้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับ 17 เมตร จนเกือบถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 20 เมตร ขณะที่สัดส่วนขนาดดินเหนียวลดลงจากประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ขีดจำกัดเหลวเปลี่ยนแปลงจาก 71 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 15 เมตร เป็น 62 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 19 เมตร และได้ค่าที่ต่ำยิ่งขึ้นคือ 32 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 20 เมตร ขีดจำกัดพลาสติกมีค่า ประมาณ 30 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ ที่ความลึกระหว่าง 15-19 เมตร และลดลงเหลือ 19 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 20 เมตร ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติ ลดลงจาก 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความลึก 15 เมตร จนถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 20 เมตร หน่วยน้ำหนักรวมของดิน stiff clay ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 1.7 ดันต่อลูกบาศก์ เมตรที่ระดับความลึก 15 เมตร เป็น 2.0 ดันต่อลูกบาศก์เมตร ที่ระดับ 20 เมตร สามารถจัดดินชนิดนี้ในระบบดินเอกภาพเป็น CH ที่ความลึกระหว่าง 15-19 เมตร และ CL ที่ความลึก 20 เมตร (ดูรูปที่ ข.9)

ฉ. ทรายแน่น (Dense sand) - ทรายที่พบโดยทั่วไปอยู่ที่ระดับความลึกต่ำกว่า 25 เมตร ประกอบด้วยทราย 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้งและดินเหนียว 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ในสัดส่วนที่เท่ากัน การจัดขนาดคละ (gradation) ของทรายค่อนข้างเลว (poor) ผลจากการทดสอบการกดมาตรฐาน (standard penetration tests) พบว่าค่า 'N' มีค่าจาก 30 เป็น 100 ครั้งต่อการกดยาว 30 ซม. โดยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของชั้นทราย ถ้าชั้นทรายมีเปอร์เซ็นต์ของทรายแป้งและดินเหนียวสูง ค่า 'N' จะมีค่าต่ำ

### ข.3.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

จากการทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมีจากตัวอย่างดินและน้ำที่ความลึกต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแสดงผลอยู่ในตารางที่ ข.2 และ ข.3 สามารถสรุปได้ว่า

ก. ในดินและน้ำใต้ดิน มีคุณสมบัติเป็นกลาง (neutral) หรืออาจจะเป็นต่างเล็กน้อย (slightly alkaline)

ข. ที่ความลึกต่ำกว่า 16 เมตร ในตัวอย่างดินและน้ำ มีค่า PH สูงขึ้น

ค. ดิน weathered clay มีปริมาณสารอินทรีย์ organic matter (3.2 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าดินเหนียวอ่อน (1.5 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์) ส่วนดิน stiff clay มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำมาก คือ ไม่มากกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์

ง. ปริมาณเกลือ (salt content) พบมากในดินที่ระดับความลึก 7 ถึง 8 เมตร แต่ในน้ำใต้ดินไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือตามความลึก ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน ( $Cl^-$ ) ในน้ำใต้ดินมีค่าประมาณเทียบเท่า NaCl 5 ถึง 8 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

จ. ไม่พบคาร์บอเนตไอออน ( $CO_3^{=}$ ) ในชั้นดินเหนียวอ่อนและในน้ำใต้ดิน แต่พบบ้างในตัวอย่างดิน stiff clay

ข.3.3 คุณสมบัติทางด้านกำลังแรงเฉือน (Shear Strength Characteristics)

คุณสมบัติทางด้านกำลังแรงเฉือน ของดินบริเวณพื้นที่หนองงูเห่าสามารถสรุปจากผลของการทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ได้ดังนี้

ก. กำลังแรงเฉือนแบบอันเดรน (Undrained shear strength) - จากการทดสอบ unconfined compression (UC Tests) และการทดสอบ Field Vane ทุกระยะ 0.5 เมตร สามารถเขียนค่ากำลังแรงเฉือนแบบอันเดรนตามความลึกได้ดังในรูปที่ ข.10 และนำมาเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกยุบอัดด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (Unconsolidated undrained triaxial tests) และการทดสอบแรงเฉือนแบบกำหนดทิศทาง (direct shear tests) แสดงในรูปที่ ข.11 โดยผลของการทดสอบแรงเฉือนแบบกำหนดทิศทาง ใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 5 แบบ ที่กำหนดให้ตัดตัวอย่างเป็นมุมเอียง 0, 22.5, 45, 67.5 และ 90 องศา กับระนาบราบ เพื่อนำมาทดสอบจากผลของการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ผลของกำลังแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ Field Vane มีค่าสูงกว่า ผลของกำลังแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแบบ unconfined compression ส่วนผลของกำลังแรงเฉือนจากการทดสอบกำลังแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกยุบอัดด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (UU Tests) และการทดสอบแรงเฉือนแบบกำหนดทิศทาง ให้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบแบบ Vane shear

ค่ากำลังแรงเฉือนจากการทดสอบแบบ Field Vane ที่ระดับ 1 เมตร จากผิวดินมีค่าประมาณ 2.2 ตันต่อตารางเมตร แล้วค่ากำลังค่อย ๆ ลดลงมาถึง 1.3 ตันต่อตารางเมตร ที่ระดับความลึก 4 เมตร หลังจากนั้นแล้วค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึง 4 ตันต่อตารางเมตร ที่ความลึก 15 เมตร

ส่วนผลของการทดสอบ electric cone penetrations ในตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นที่โครงการ ได้เขียนออกมาอยู่ในลักษณะของความต้านทานที่กรวย (cone resistance,  $Q_c$ ) และความเสียดทานที่ก้าน (sleeve friction,  $Q_f$ ) พร้อมกับอัตราส่วนของทั้งสองค่า แสดงอยู่ในรูปที่ ข.12 พบว่าค่ากำลังแรงเฉือนตามความลึกจากความต้านทานที่กรวย มีลักษณะคล้ายกับผลของการทดสอบ Field Vane โดยค่าความต้านทานที่กรวย ( $Q_c$ ) โดยเฉลี่ย มีค่า 64 ตันต่อตารางเมตร ที่ระดับลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน แล้วค่อย ๆ ลดลงจนถึง 18 ตันต่อตารางเมตร ที่ระดับลึก 4.5 เมตร จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความลึก

#### ข. พารามิเตอร์กำลังแบบประสิทธิผล (Effective Strength Parameters)

- พารามิเตอร์กำลังแบบประสิทธิผลนี้ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial ซึ่งได้ทำการทดสอบออกเป็น 3 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะการเฉือนของตัวอย่างดิน ดังนี้คือ

1. การอัดตัวอย่างที่ถูกยุบอัดตัวก่อนแบบไอโซทรอปิก ในสภาพอันเดรน (Isotropically consolidated undrained by compression, CIU)
2. การอัดตัวอย่างที่ถูกยุบอัดตัวก่อนแบบแอนไอโซทรอปิก ในสภาพอันเดรน (Anisotropically consolidated undrained condition by compression,  $CK_{\circ}U$ )
3. การดึงตัวอย่างที่ถูกยุบอัดตัวก่อนแบบไอโซทรอปิก ในสภาพอันเดรน (Isotropically consolidated undrained condition by extension,  $CK_{\circ}UE$ )

โดยได้แสดงผลของการทดสอบออกมาในรูปของ  $\bar{p}-q$  ที่ระดับความลึกต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ ข.13 (ก.) ถึง ข.13 (ง.) ค่าที่แสดงอยู่ในรูปได้รวมเอาผลจากการทดสอบที่สถาบัน เอ ไอ ที ได้ทำการทดสอบไว้ด้วย

ค. กำลังจากสภาพแอนไอโซทรอปีย์ (Strength Anisotropy) - จากการทดสอบของ TSAI (1974) ถึงสภาพแอนไอโซทรอปีย์ พบว่าผลของแอนไอโซทรอปีย์ต่อกำลังแรงเฉือนมีน้อยมาก รูปที่ ข.14 เป็นการสรุปผลของการทดสอบที่ความลึกต่าง ๆ โดยค่ากำลังแรงเฉือนที่ได้จากระนาบต่าง ๆ จะนำมา نرمัลไลซ์ (normalized) กับค่ากำลังแรงเฉือนที่ได้จากระนาบราบ

ง. ความไว (Sensitivity) - ความไวของดินหมายถึงอัตราส่วนของค่ากำลังแรงเฉือนแบบอันเดรนที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดินในสภาพไม่ถูกรบกวนต่อค่าที่ได้จากสภาพถูกรบกวน รูปที่ ข.15 แสดงความไวของดินบริเวณหนองูท่าตามความลึกในช่วงที่เป็นดินเหนียวอ่อน มีค่าอยู่ระหว่าง 4 และ 6 ยกเว้นที่ความลึก 2 เมตร จะมีค่าประมาณ

### 7.3 ระหว่างอนุภาคดินถูกทำลาย

ข.3.4 คุณสมบัติทางด้านความสามารถอัดตัวได้ (Compressibility Characteristics)

จากการทดสอบในอดีตและปัจจุบัน สามารถสรุปได้ดังนี้

ก. ความดันวิกฤติ (Critical Pressure) และ อัตราส่วนการยุบอัดตัว (Overconsolidation Ratio)

รูปที่ ข.16 เป็นรูปแสดงถึงค่าความดันวิกฤติและอัตราส่วนการยุบอัดตัวที่ปรากฏ (apparent overconsolidation ratio, OCR) ตามความลึกที่ระดับต่าง ๆ ค่า OCR ที่ได้ใช้การหาค่าความเค้นประสิทธิผลที่คอดอยู่ (overburden pressure) จากการวัดค่าความดันน้ำในโพรงที่วัดในเดือนตุลาคม พ.ศ.2527

ข. ดัชนีการอัดตัว (Compression Index,  $C_c$ )

รูปที่ ข.17 (ก.) ถึงรูป ข.17 (ค.) เป็นรูปแสดงถึงผลของการทดสอบการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ความลึกต่าง ๆ กัน โดยนำมาสรุปหา ดัชนีการยุบอัดตัว ( $C_c$ ) ได้ดังในรูปที่ ข.18

ค. สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว (Coefficient of Consolidation)

จากการทดสอบการยุบอัดตัว เพื่อหาสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวทั้งจากการทดสอบในแนวตั้งและในแนวราบ ( $C_{v-v}$  และ  $C_{v-h}$ ) ได้ผลออกมาดังในแสดงอยู่ในรูปที่ ข.19 จากผล

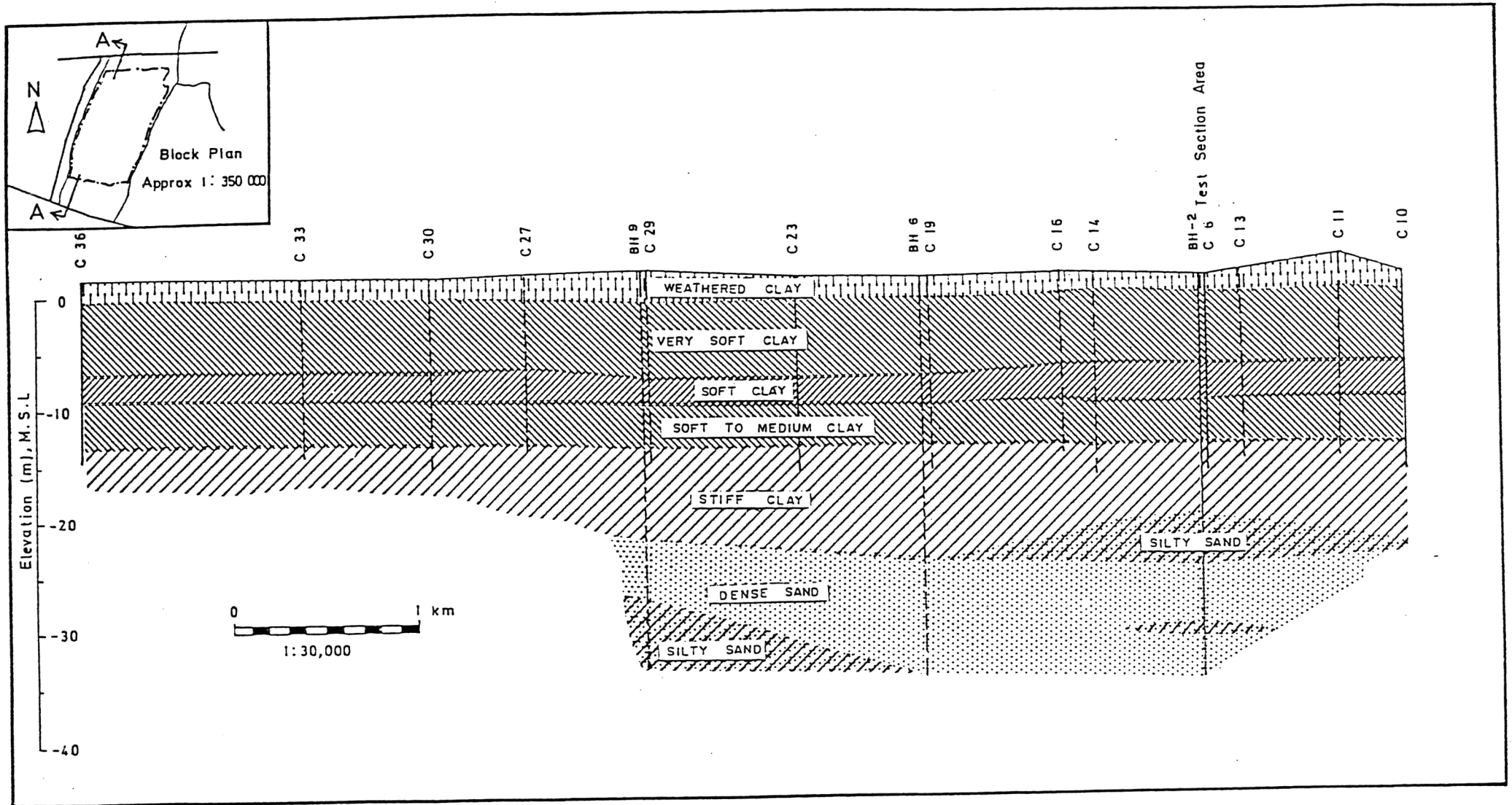
การทดสอบสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวทั้งจากการทดสอบในแนวตั้งและในแนวราบ ให้ผลใกล้เคียงกัน

ง. สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวทุติยภูมิ (Coefficient of Secondary Compression)

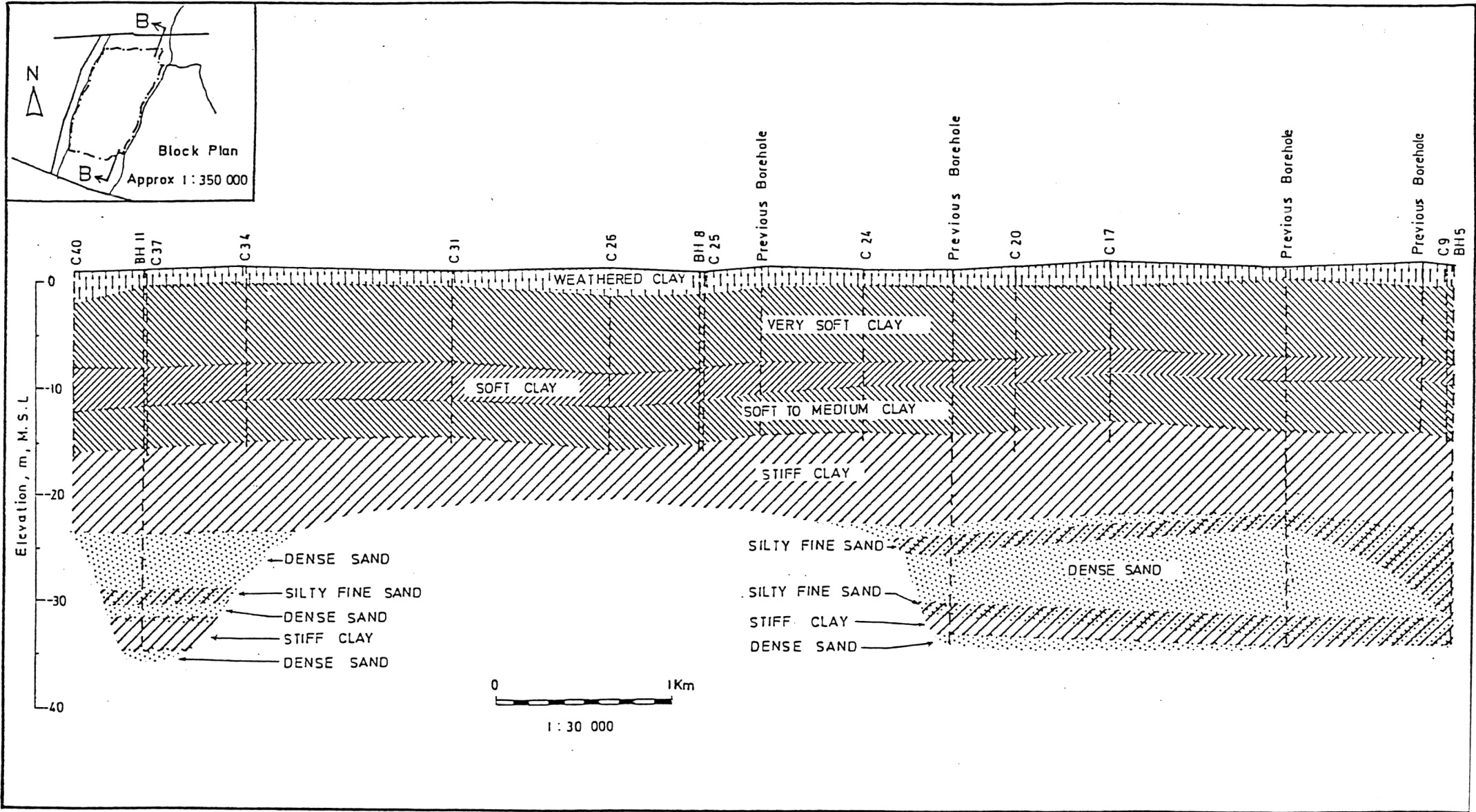
รูปที่ ข.20 เป็นรูปแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวทุติยภูมิตามความลึกต่าง ๆ โดยข้อมูลนี้ได้จาก สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

ข.3.5 ความซึมได้ (Permeability)

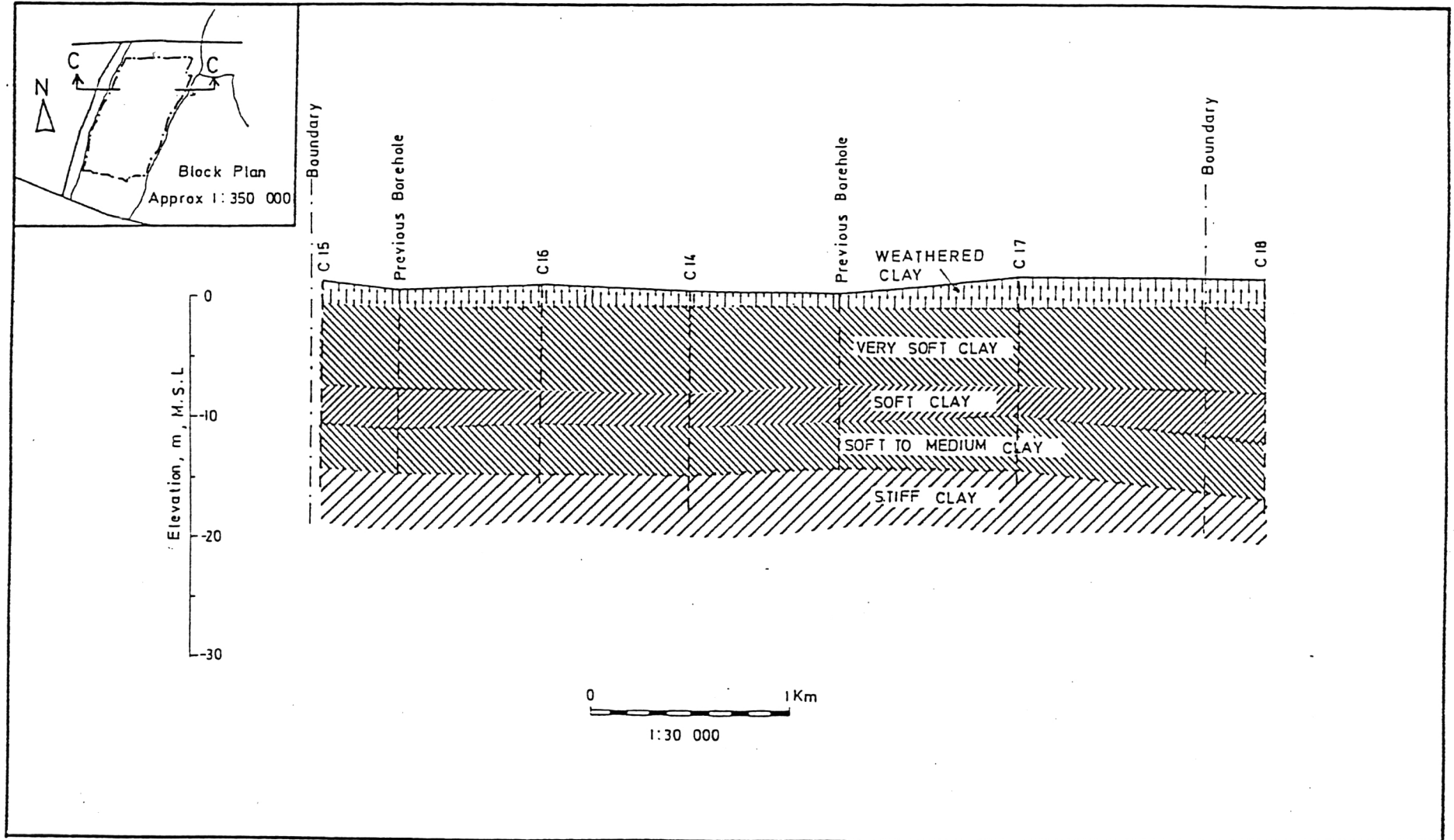
รูปที่ ข.21 เป็นรูปแสดงถึงสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินตามความลึกต่าง ๆ สรุปได้ว่า สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินทั้งตามแนวตั้งและแนวราบ มีค่าอยู่ในช่วง  $10^{-8}$  ถึง  $10^{-7}$  ซม./วินาที



รูปที่ ข.1(ก) ชั้นดินตามภาคตัด A -A

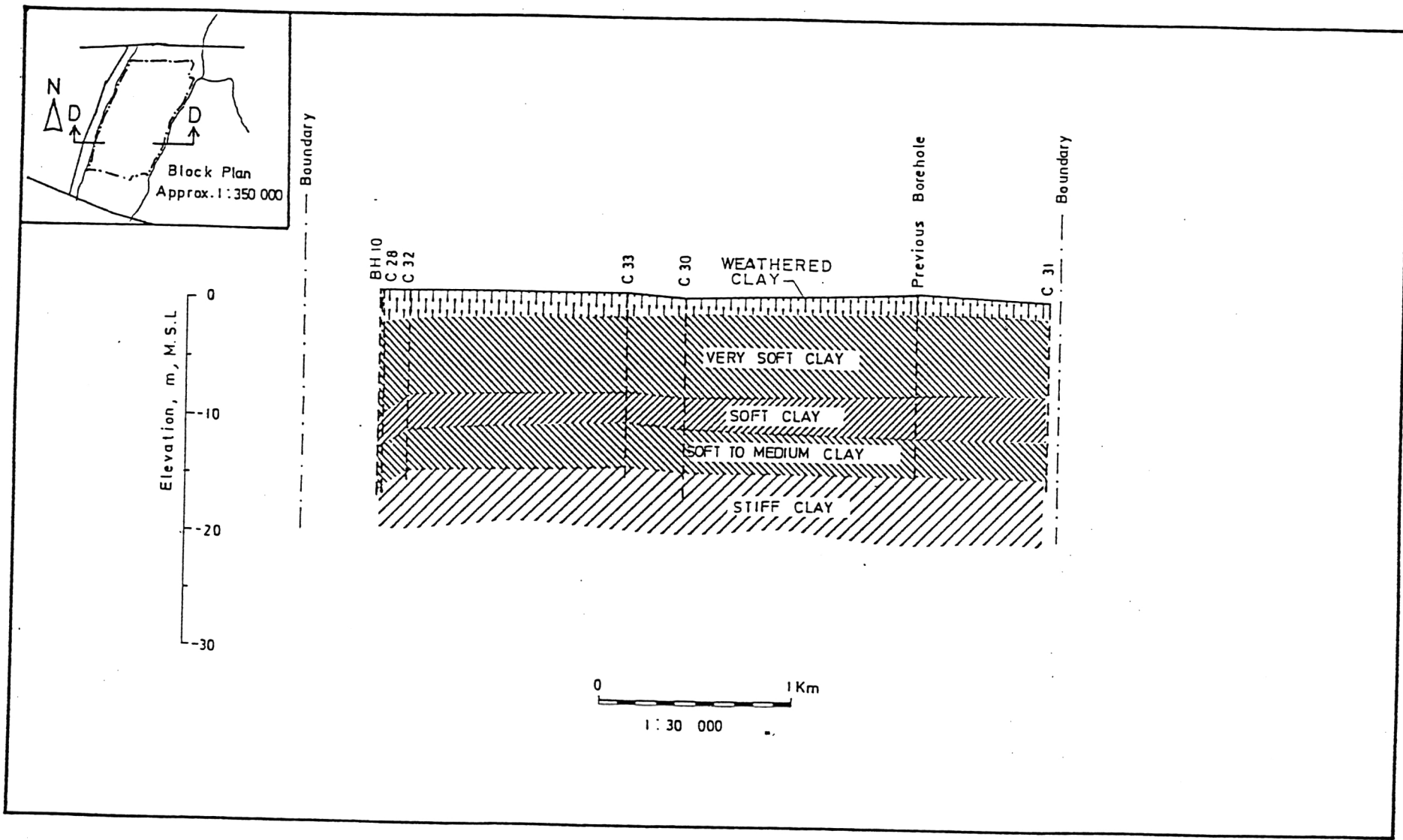


รูปที่ ข.1(ข) ชั้นดินตามภาคตัด B - B

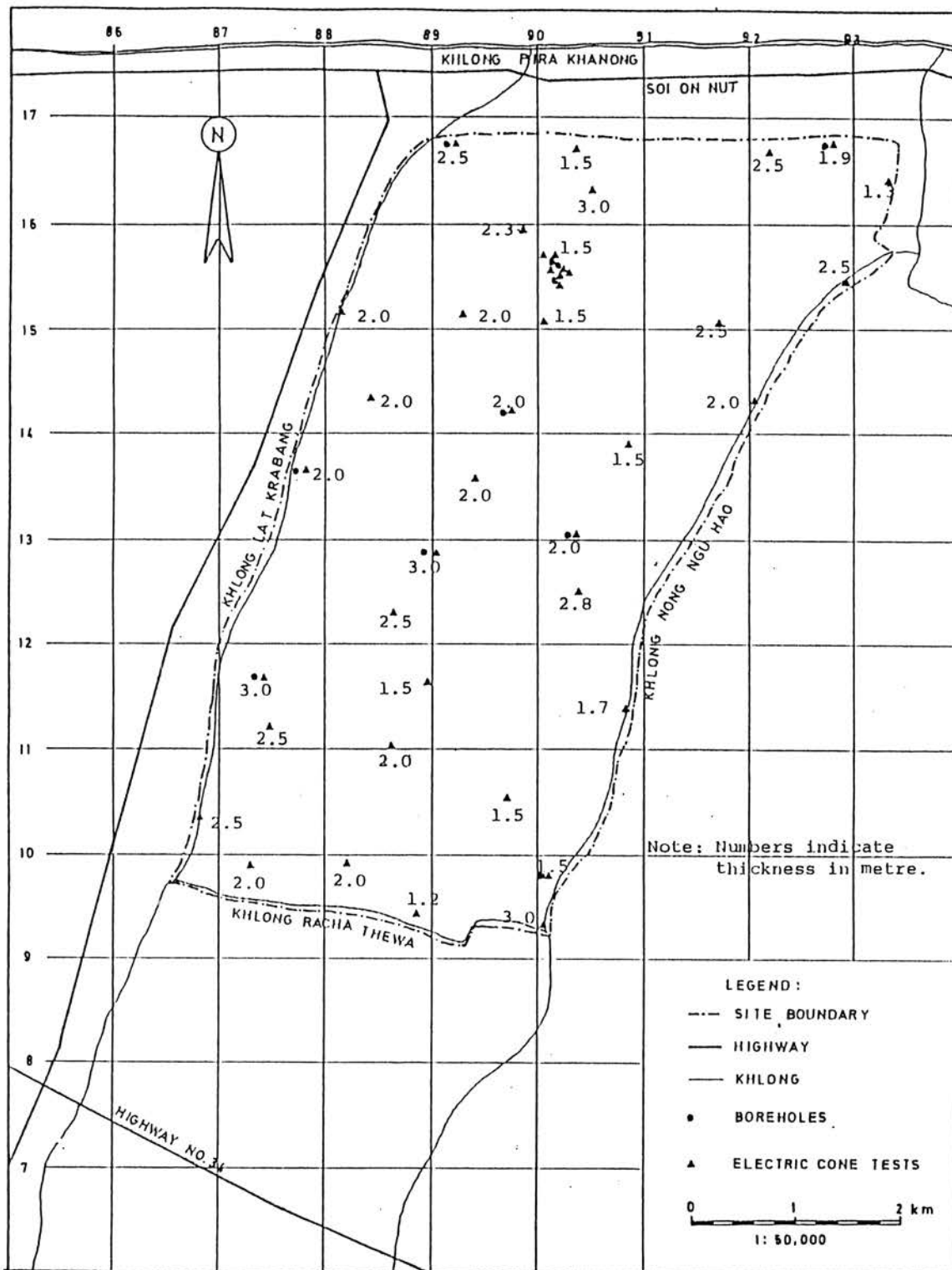


รูปที่ ข.1(ค) ชั้นดินตามภาคตัด C - C



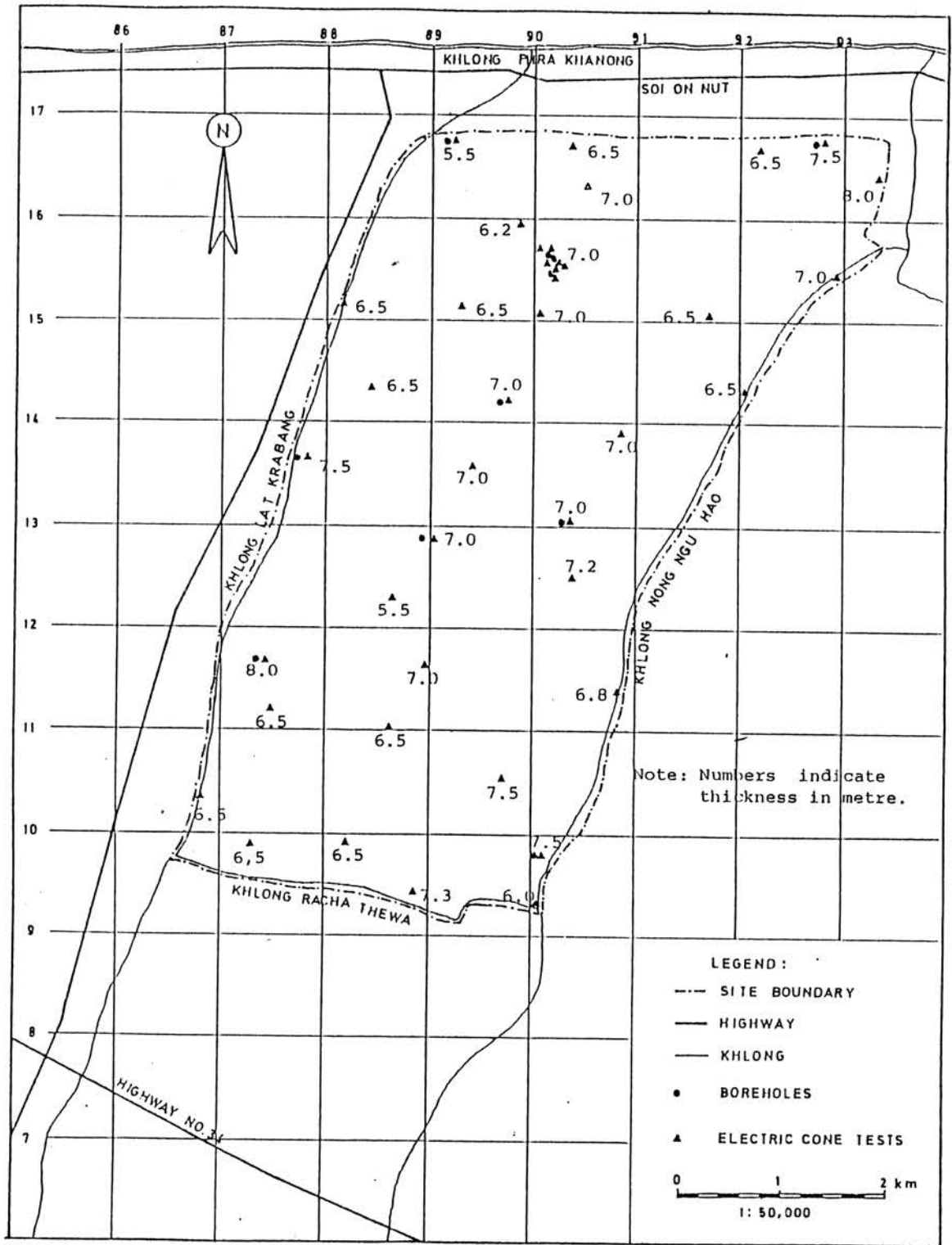


รูปที่ ข.1(ง) ชั้นดินตามภาคตัด D - D



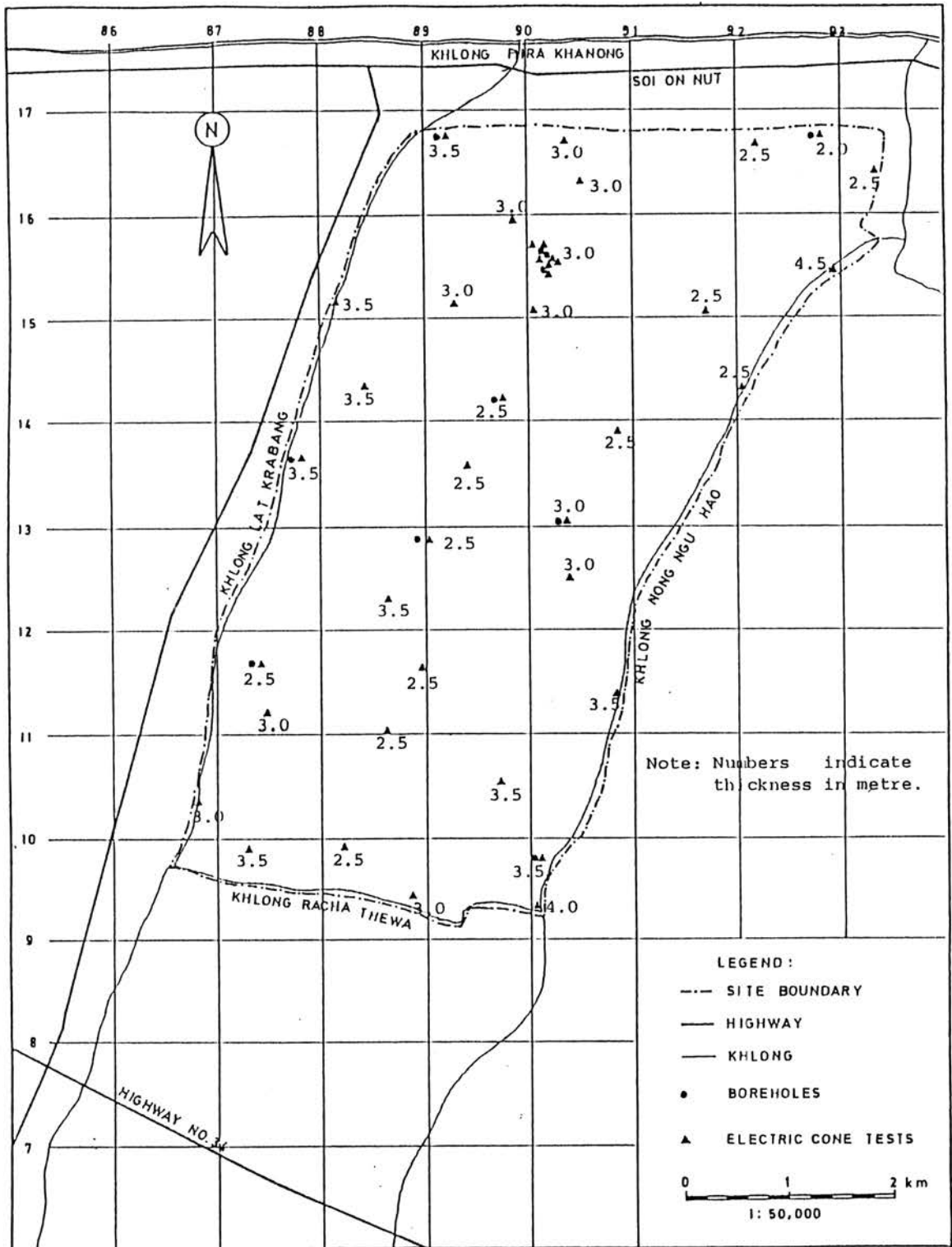
รูปที่ ข.2 ความหนาของชั้นดิน Weathered Clay

ที่เปลี่ยนแปลงตลอดพื้นที่โครงการ



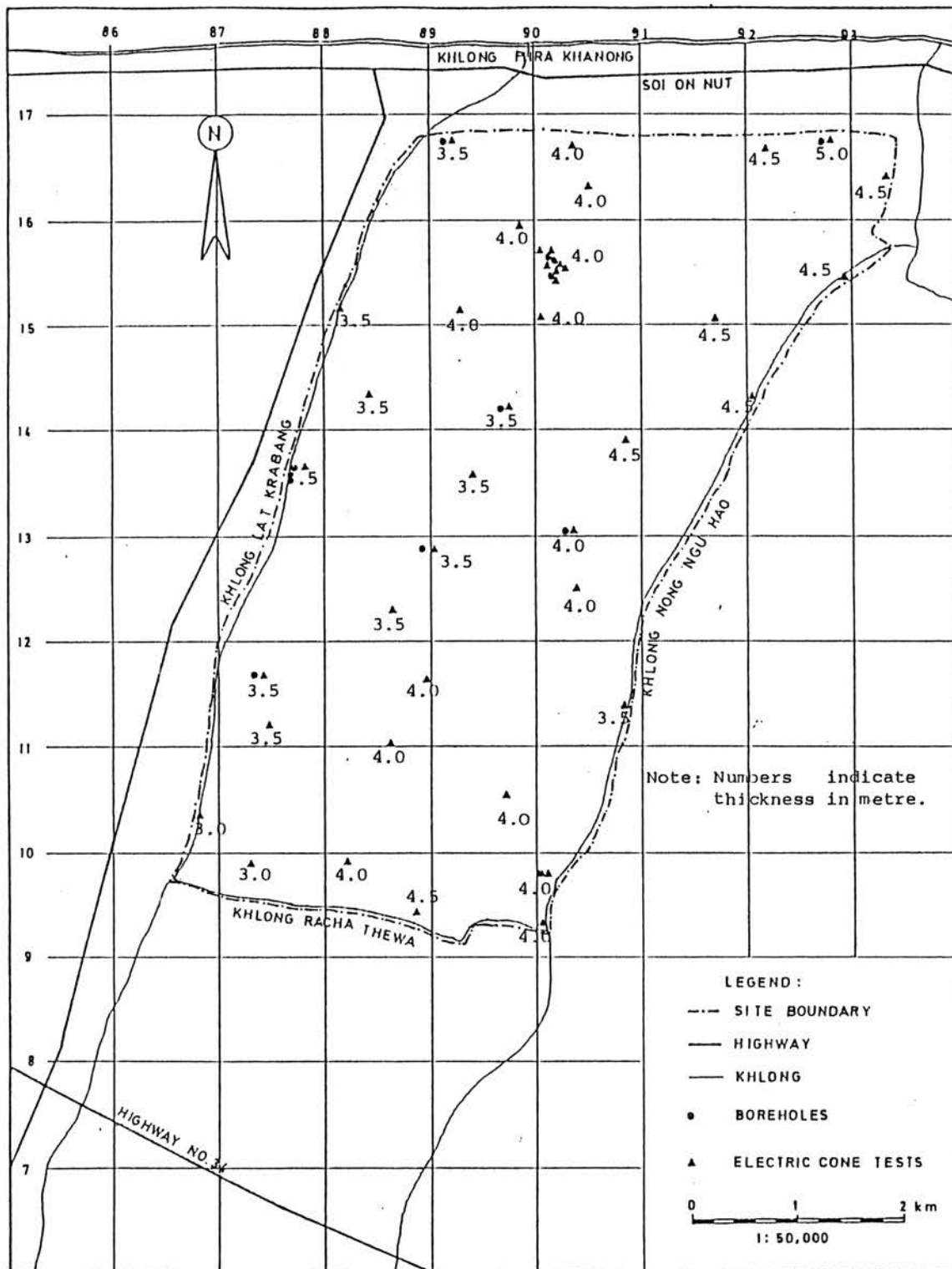
รูปที่ ข.3 ความหนาของชั้นดิน Very Soft Clay

ที่เปลี่ยนแปลงตลอดพื้นที่โครงการ



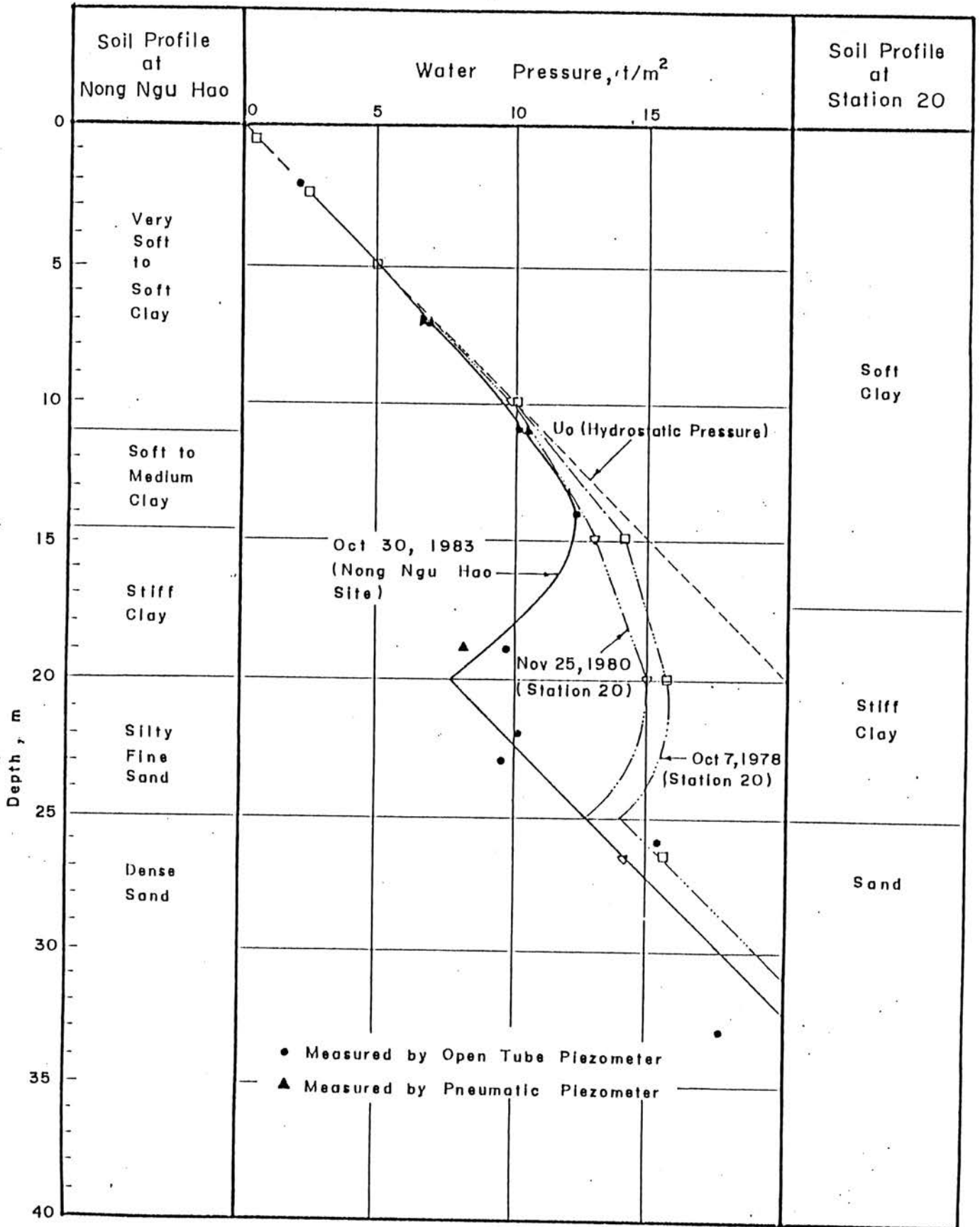
รูปที่ ข.4 ความหนาของชั้นดิน Soft Clay

ที่เปลี่ยนแปลงตลอดพื้นที่โครงการ



รูปที่ ข.5 ความหนาของชั้นดิน Soft to Medium Clay

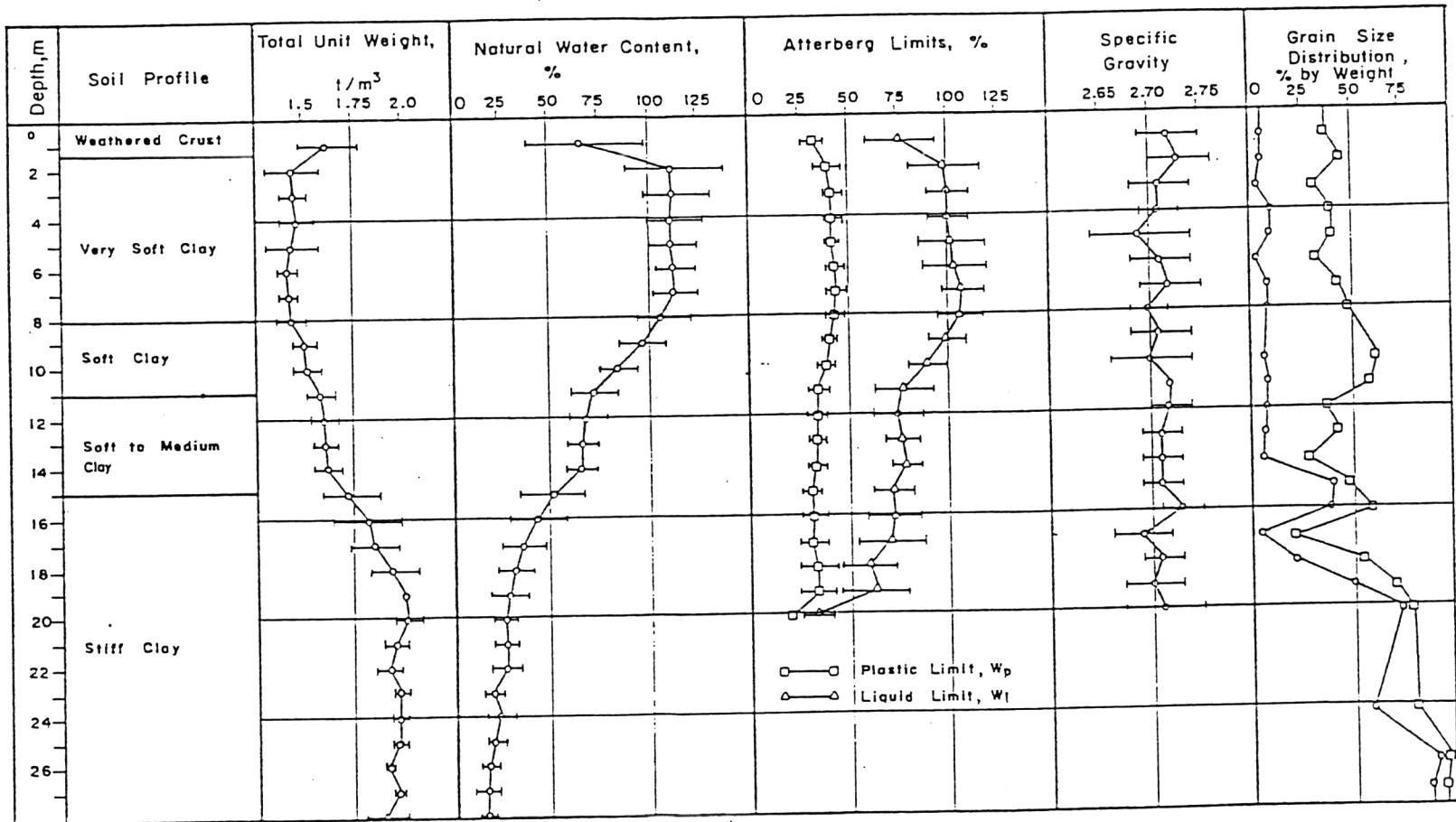
ที่เปลี่ยนแปลงตลอดพื้นที่โครงการ



รูปที่ ข.6 การกระจายความดันน้ำในดิน (piezometric head distribution) ตามความลึก

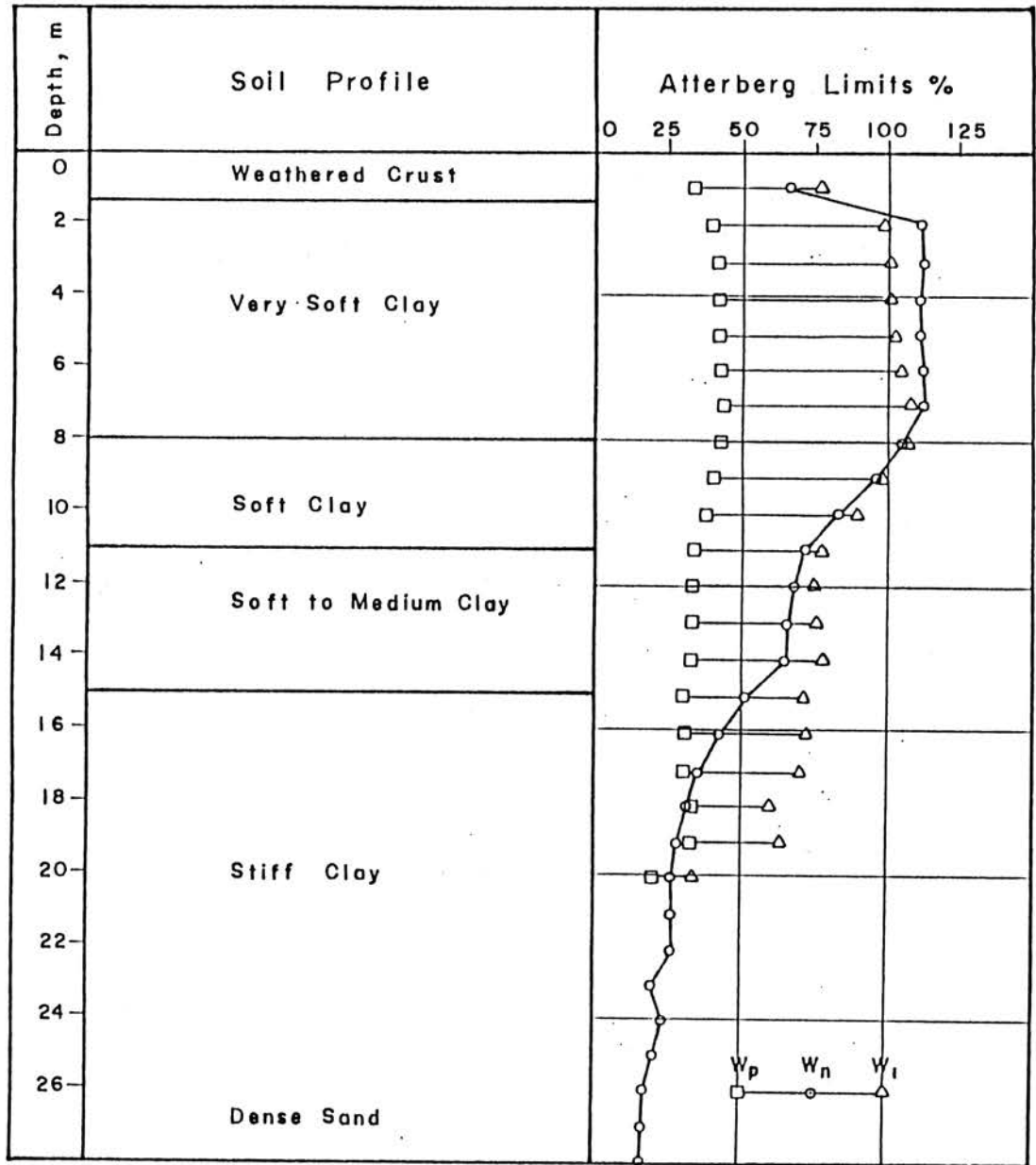
ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของดินเหนียวและทราย บริเวณหนองงูเห่า

Soil Description	Thickness			Physical Properties					Grain Size Distribution & by Weight		
	Average, m	Max. m	Min. m	Total Unit Weight, t/m <sup>3</sup>	w <sub>n</sub> , %	w <sub>p</sub> , %	w <sub>l</sub> , %	G <sub>s</sub>	Fine Sand	Silt	Clay
Weathered crust	1.5	3.0	1.0	1.50 - 1.60	65 - 90	35 - 40	75 - 95	2.73	5	33	62
Very soft clay	6.5	8.0	5.5	1.40 - 1.50	90 - 115	40 - 45	95 - 110	2.69 - 2.73	4 - 10	30 - 40	50 - 68
Soft clay	3.0	4.0	2.0	1.50 - 1.60	70 - 105	30 - 45	80 - 105	2.70 - 2.72	6 - 9	40 - 58	35 - 50
Soft to medium clay	4.0	5.0	3.0	1.60 - 1.70	50 - 70	30 - 35	70 - 80	2.71 - 2.72	6 - 40	8 - 50	40 - 70
Stiff to very stiff clay	10.0	15.0	5.0	1.70 - 2.00	25 - 50	20 - 35	35 - 75	2.69 - 2.73	5 - 75	5 - 32	40 - 75
Dense sand	7.0	10.0	3.0	1.90 - 2.00	15 - 25	NP	NP	-	60 - 92	4 - 20	3 - 20

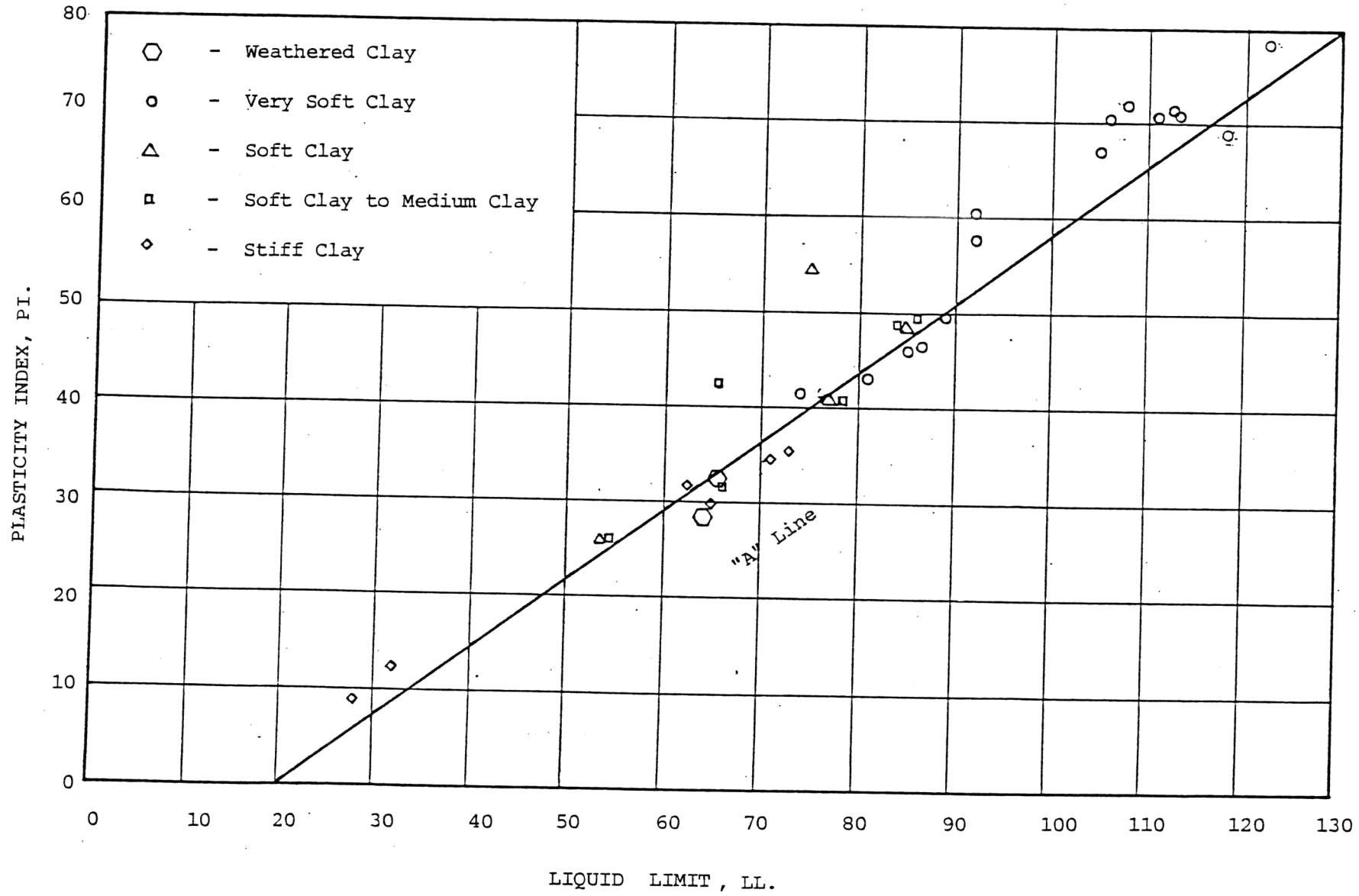


รูปที่ ข.7 คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของดินเหนียวบริเวณหนองงูเห่าตามความลึก





รูปที่ ๒.๘ ปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติและขีดจำกัดแอกเทอร์เบอร์กตามความลึก



รูปที่ ข.๙ แผนภาพแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินบริเวณหนองงูเห่า ในระบบดินเอกภาพ (Unified Soil System)

ตารางที่ ข.2 สรุปคุณสมบัติทางเคมีของดินบริเวณหนองงูเห่า

Sample Depth, m	Borehole No.	Sample No.	pH	Organic Matter, % by wt	Ca <sup>++</sup> , mg/10gm of soil	Mg <sup>++</sup> , mg/10gm of soil	Cl <sup>-</sup> , mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> , mg/l
2.0 - 2.6	8	8	7.4	3.21	21	32	800	650	0
2.5	3	1	7.9	1.92	18	30	1065	738	0
3.5 - 4.0	7	4	7.2	2.64	18	29	560	350	0
6.0 - 6.5	7	5	7.9	1.49	20	25	1455	575	0
7.5 - 8.4	3	2	7.0	1.89	34	28	1825	563	0
8.0 - 8.5	8	9	8.1	2.07	54	40	2400	130	0
12.5 - 13.5	3	3	8.0	2.55	33	21	1475	205	0
16.0 (sand)	7	7	7.7	0.06	0	1	101	14	0
16.0 - 16.5	8	10	8.6	0.03	17	14	1380	8	trace
17.0 - 17.5	7	6	8.7	0.06	6	21	1115	27	trace

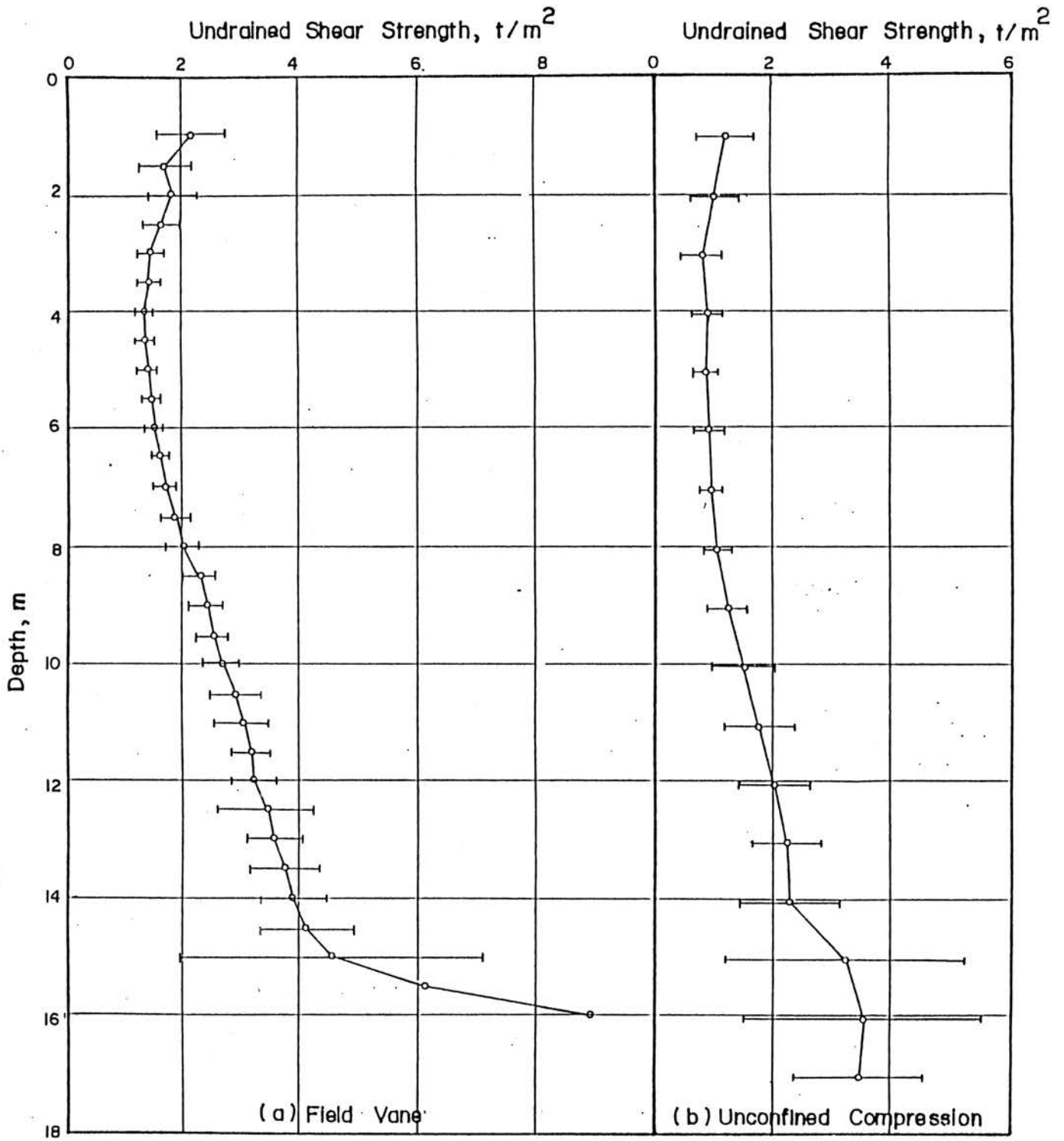
Notes: Soil - water extraction ratio was 1:5 by weight for determination of pH, Organic Matter, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> and CO<sub>3</sub><sup>=</sup>  
Exchangeable Ca and Mg concentrations are determined by Amonium Saturation Method

ตารางที่ ข.๓ สรุปคุณสมบัติทางเคมีของน้ำบริเวณหนองเห่า

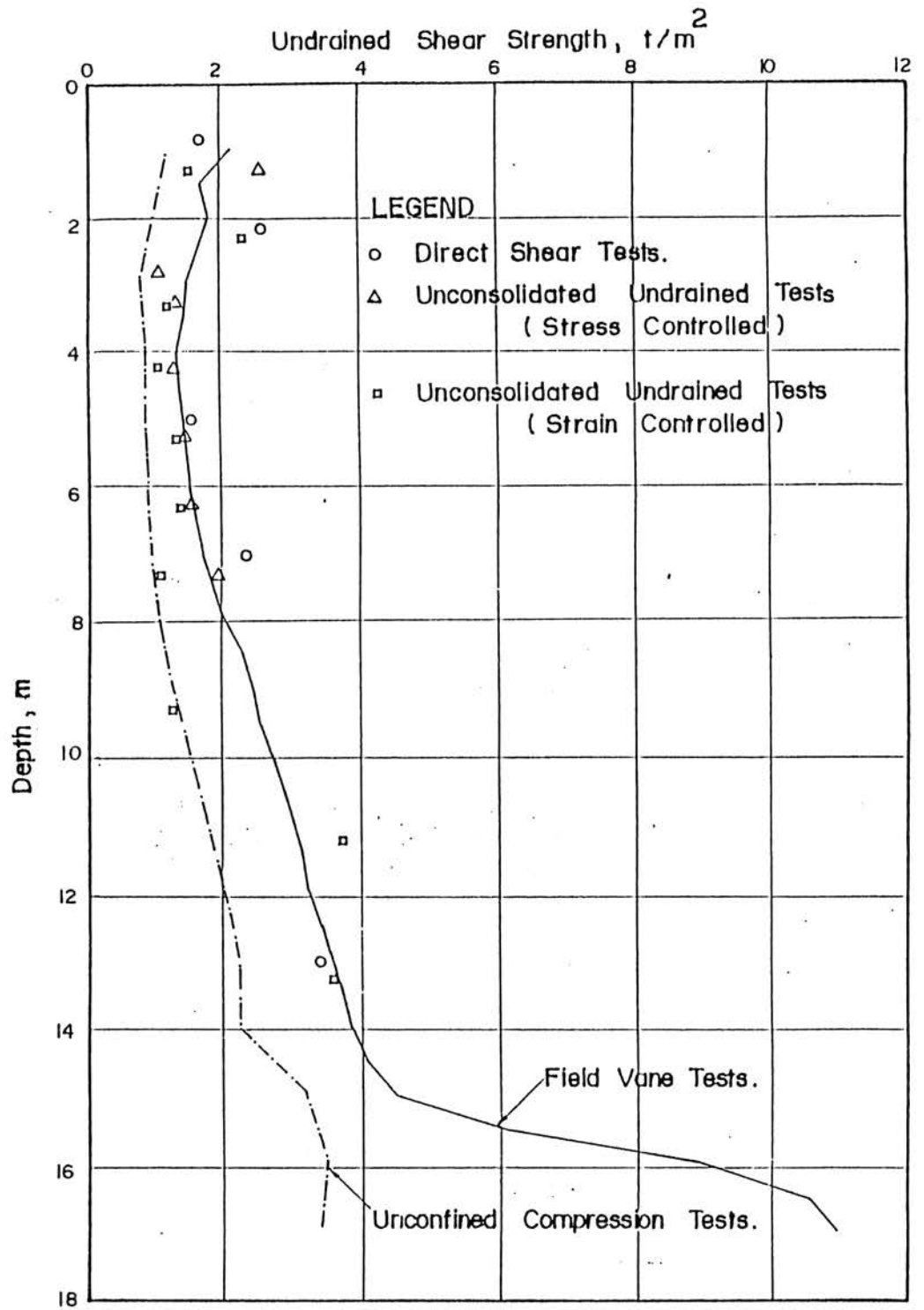
Sample Depth, m	Borehole No.	Sample No.	pH	Organic Matter, COD, mg/l*	Ca <sup>++</sup> , mg/l	Mg <sup>++</sup> , mg/l	Cl <sup>-</sup> , mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> , mg/l
4.0	2	1	7.6	252	188	542	3549	1900	0
6.0	5	4	7.3	160	286	590	3000	3200	0
8.0	2	2	7.7	193	152	536	3850	1900	0
12.0	7	5	7.5	319	92	312	4850	220	0
20.0	2	3	8.3	596	200	520	3250	1150	0

Note :

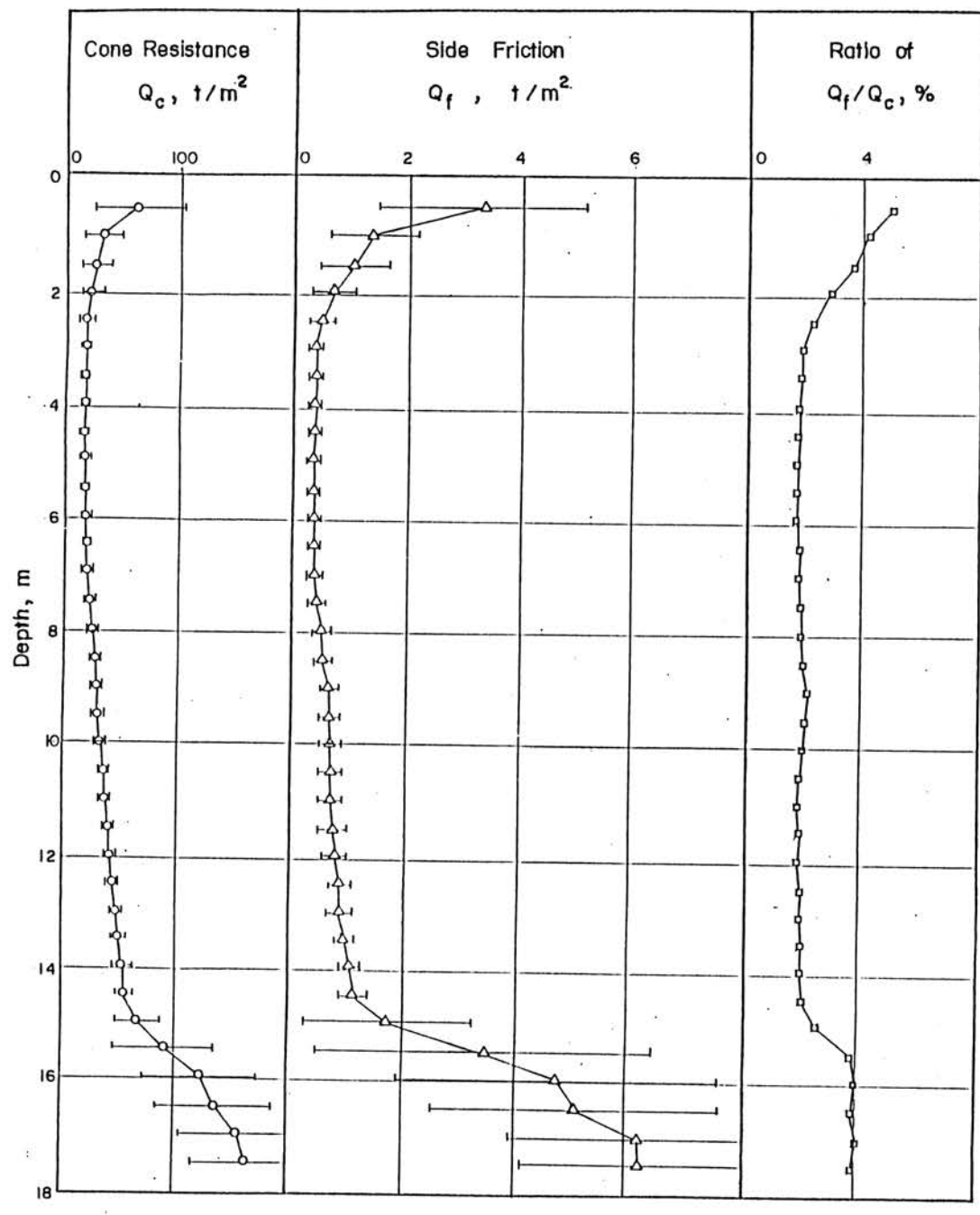
\* mg/l in term of COD (Chemical Oxygen Demand)



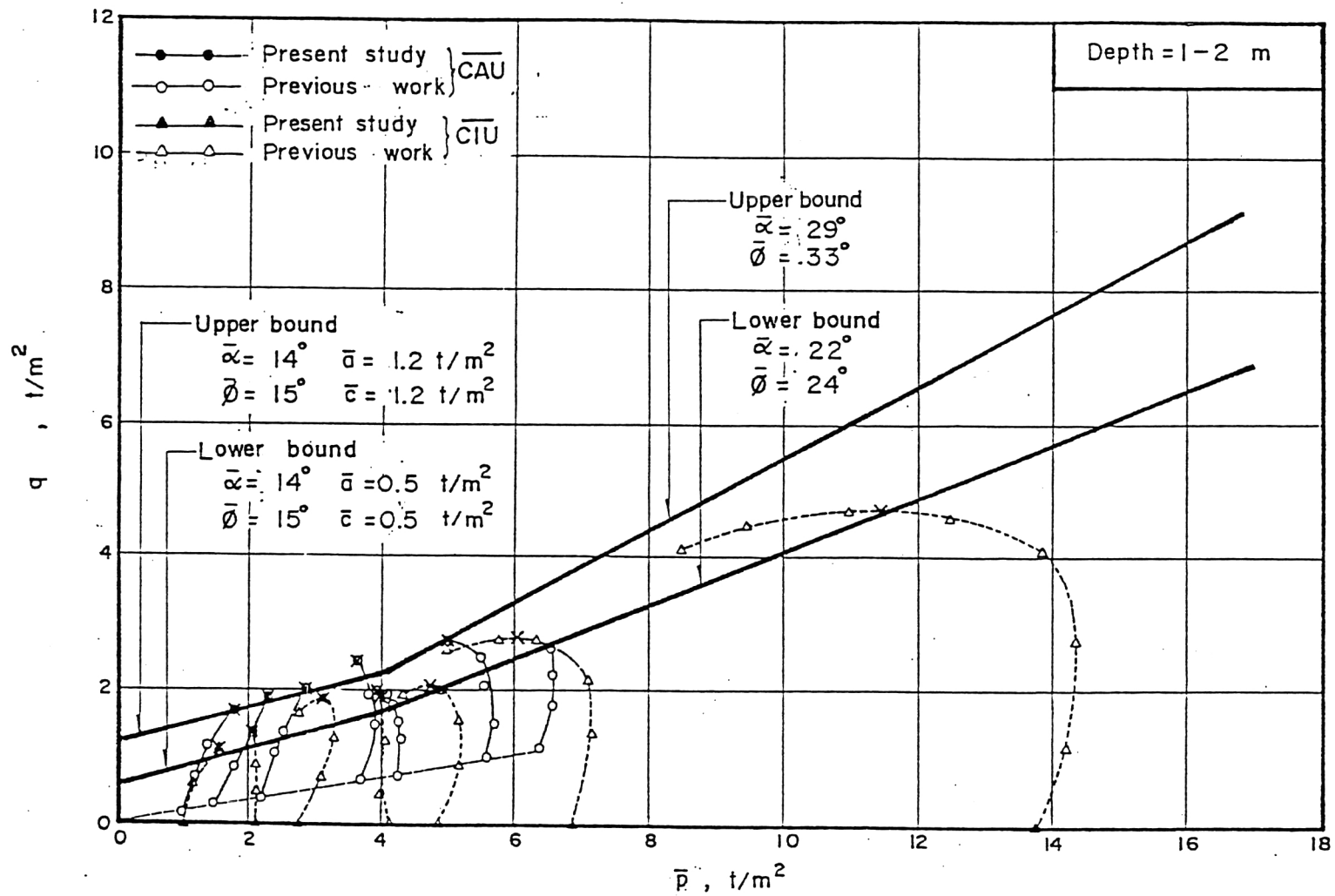
รูปที่ ข.10 ค่ากำลังแรงเฉือนแบบอันเดรอนตามความลึก



รูปที่ ๗.๑๑ การเปรียบเทียบผลของกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ Field Vane กับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรณ จากห้องปฏิบัติการ

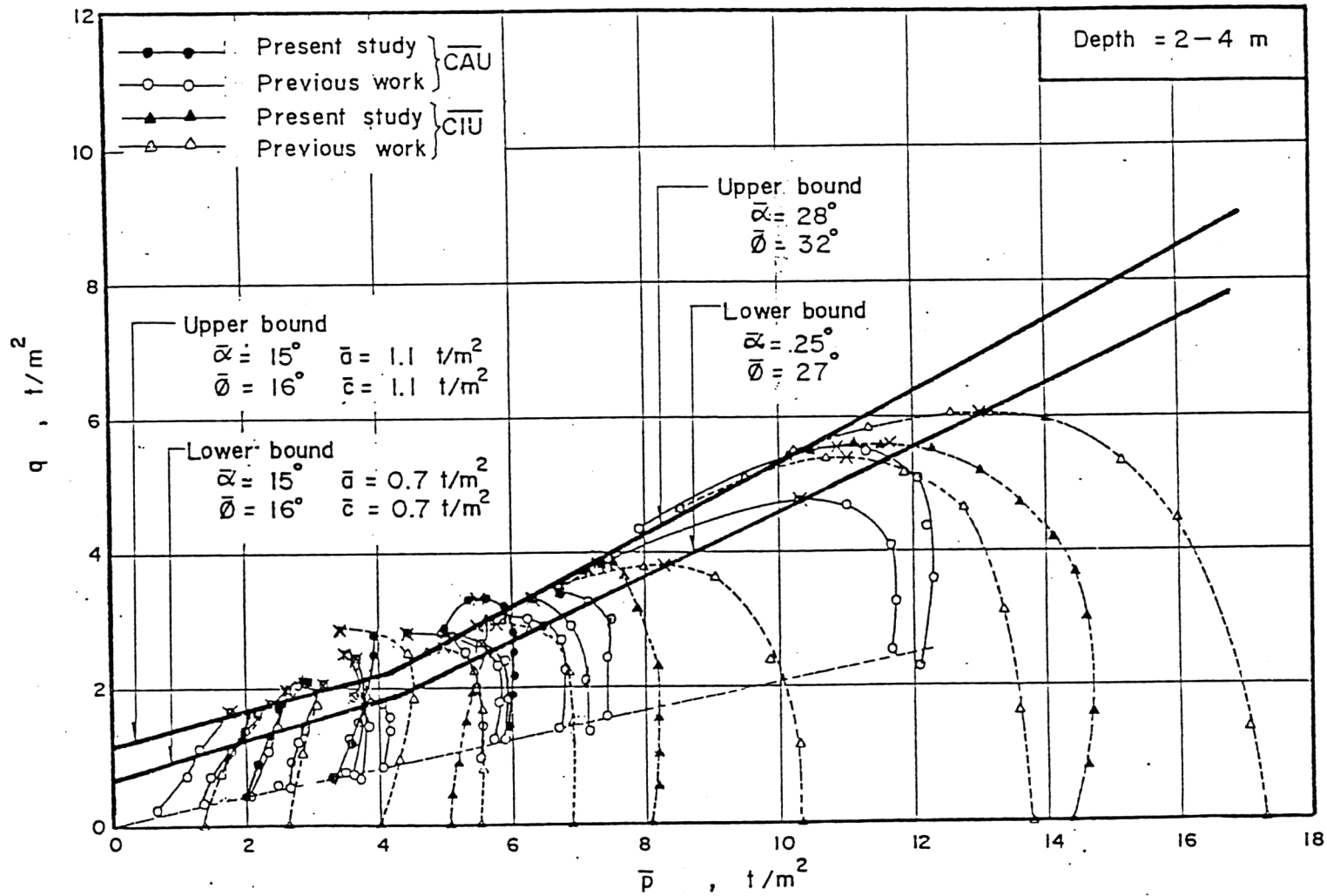


รูปที่ ข.12 ผลของการทดสอบ electric cone penetration ตามความลึก

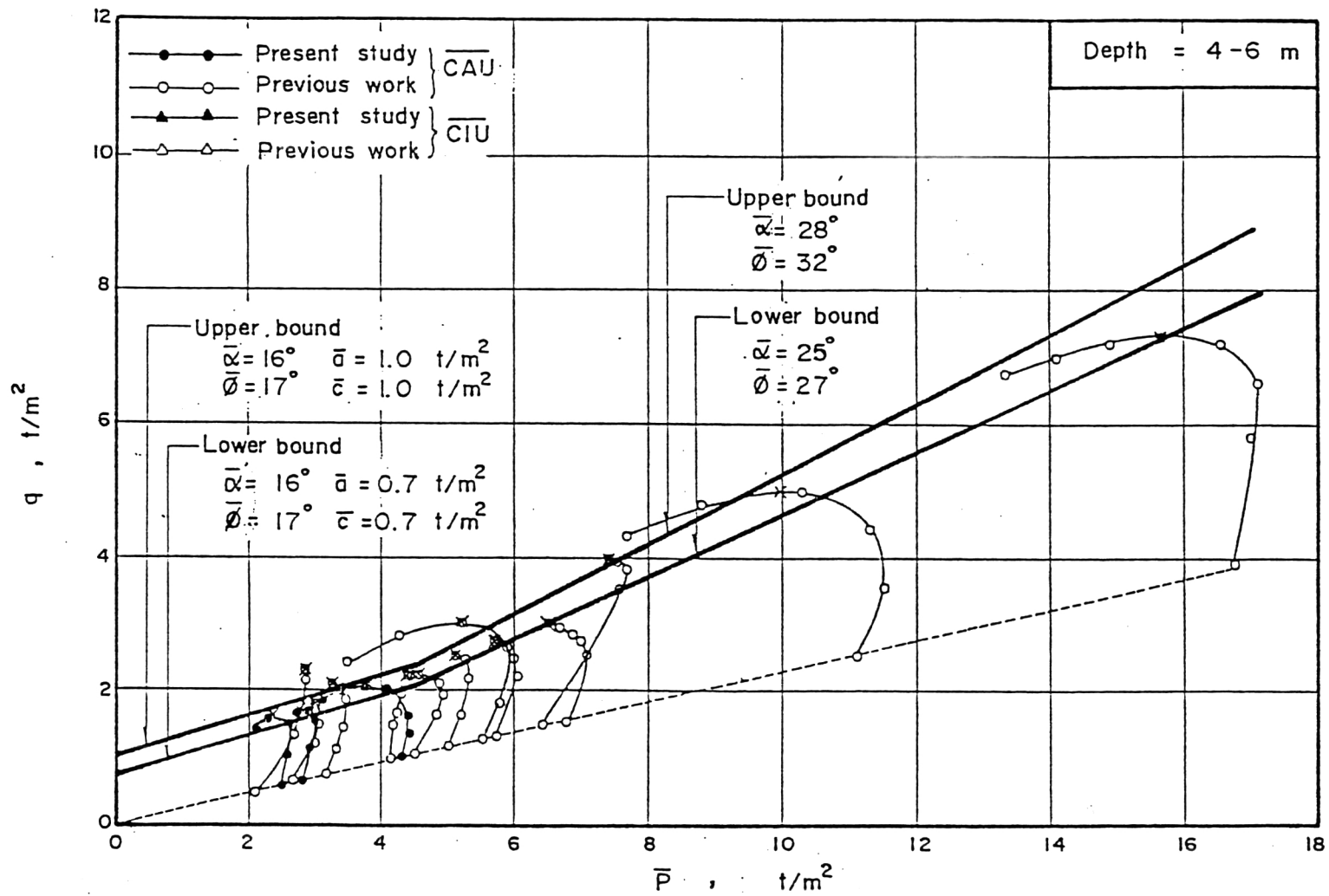


รูปที่ ข.13 (ก) ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial  
 แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่  
 ความลึก 1 - 2 เมตร

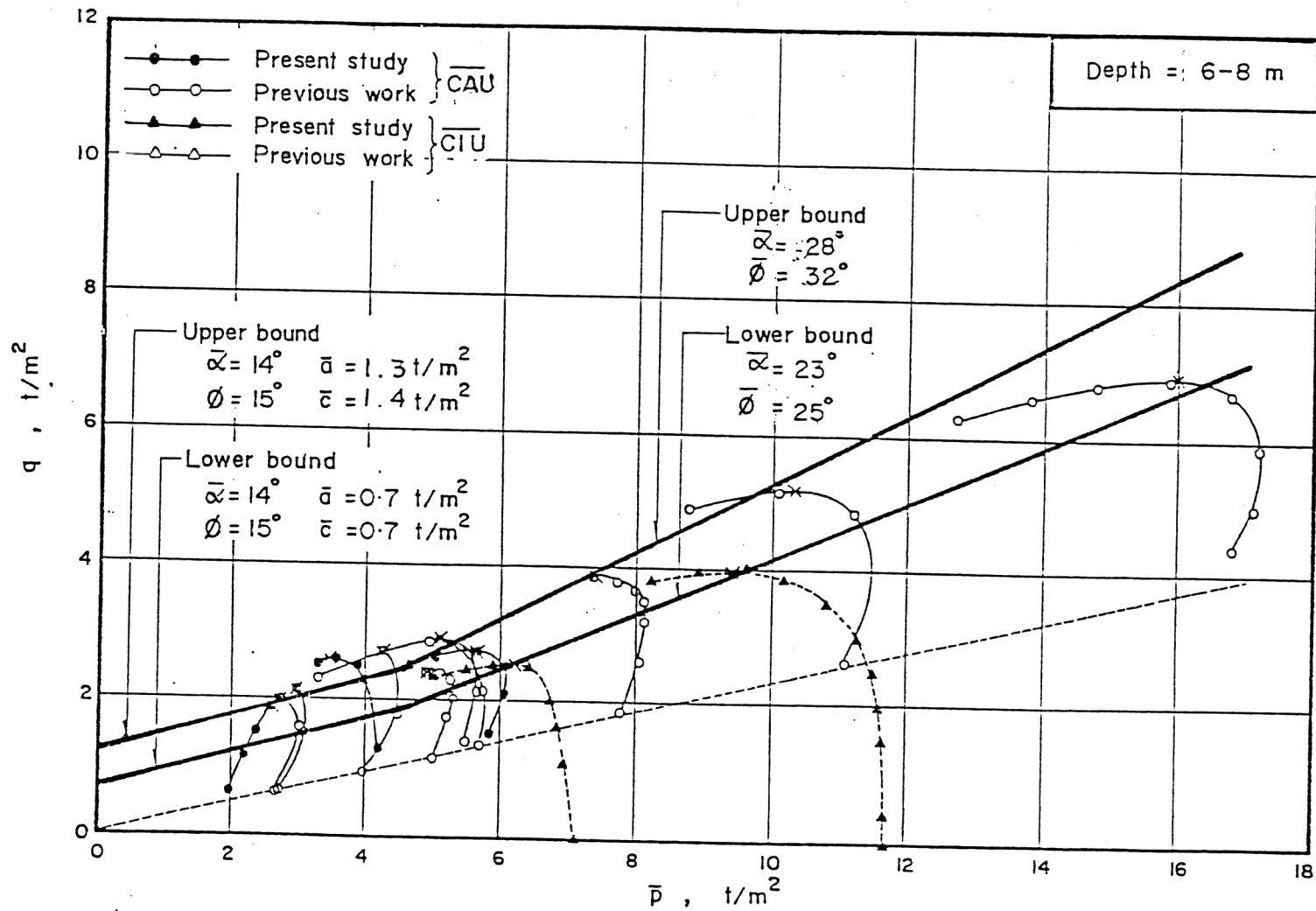




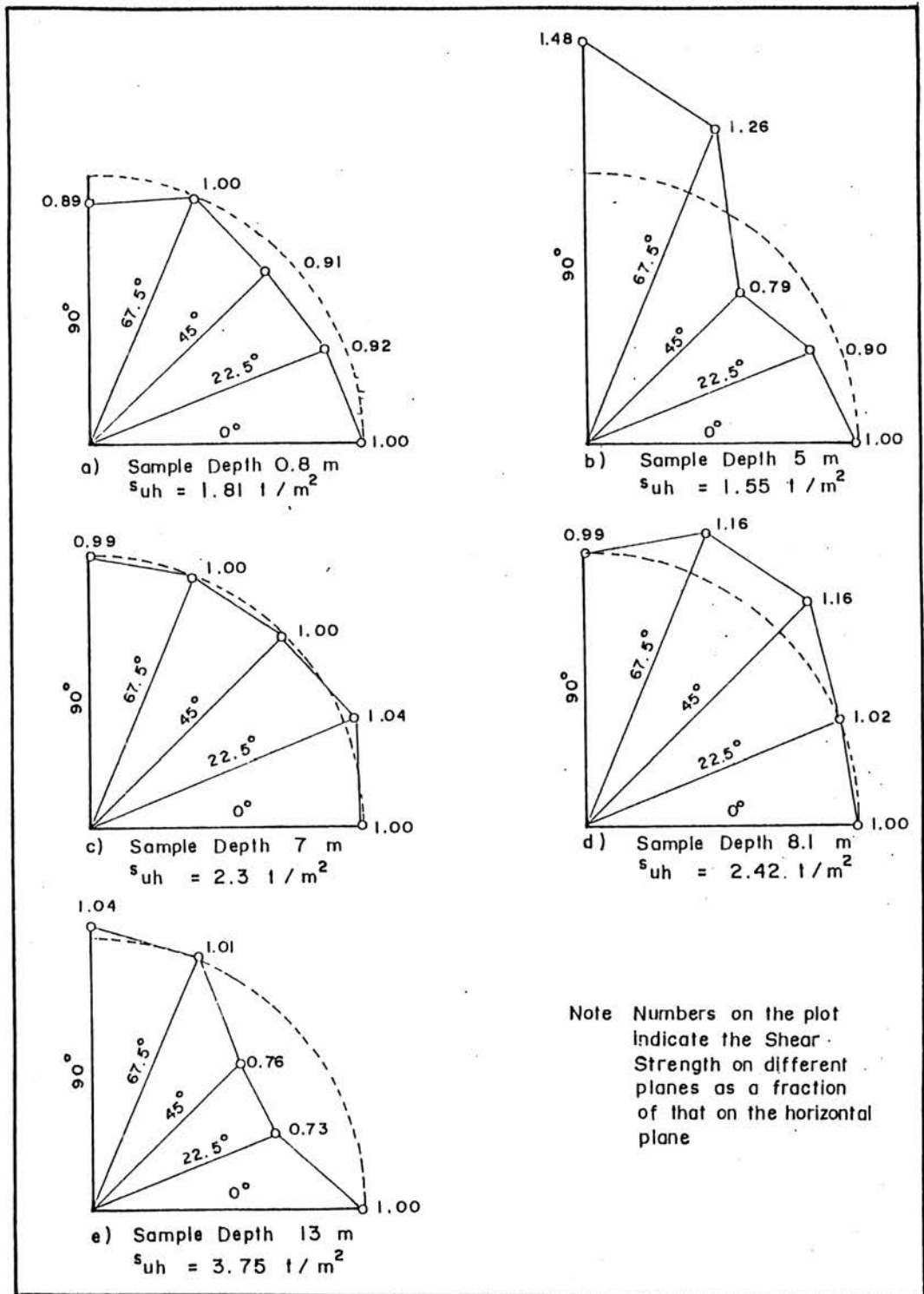
รูปที่ ข.13 (ข) ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 2 - 4 เมตร



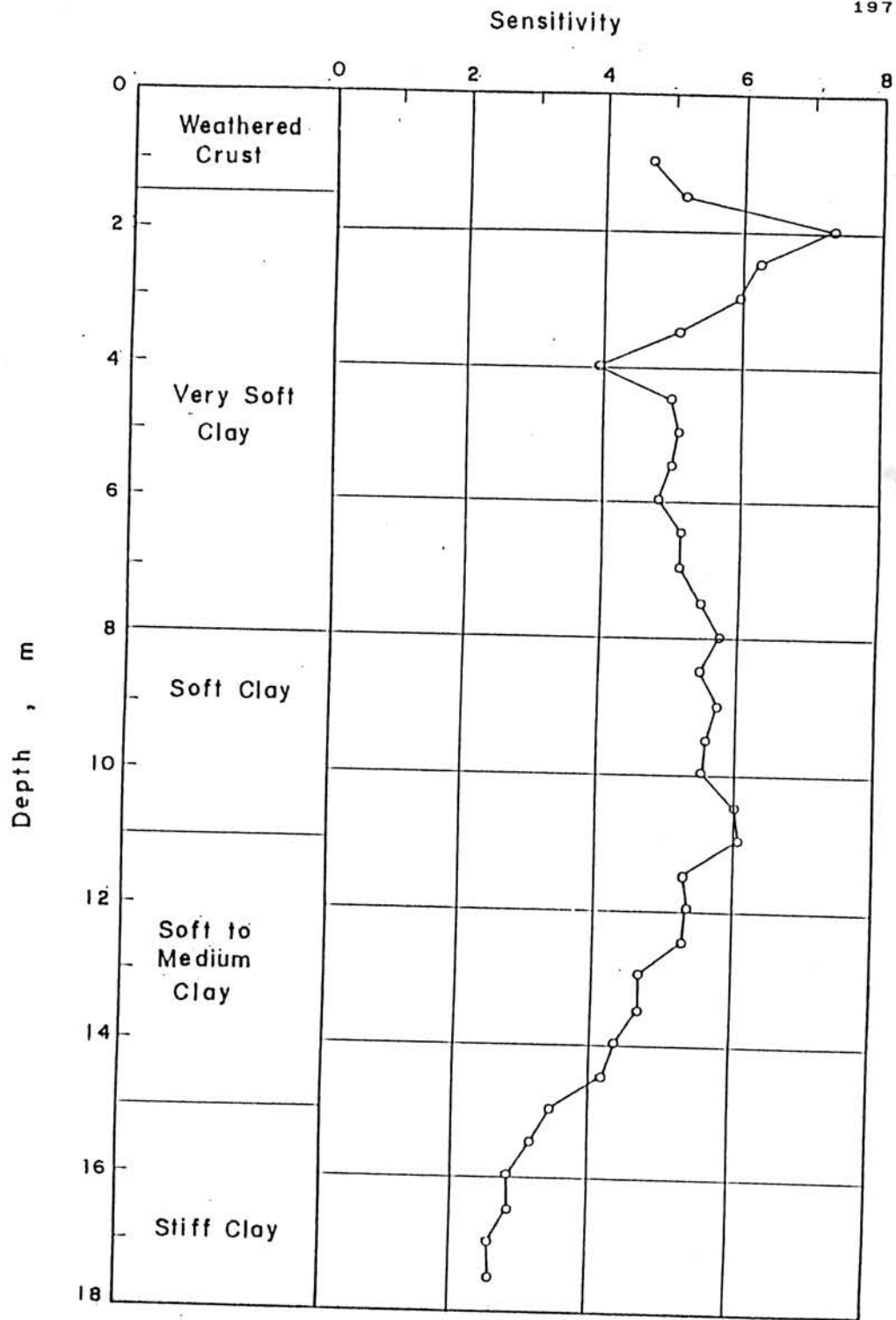
รูปที่ ข.13 (ค) ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 4 - 6 เมตร



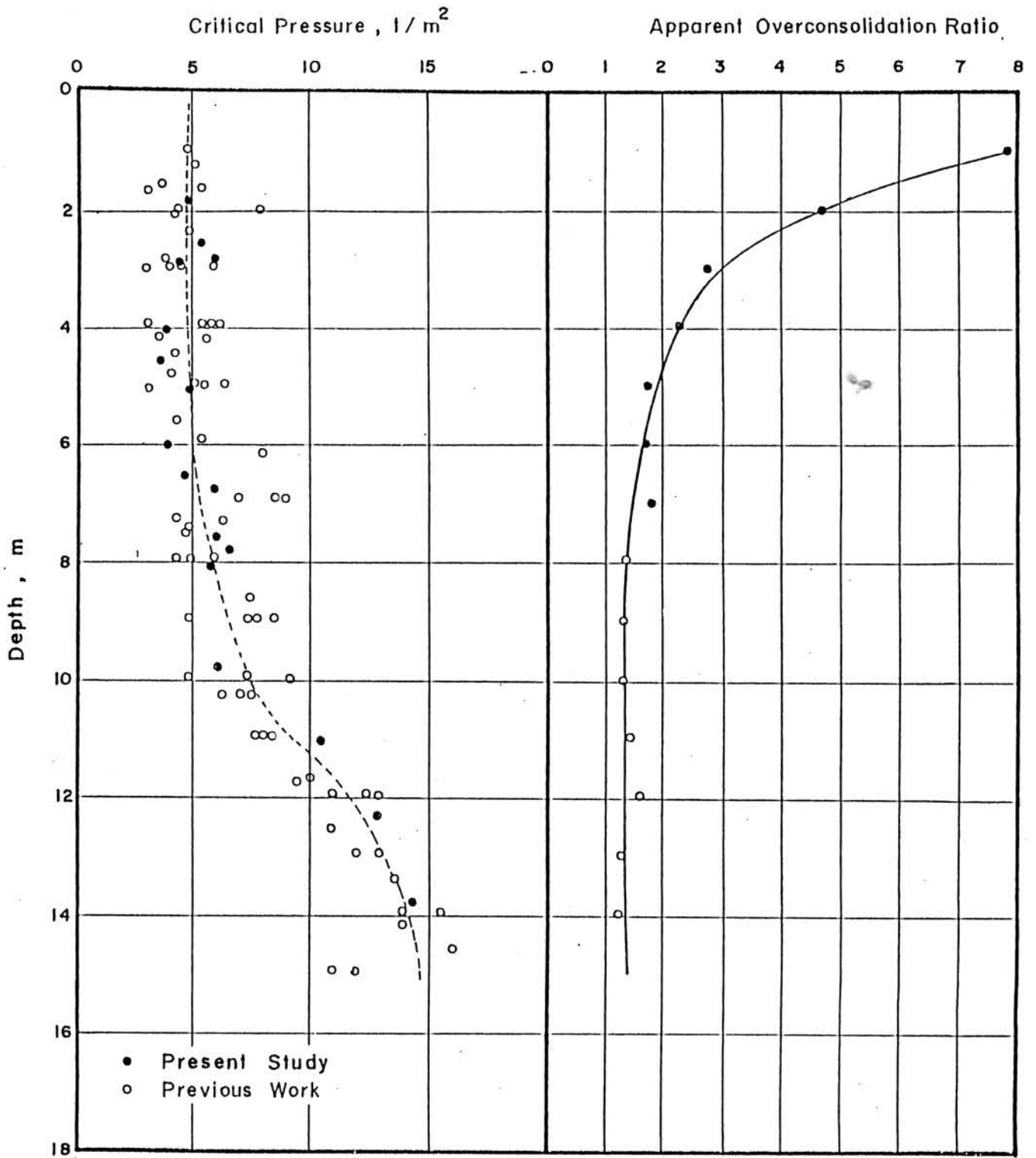
รูปที่ ข.13 (ง) ผลของการทดสอบด้วยเครื่องมือ Triaxial แบบ CIU และ CAU ของตัวอย่างดินที่ความลึก 6 - 8 เมตร



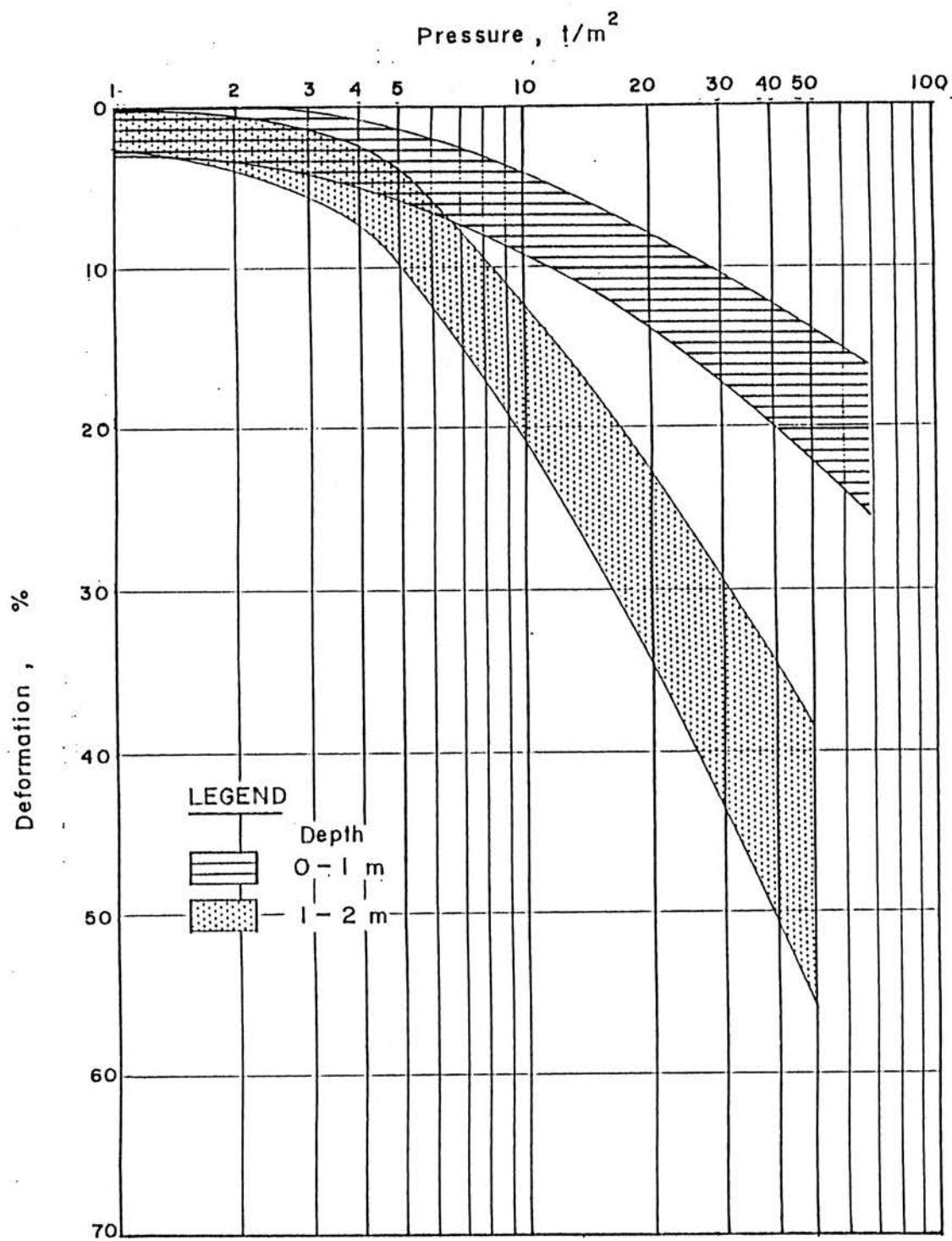
รูปที่ ข.14 สรุปลผลของกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบที่ระนยกบต่างๆ



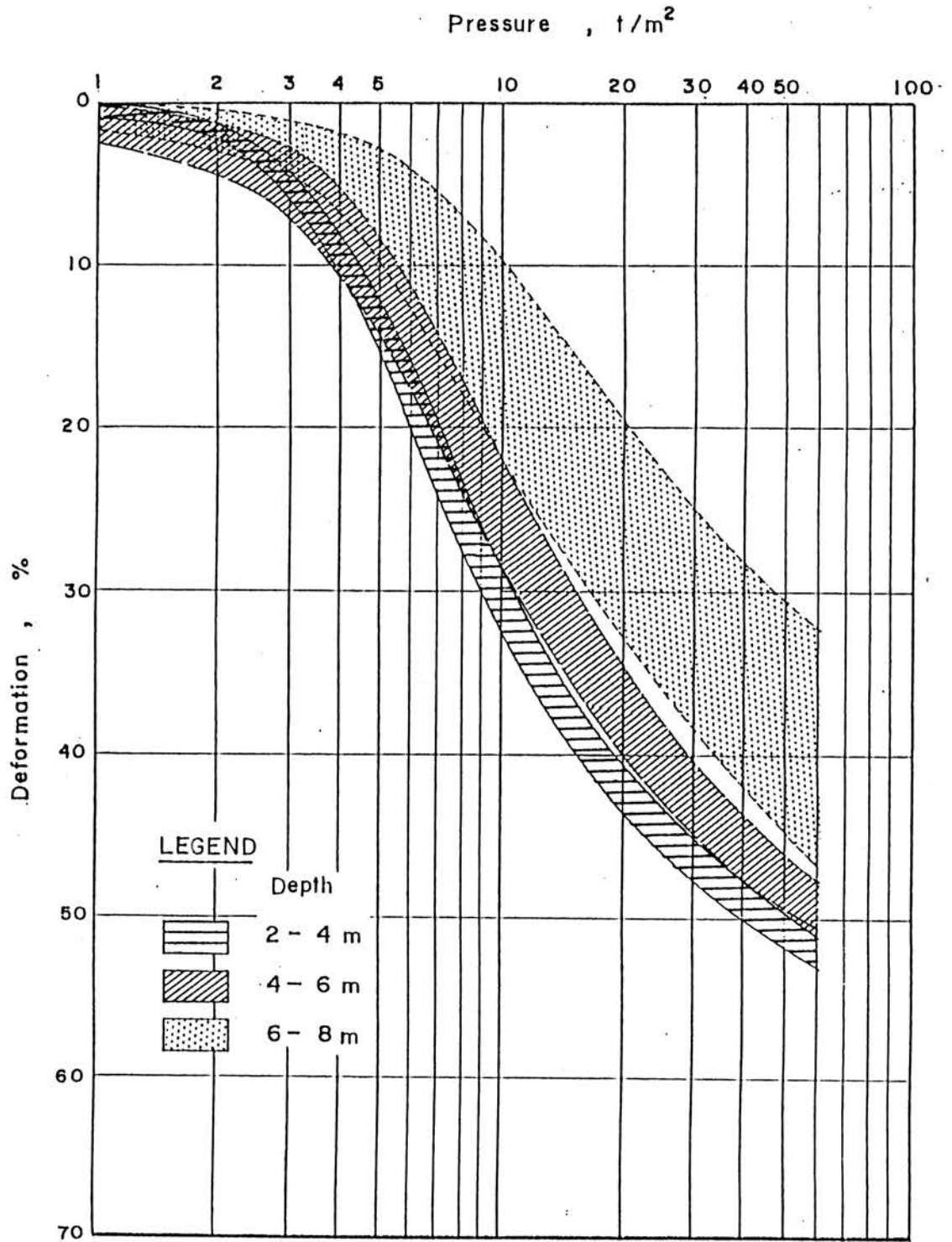
รูปที่ ข.15 ความไวของดินตามความลึก (Sensitivity)



รูปที่ ข.16 ความดันวิกฤติ (Critical Pressure) และอัตราส่วนของการยุบอัดตัวที่ปรากฏ (Apparent Overconsolidation Ratio) ตามความลึก

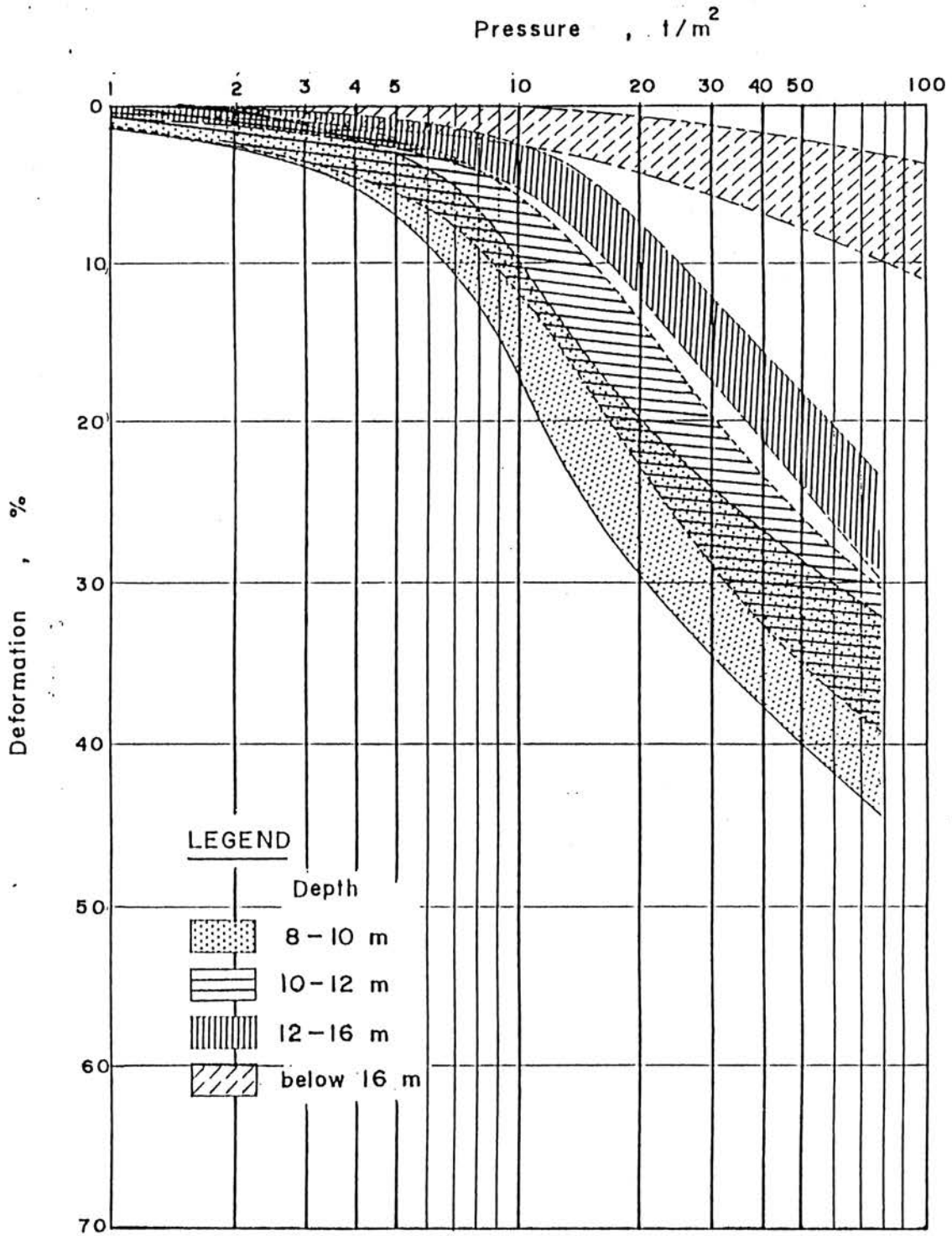


รูปที่ ข.17 (ก) ผลของการทดสอบการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ความลึก 0 - 1 เมตร และ 1 - 2 เมตร

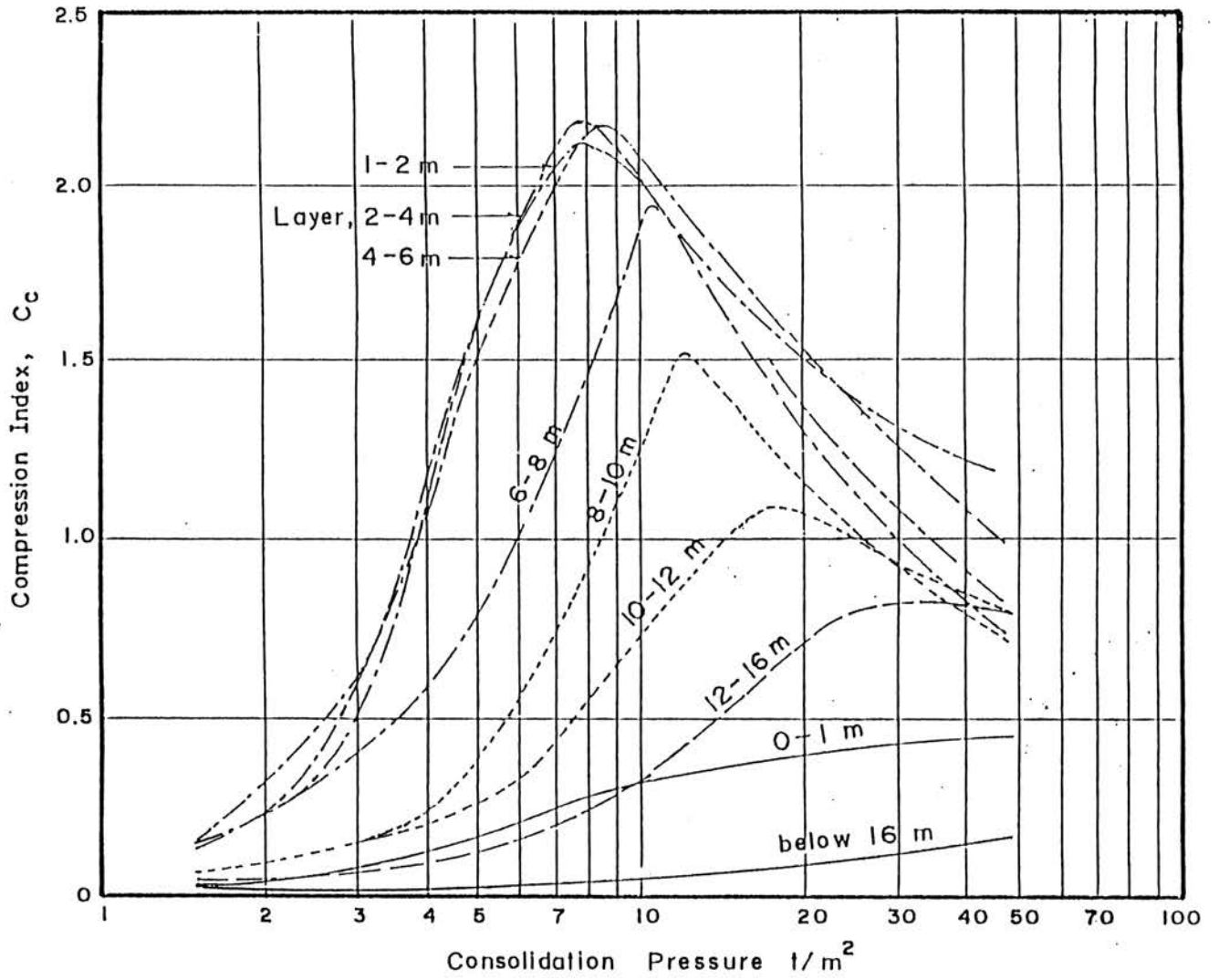


รูปที่ ข.17 (ข) ผลของการทดสอบการยุบตัวของชั้นดินที่ความลึก 2 - 4 เมตร, 4 - 6 เมตร และ 6 - 8 เมตร

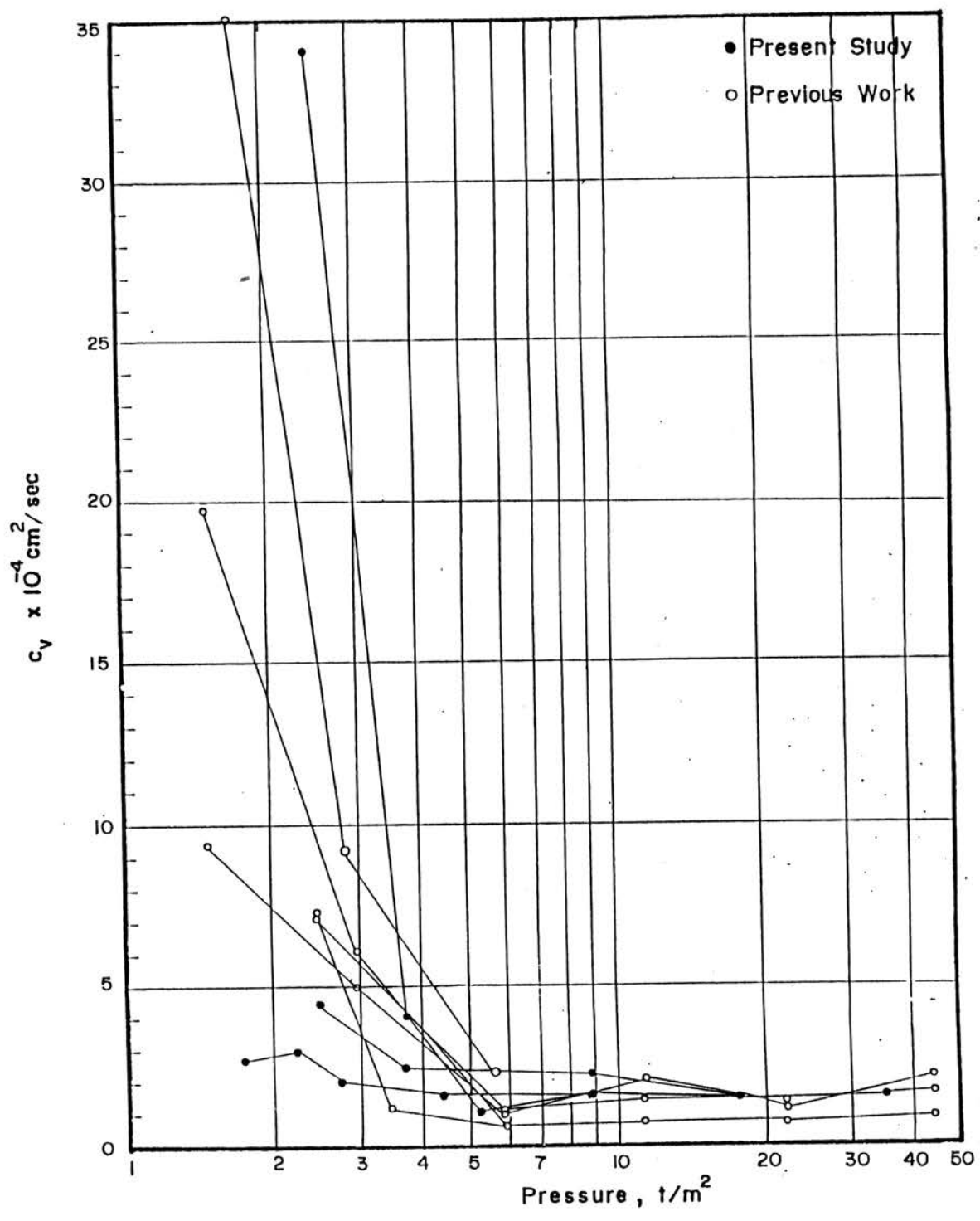




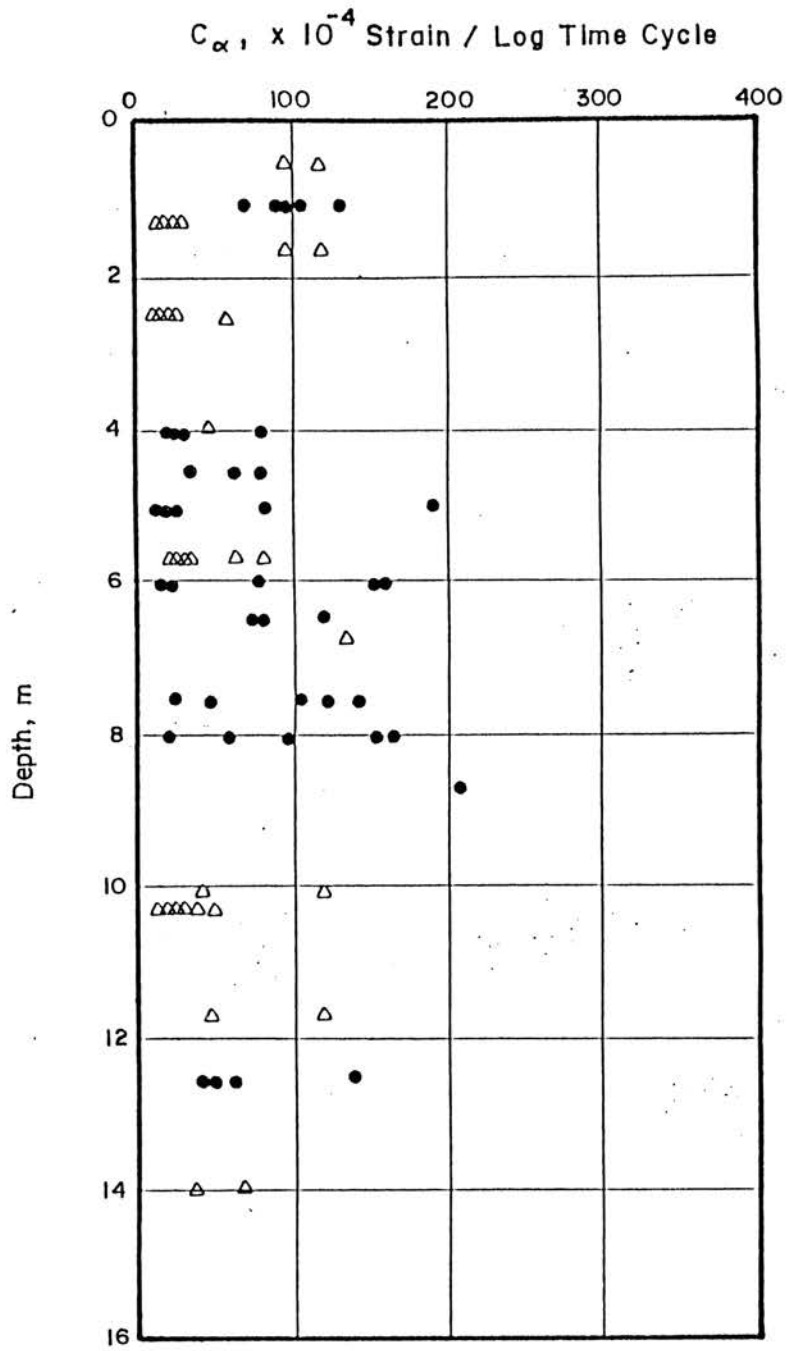
รูปที่ ข.17 (ค) ผลของการทดสอบการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ความลึก 8 - 10 เมตร, 10 - 12 เมตร, 12 - 16 เมตร และต่ำกว่า 16 เมตร



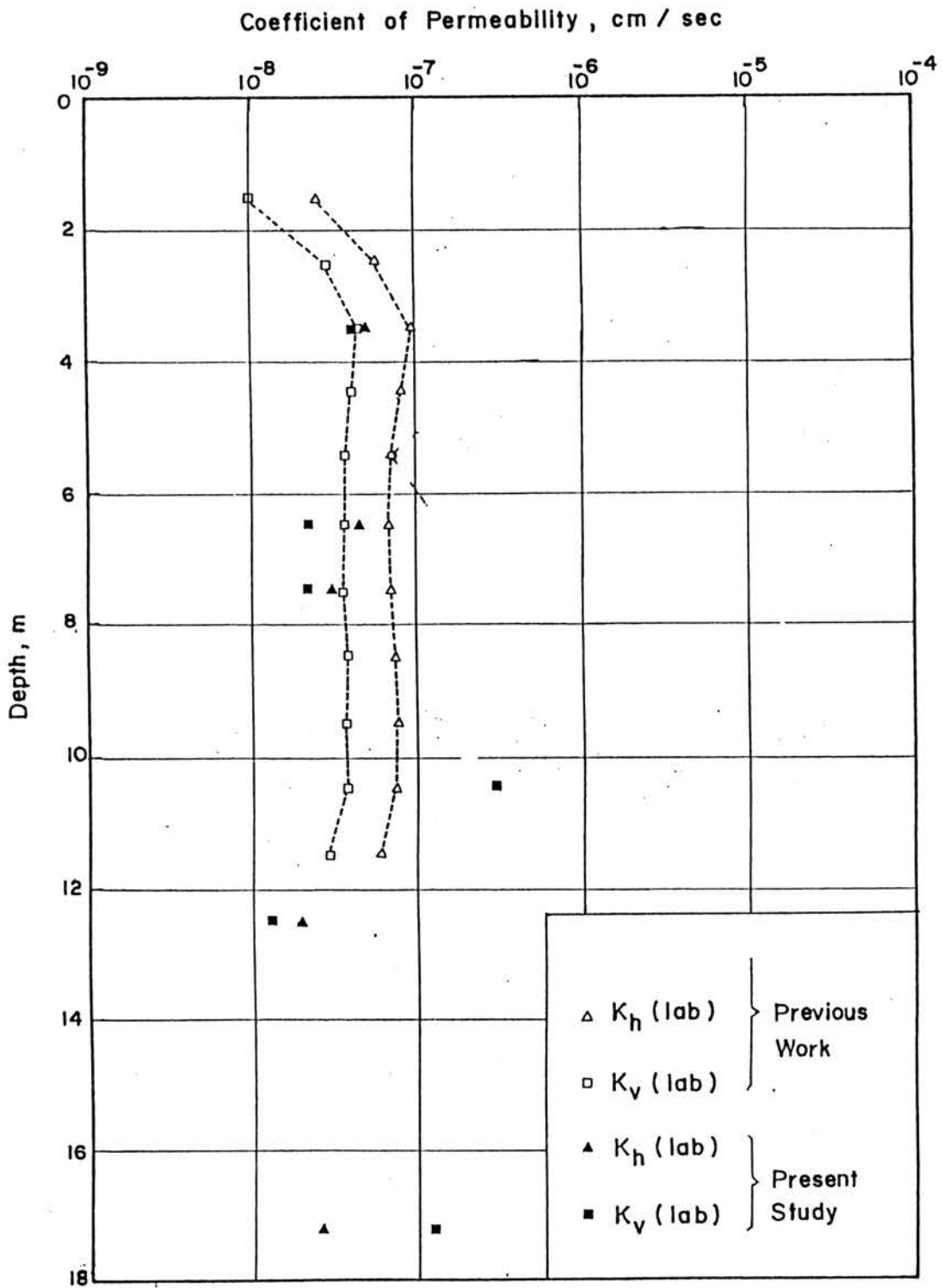
รูปที่ ข.18 สรุปค่าดัชนีการอัดตัว (Compression Index,  $C_c$ )  
ที่ชั้นดินที่ความลึกต่างๆ



รูปที่ ข.19 สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวที่ได้จากการทดสอบในแนวตั้ง และแนวราบ



รูปที่ ข.20 สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวทุติยภูมิตามความลึก  
(Coefficient of Secondary Compression)



รูปที่ ข.21 สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินที่ความลึกต่างๆ

ภาคผนวก ค.

ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดตั้งในแต่ละแปลงทดสอบ

ค.1 แปลงทดสอบที่ 1 - ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดตั้งในแปลงทดสอบนี้ สามารถแสดงออกมาดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ ค.1 - แสดงถึงปริมาณของน้ำที่สามารถสูบออกมาได้ในระหว่างการทดสอบ

รูปที่ ค.2 และ ค.3 - แสดงผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์และแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน

รูปที่ ค.4 - แสดงถึงการทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile

รูปที่ ค.5 - แสดงถึงการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement) วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์

รูปที่ ค.6 - แสดงถึงผลที่พิโซมิเตอร์วัดความดันน้ำในโพรงของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ได้

ค.2 แปลงทดสอบที่ 2 - ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดตั้งในแปลงทดสอบนี้สามารถแสดงออกมาดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ ค.7 และ ค.8 - แสดงผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์และแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน

รูปที่ ค.9 - แสดงถึงการทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile

รูปที่ ค.10 - แสดงถึงการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement) วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์

รูปที่ ค.11 - แสดงถึงผลที่พิโซมิเตอร์วัดความดันน้ำในโพรงของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ได้

ค.3 แปลงทดสอบที่ 3 - ผลที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดตั้งในแปลงทดสอบนี้สามารถแสดงออกมา ดังรูปต่อไปนี้

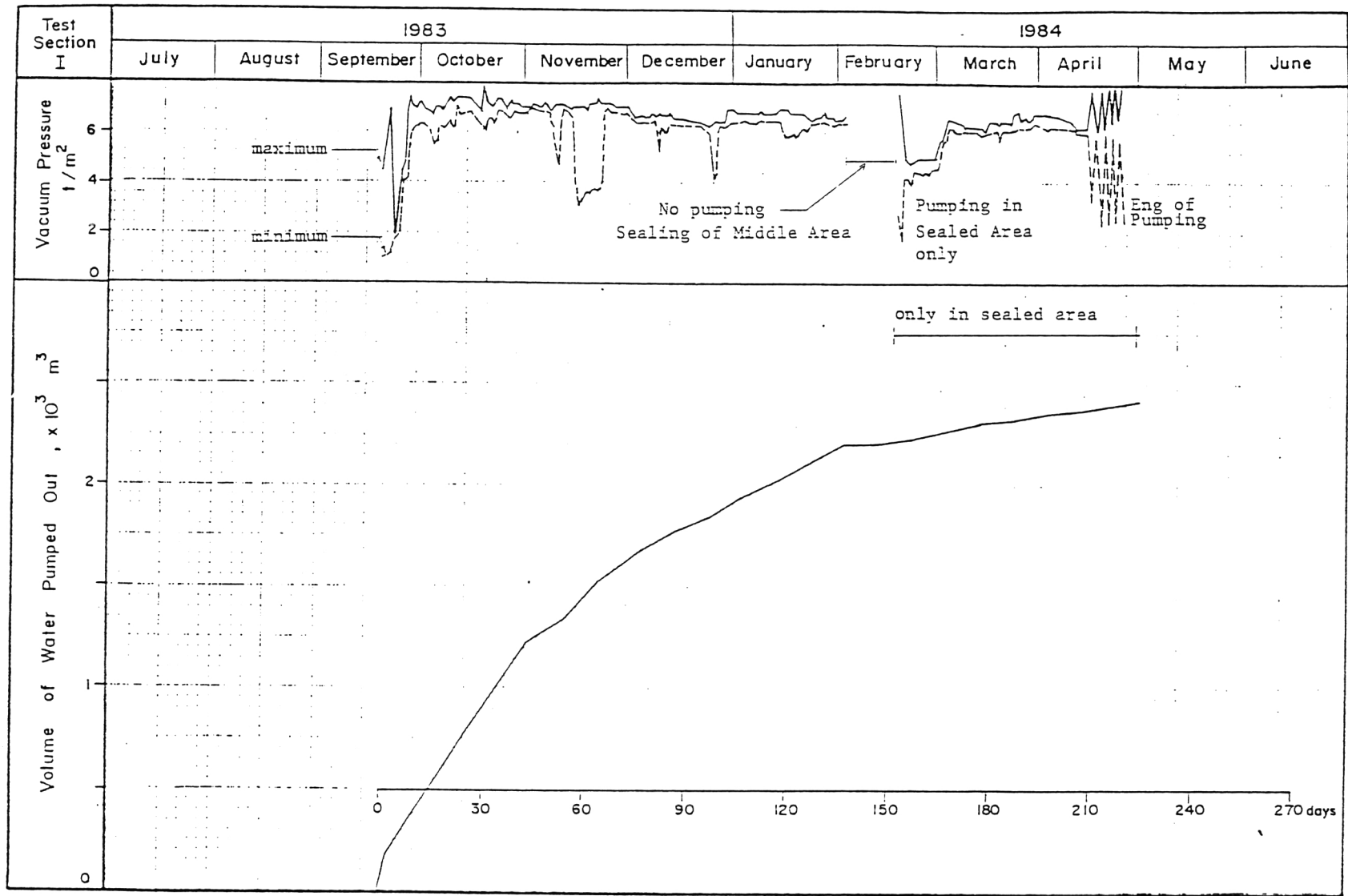
รูปที่ ค.12 - แสดงถึงปริมาณของน้ำที่สามารถสูบออกมาได้

รูปที่ ค.13 และ ค.14 - แสดงผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอน เด็กซ์และแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน

รูปที่ ค.15 - แสดงถึงการทรุดตัวแบบขวาง (Profile) จากการวัดของเครื่องมือ Hydrostatic Profile

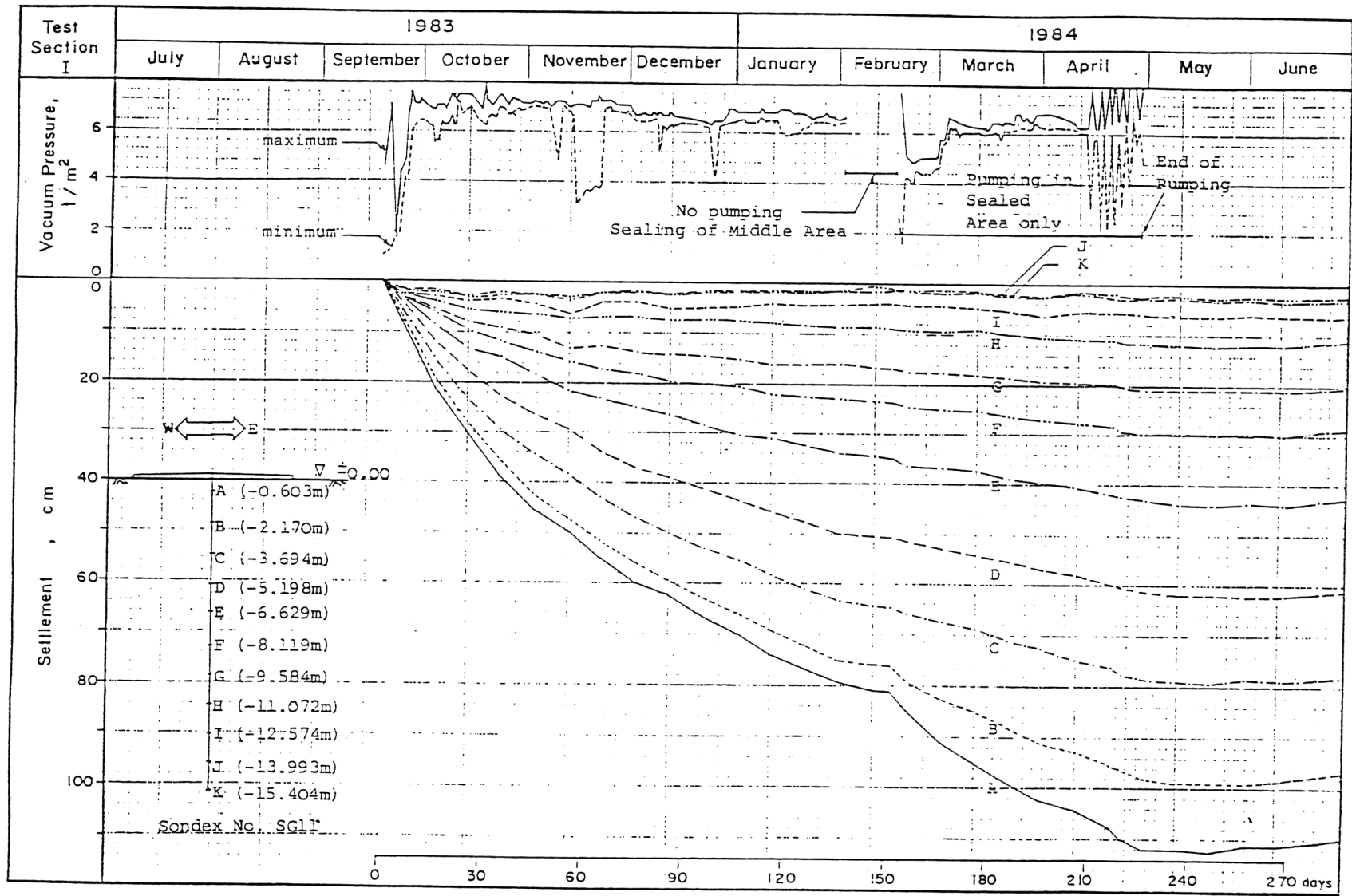
รูปที่ ค.16 - แสดงถึงผลที่พิโซมิเตอร์วัดความดันน้ำในโพรงของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ค.4 พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area) - จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดินและพิโซมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ ผลที่ได้แสดงออกมาในรูปที่ ค.17 และ ค.18

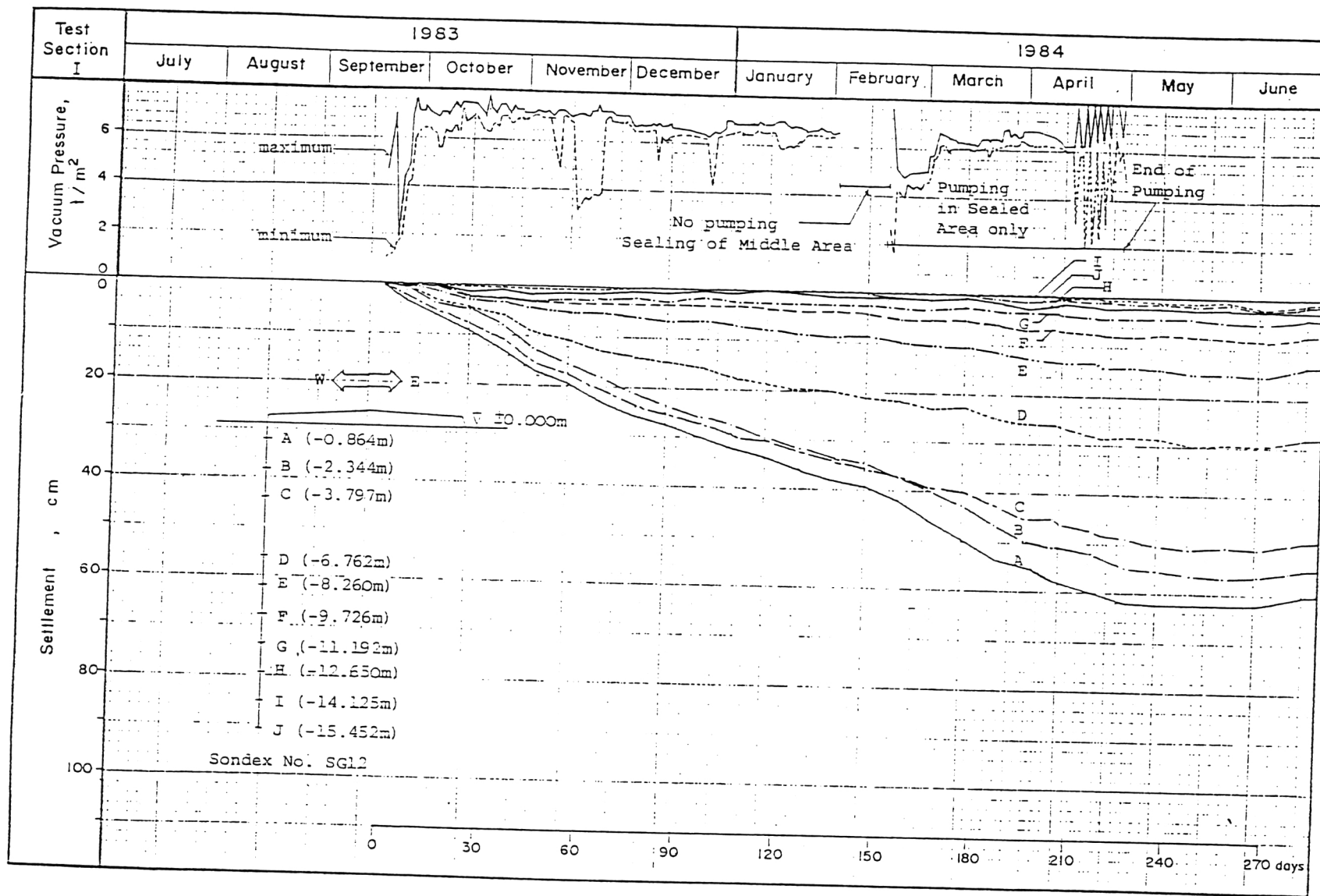


รูปที่ ค.1 ปริมาณน้ำที่สูบได้ระหว่างการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 1

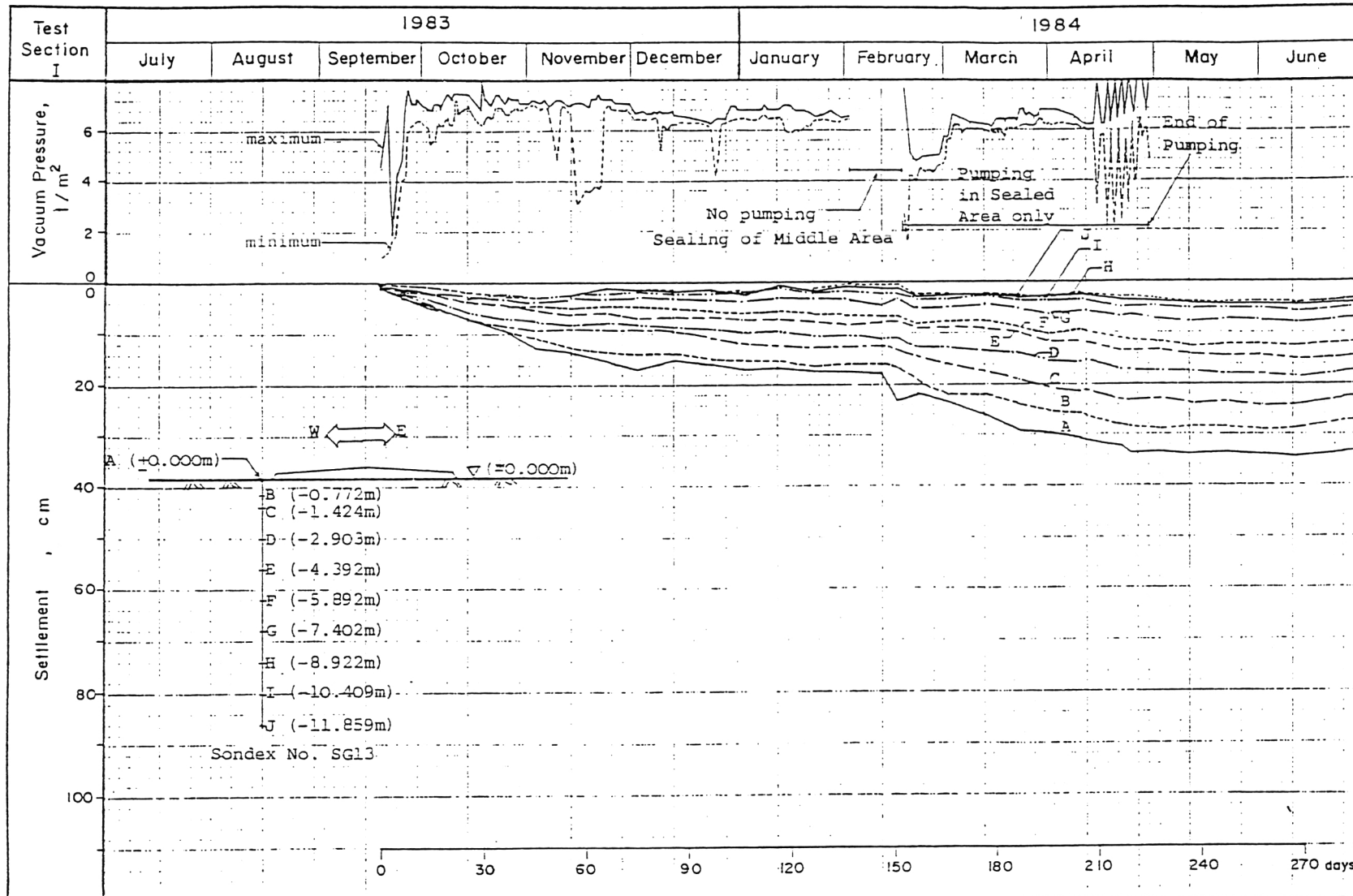




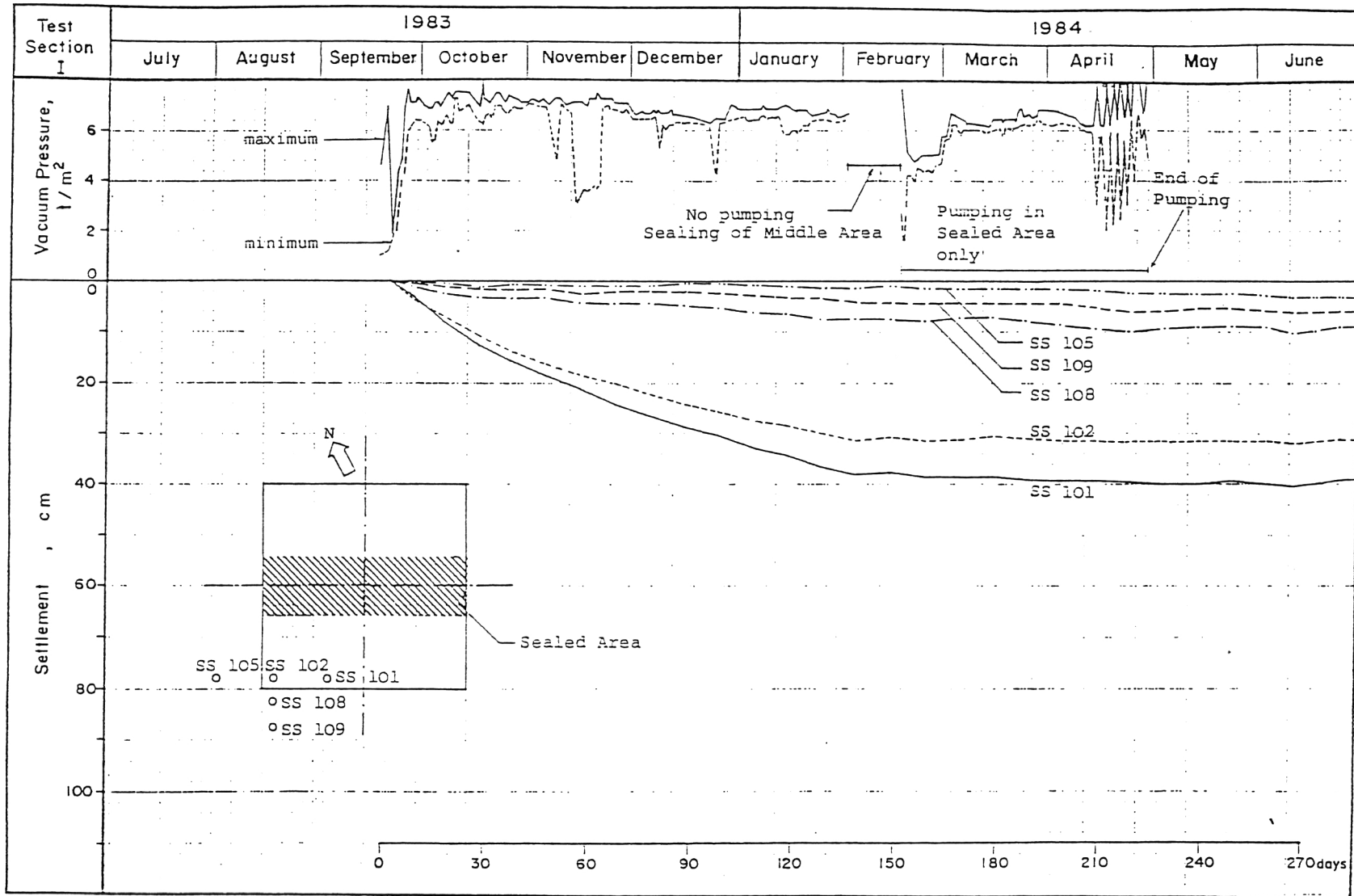
รูปที่ ค.2 (ก) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 1



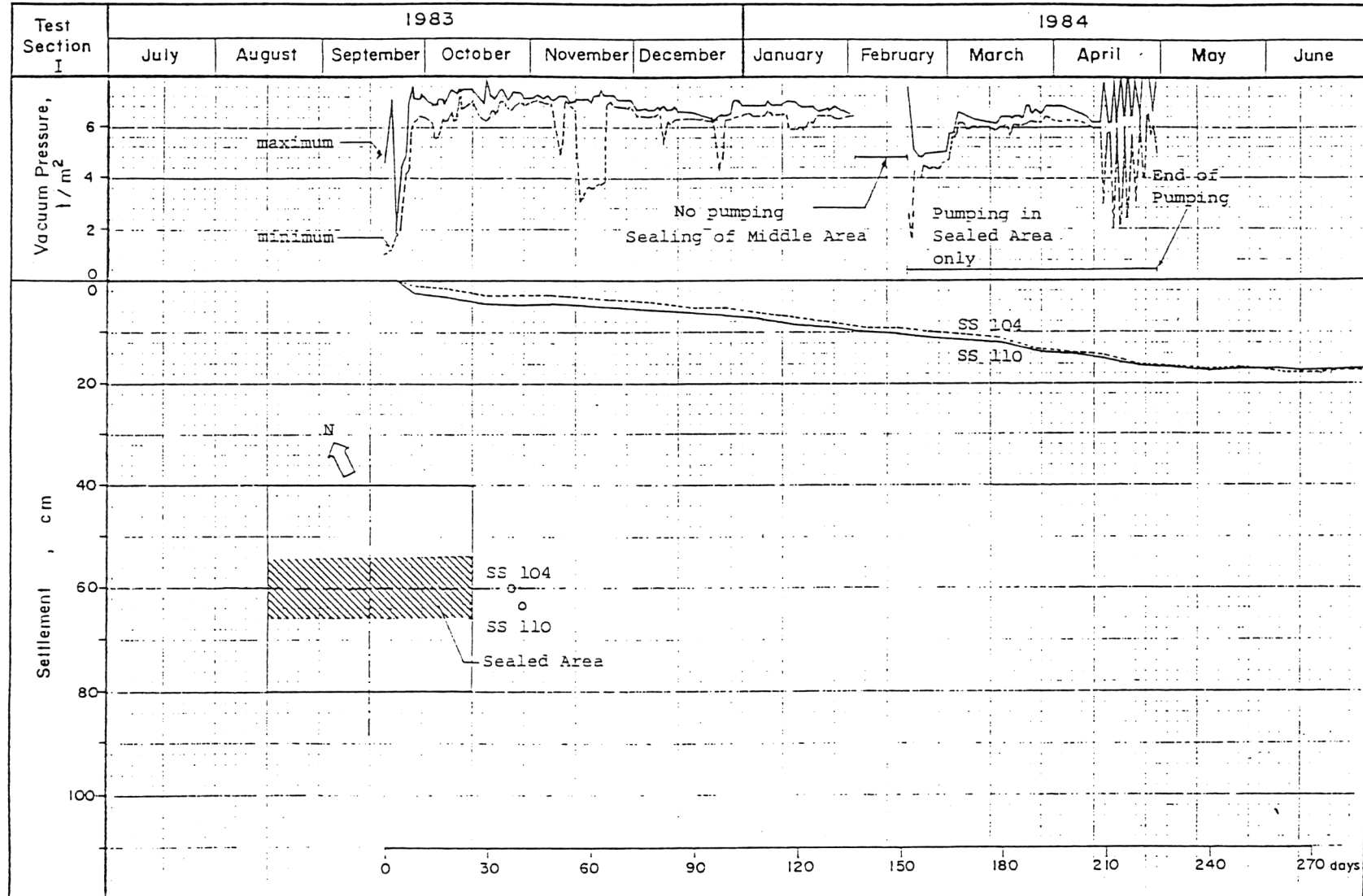
รูปที่ ค.2 (ข) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 1



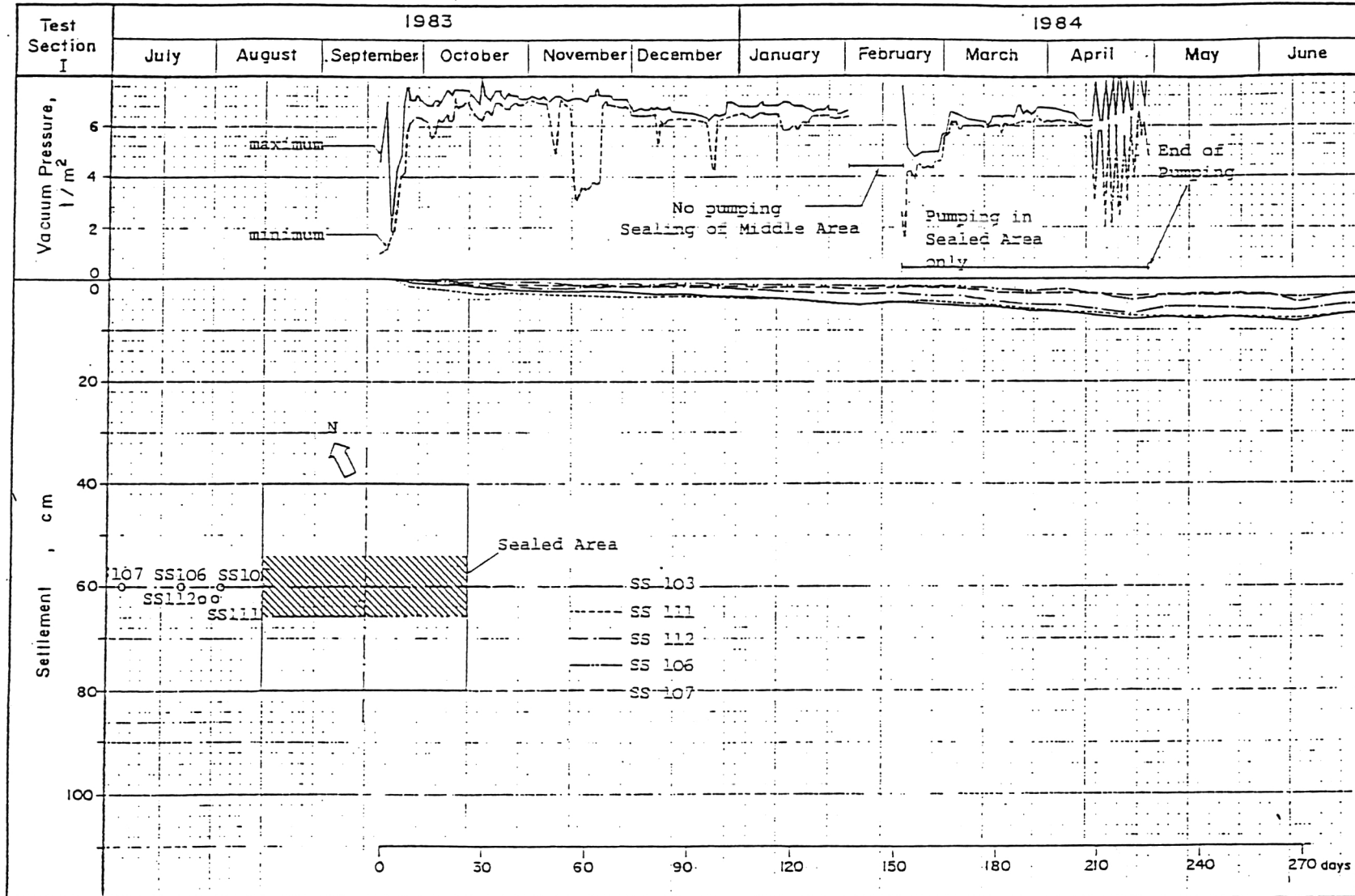
รูปที่ ค.2(ค) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 1



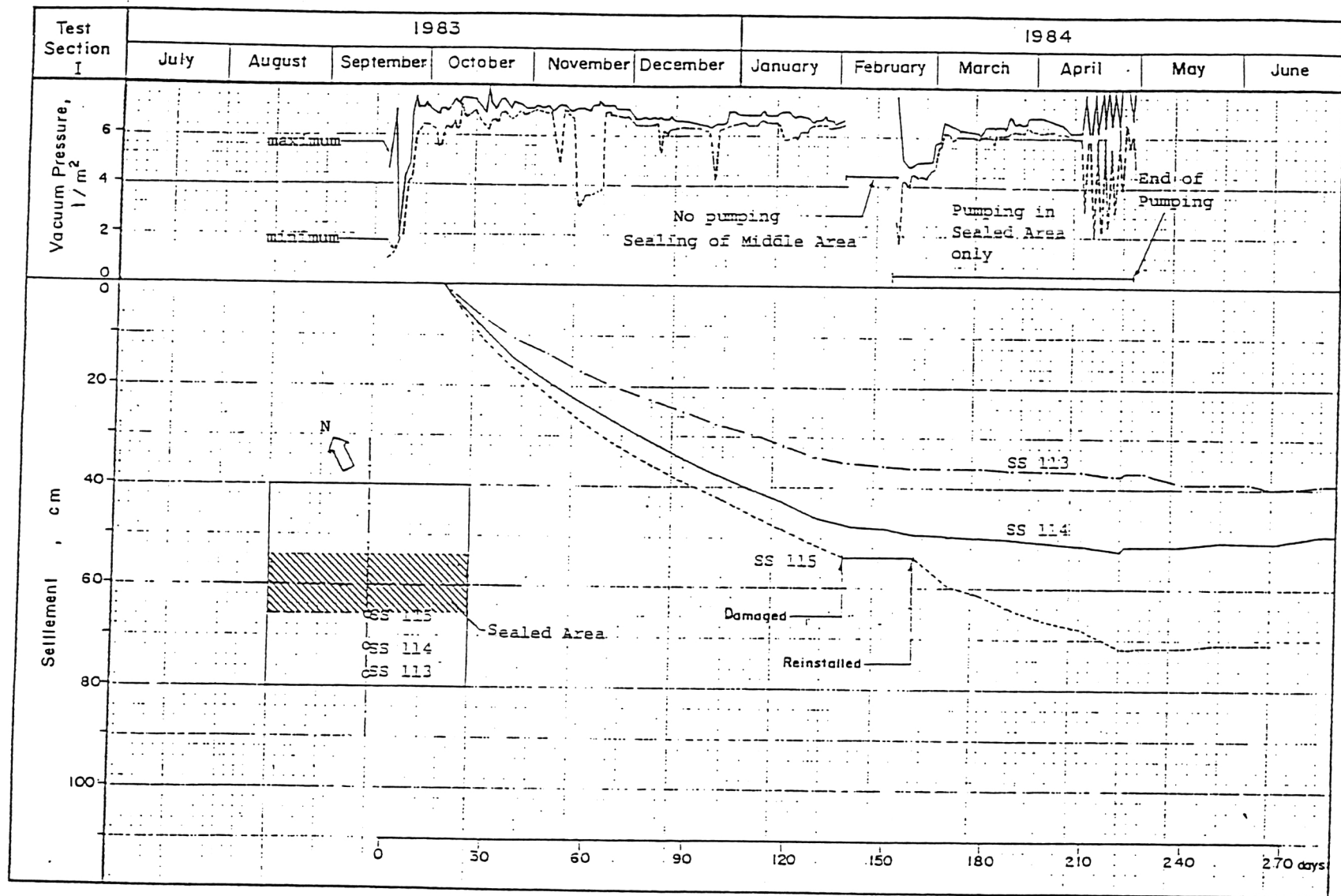
รูปที่ ค.3 (ก) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผนวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 1



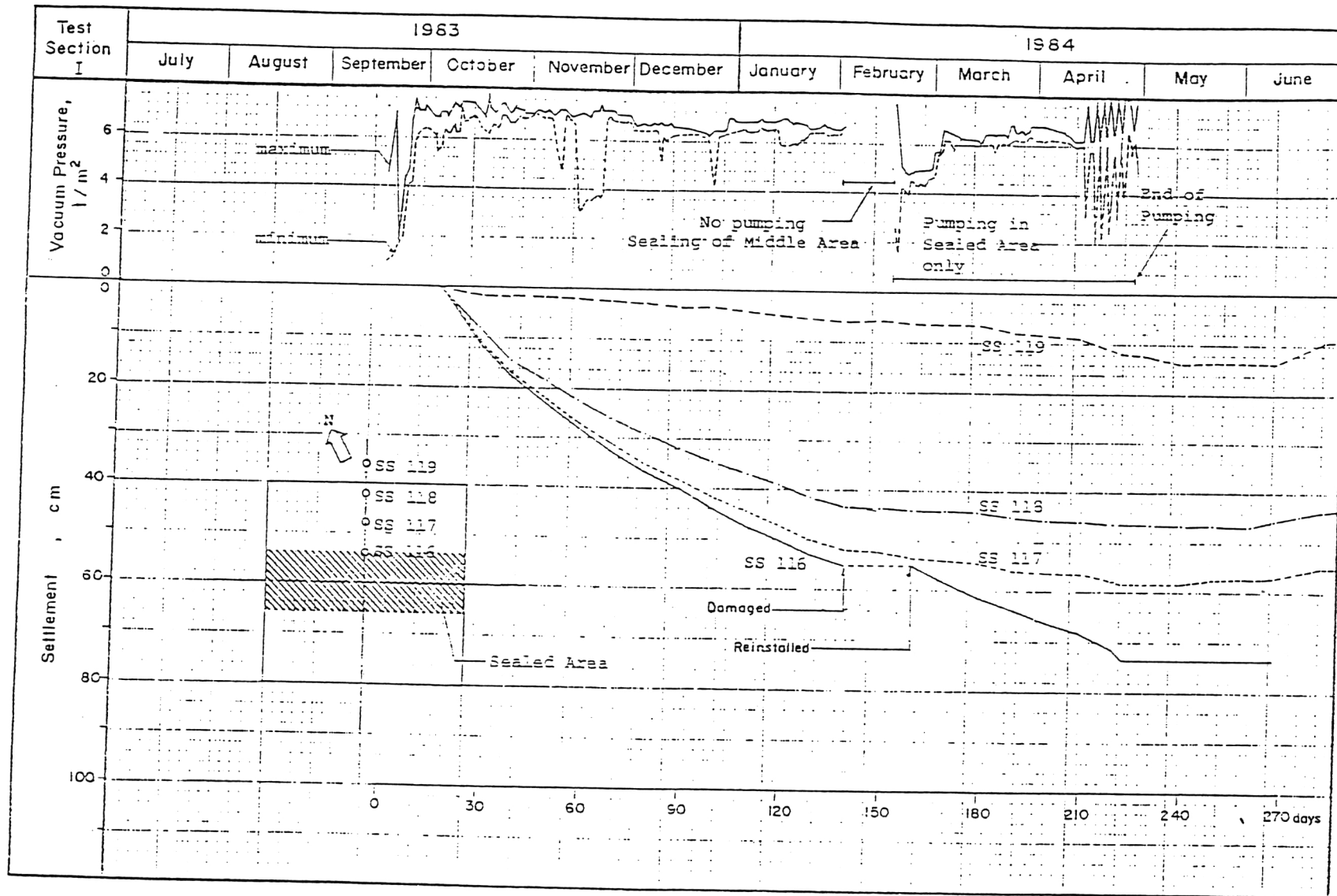
รูปที่ ค.3 (ข) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 1



รูปที่ ค.3 (ค) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผนวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 1

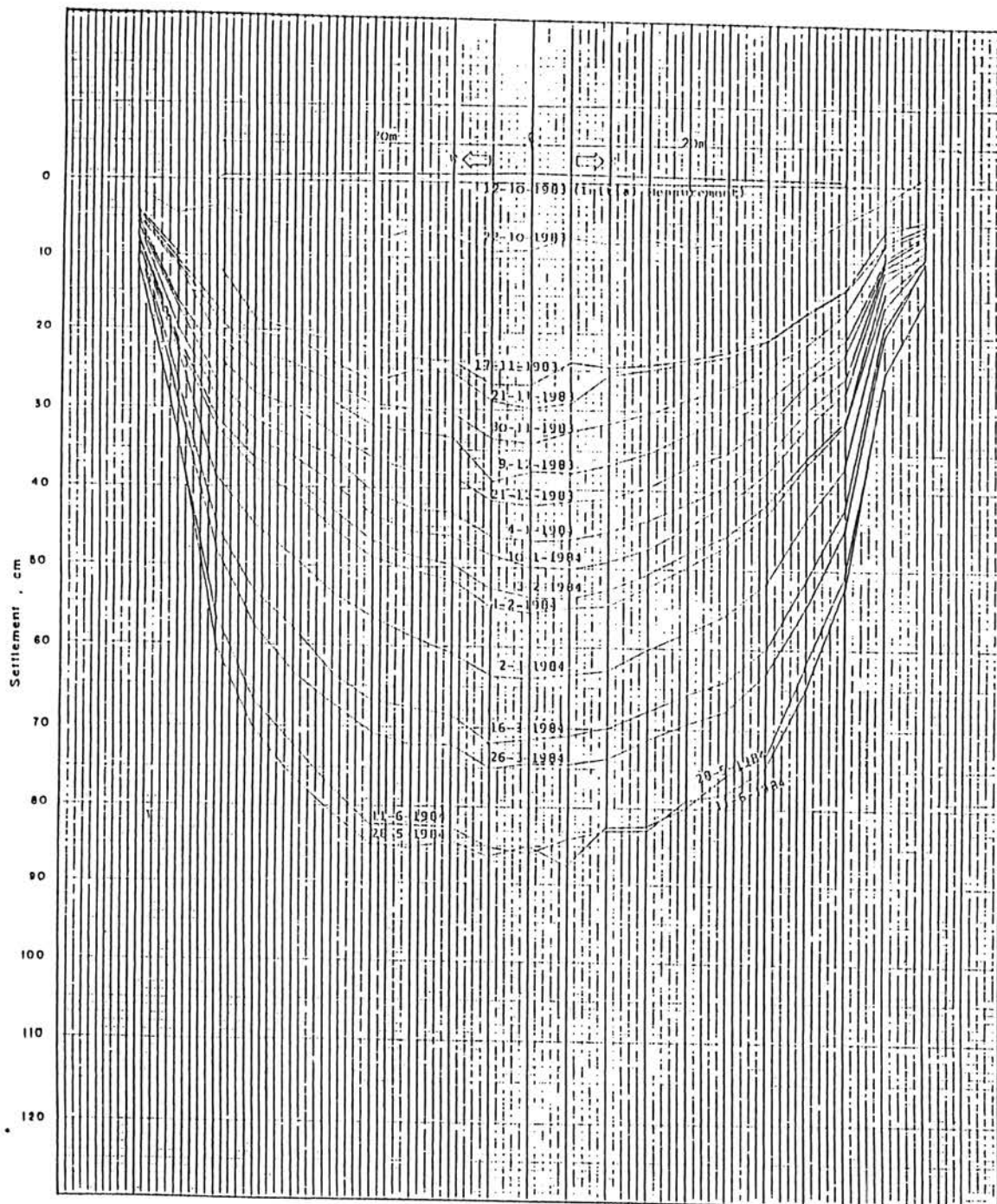


รูปที่ ค.3 (ง) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 1

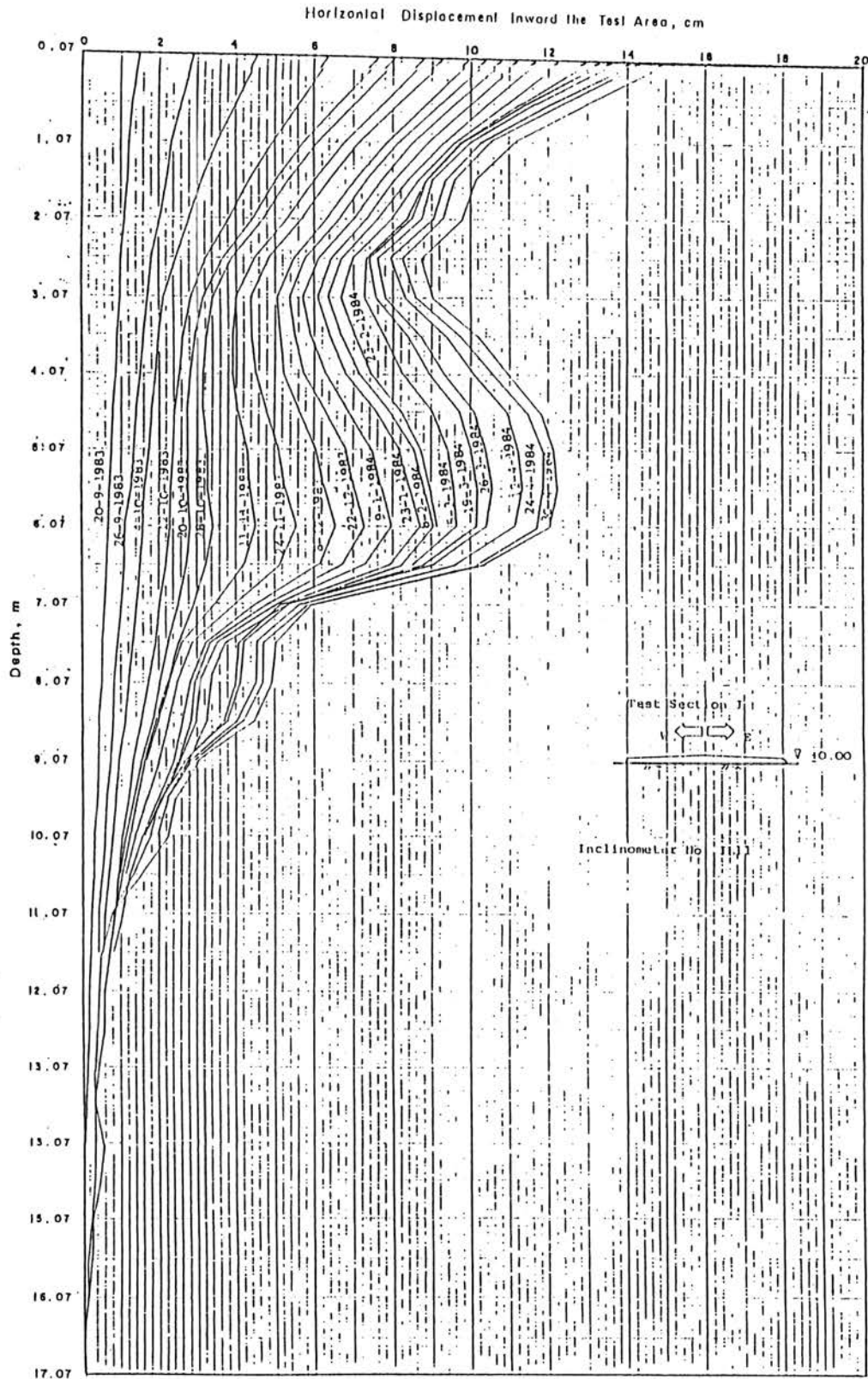


รูปที่ ค.3 (จ) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 1

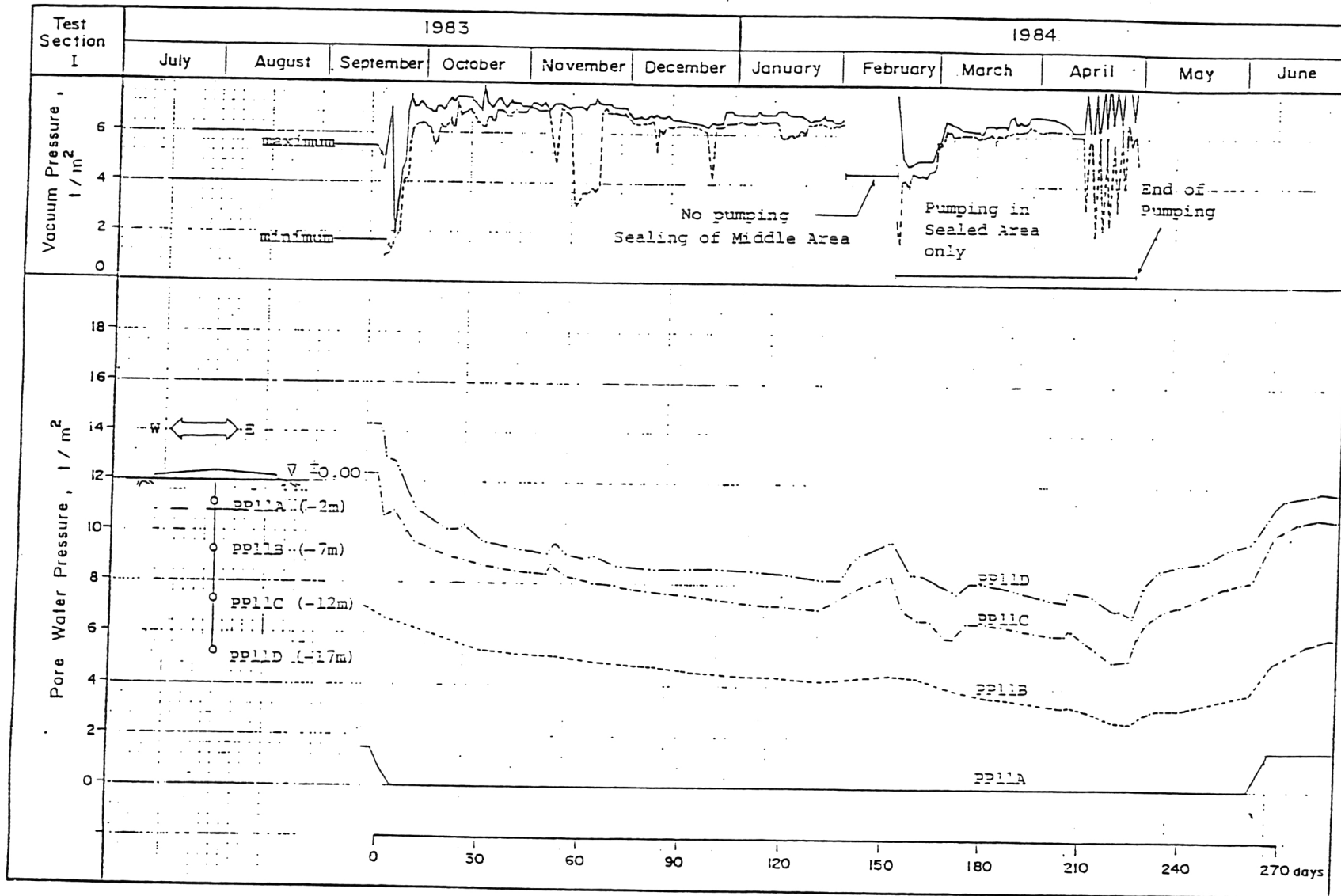




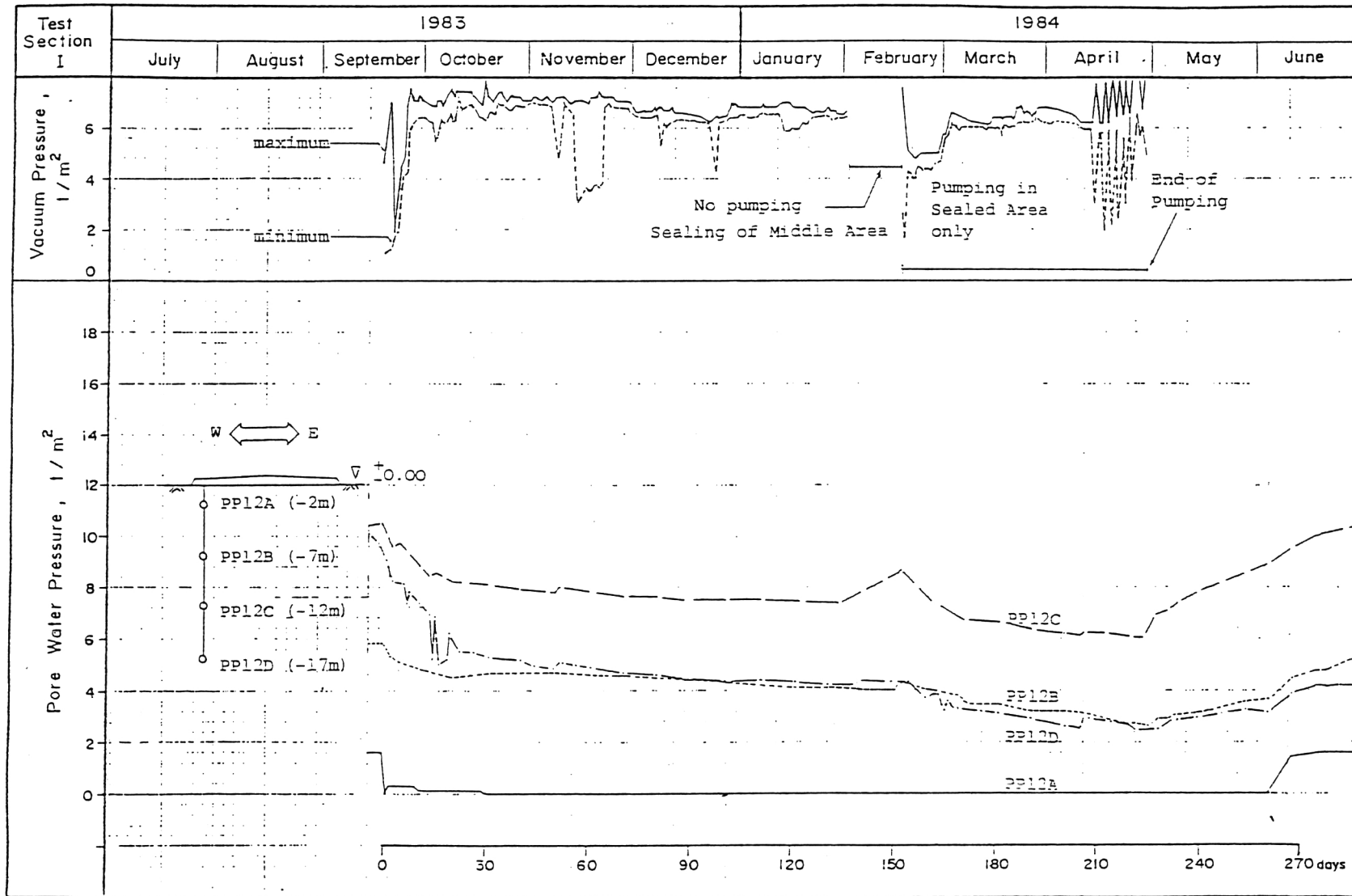
รูปที่ ค.4 การทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของ  
เครื่องมือ Hydrosttic Profile Gauge



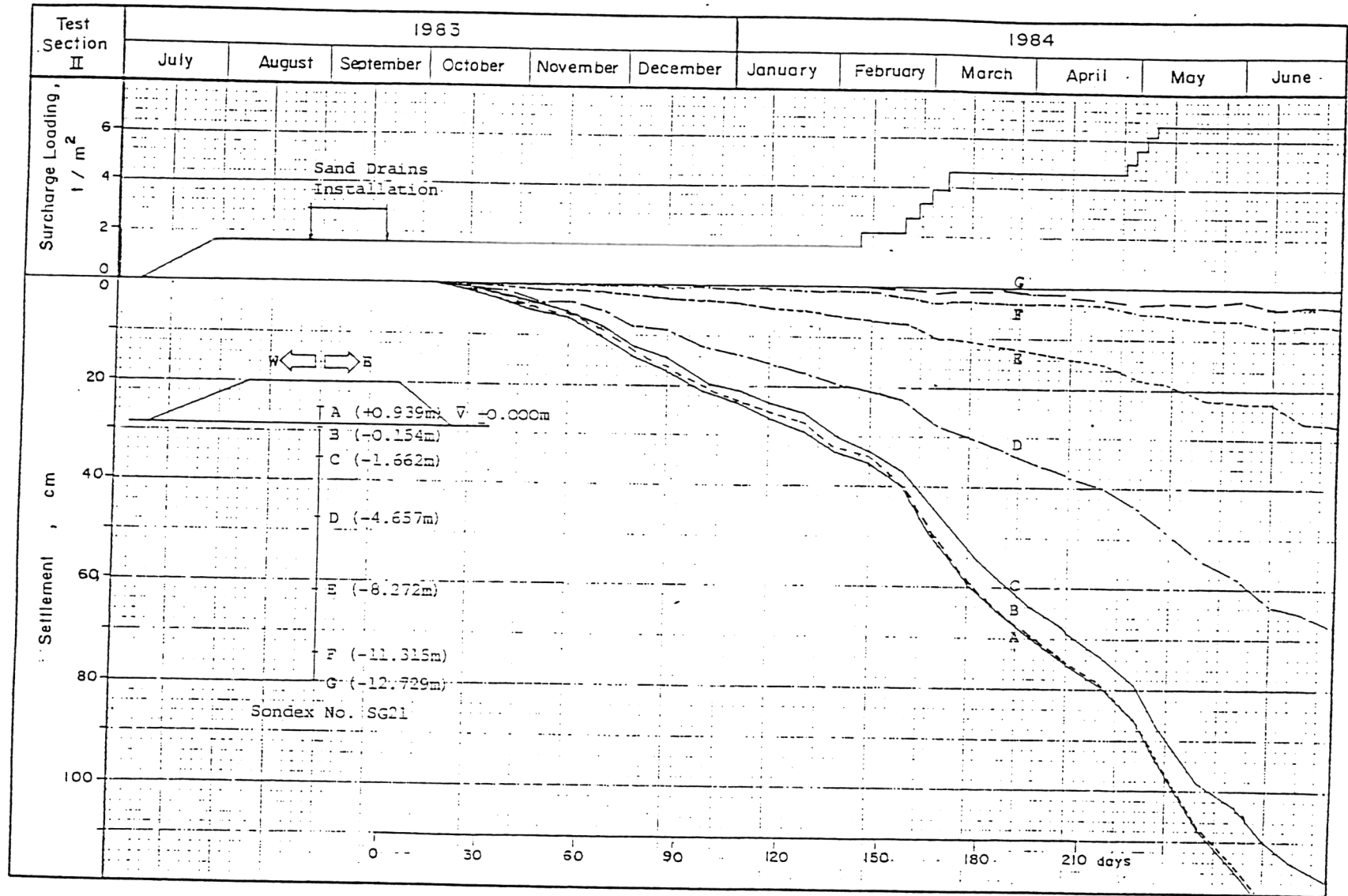
รูปที่ ค.5 การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement)  
วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์



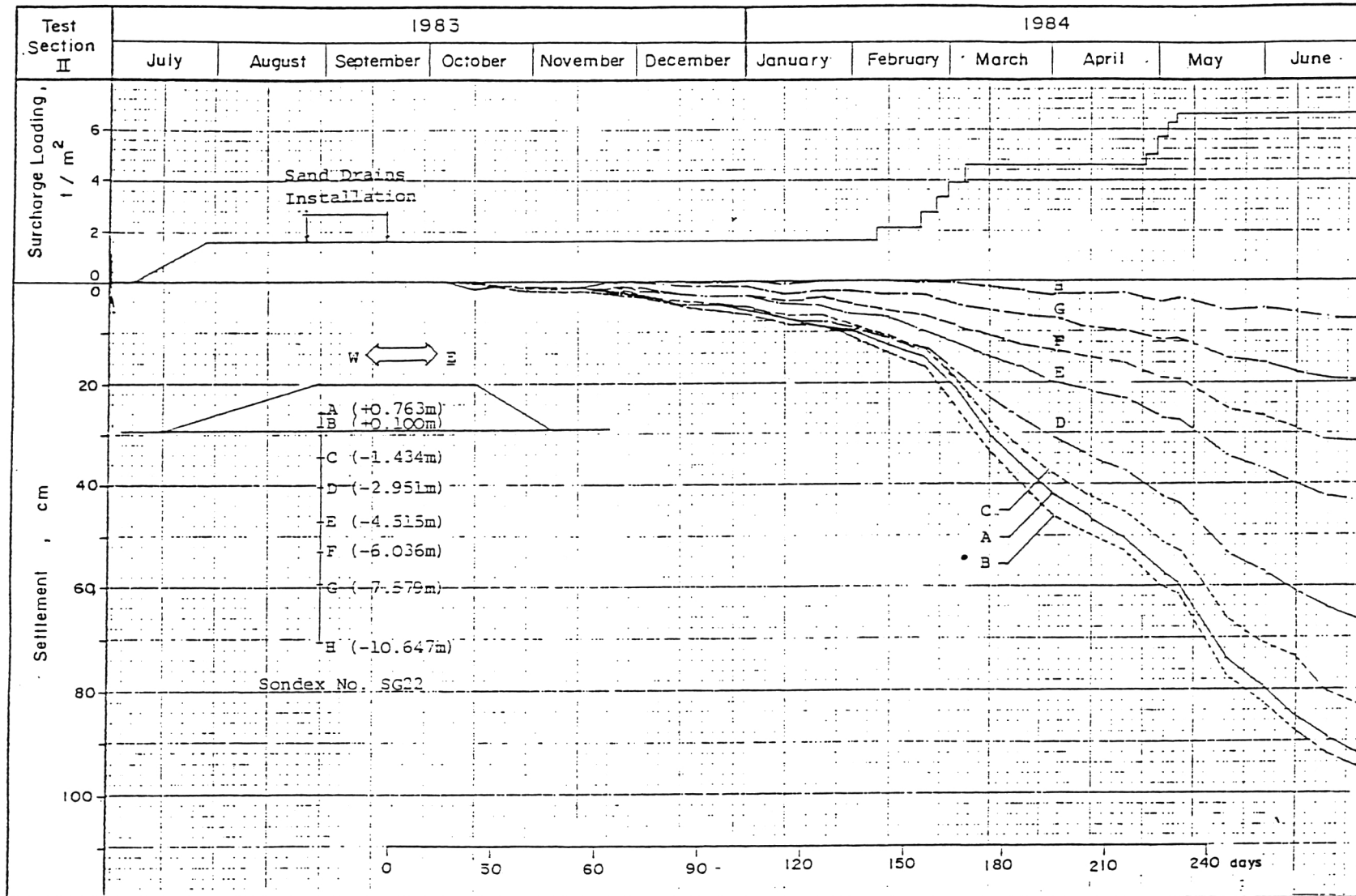
รูปที่ ค.๖(ก).ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer



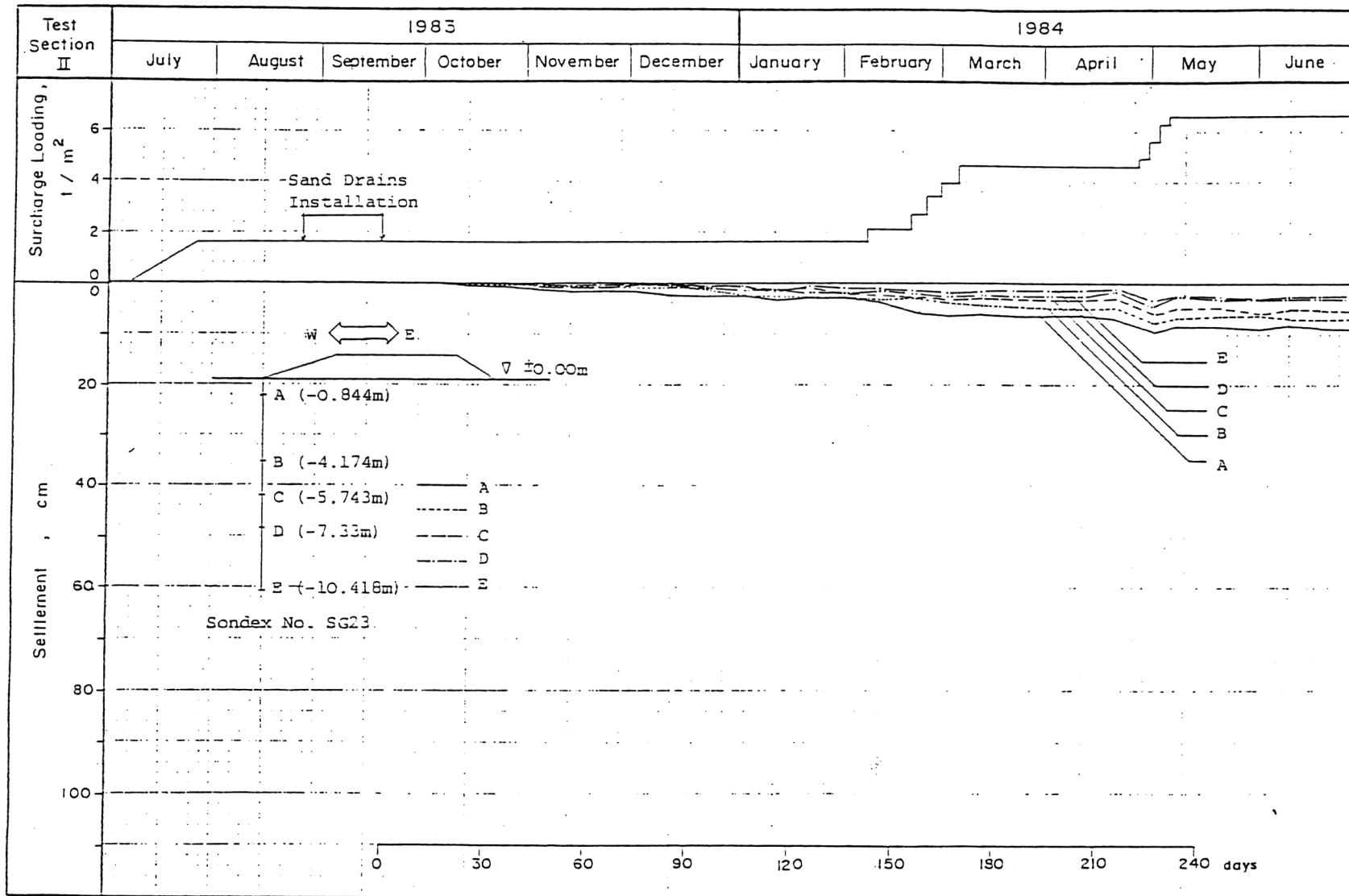
รูปที่ ค.๖(ข) ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer



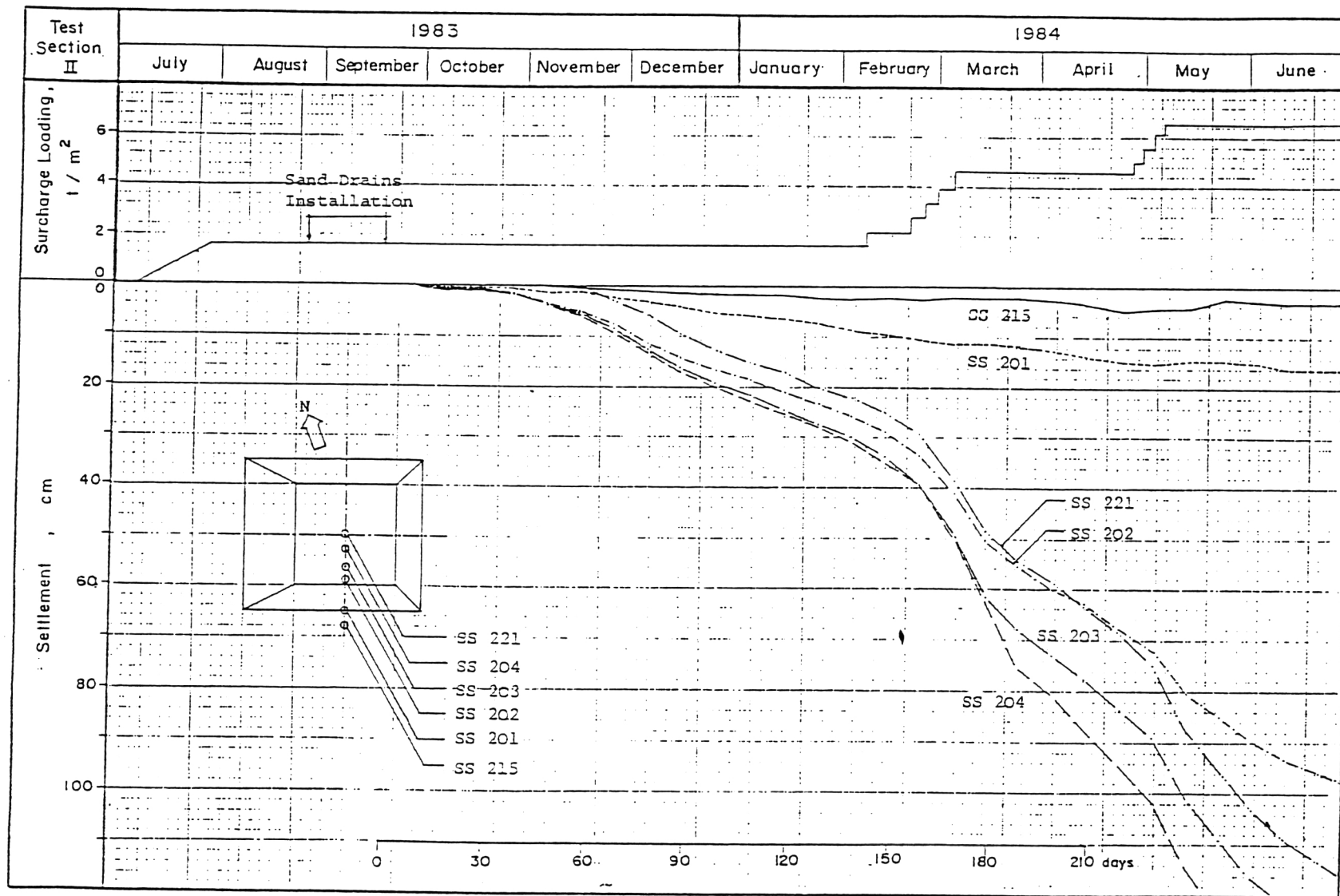
รูปที่ ค.7 (ก) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 2



รูปที่ ค.7 (ข) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 2

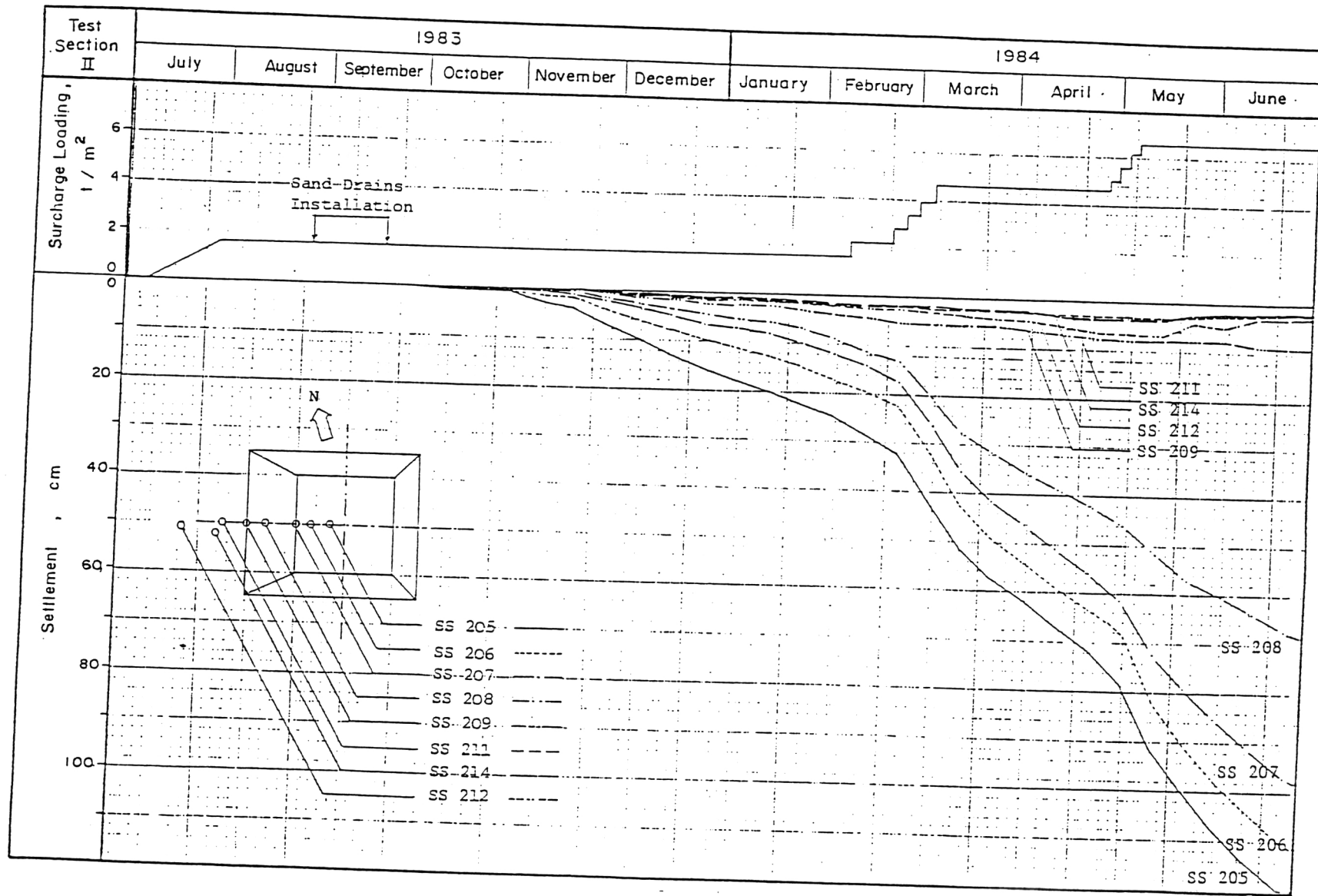


รูปที่ ค.7 (ค) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องมือวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 2

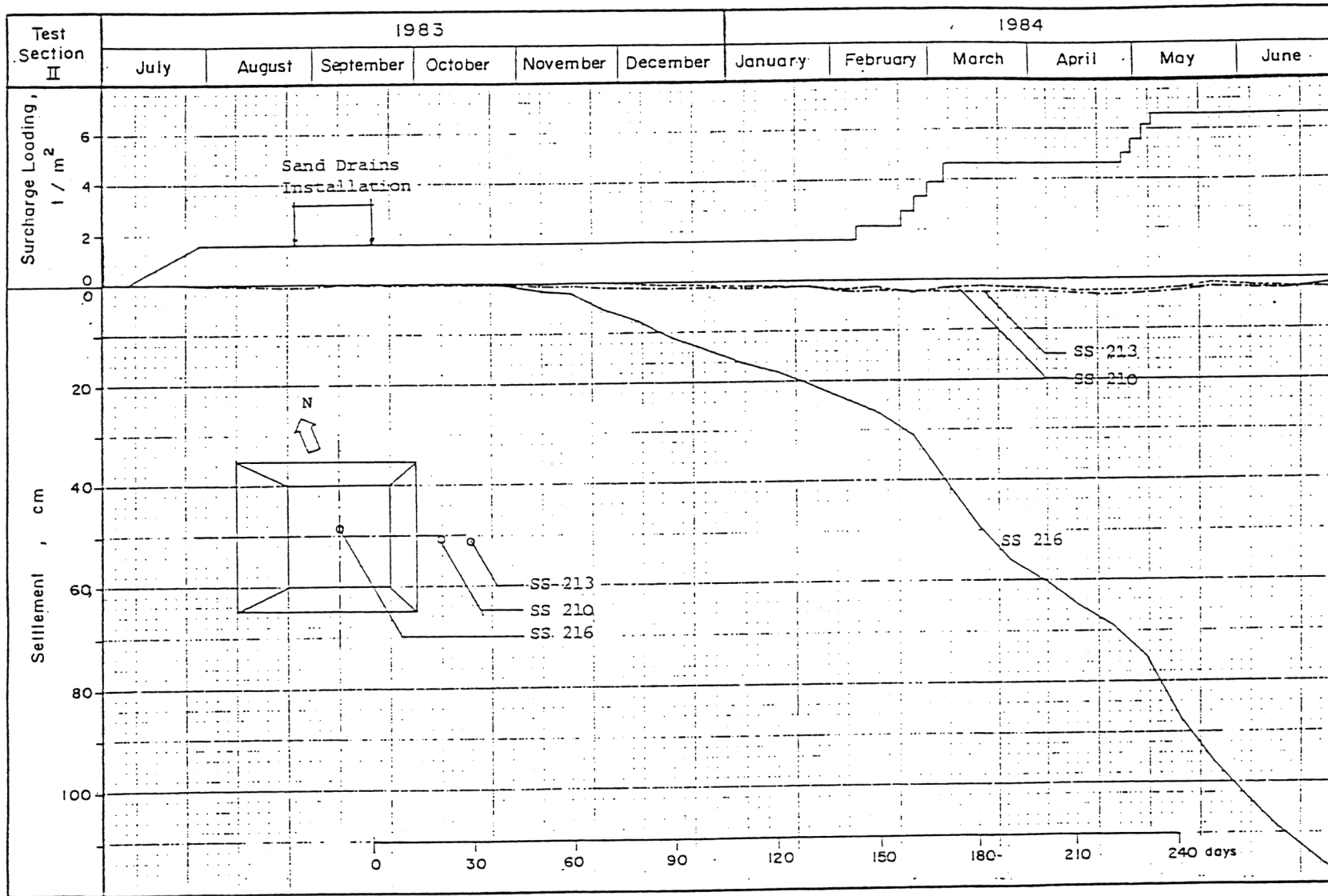


รูปที่ ค.8 (ก) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผนวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 2

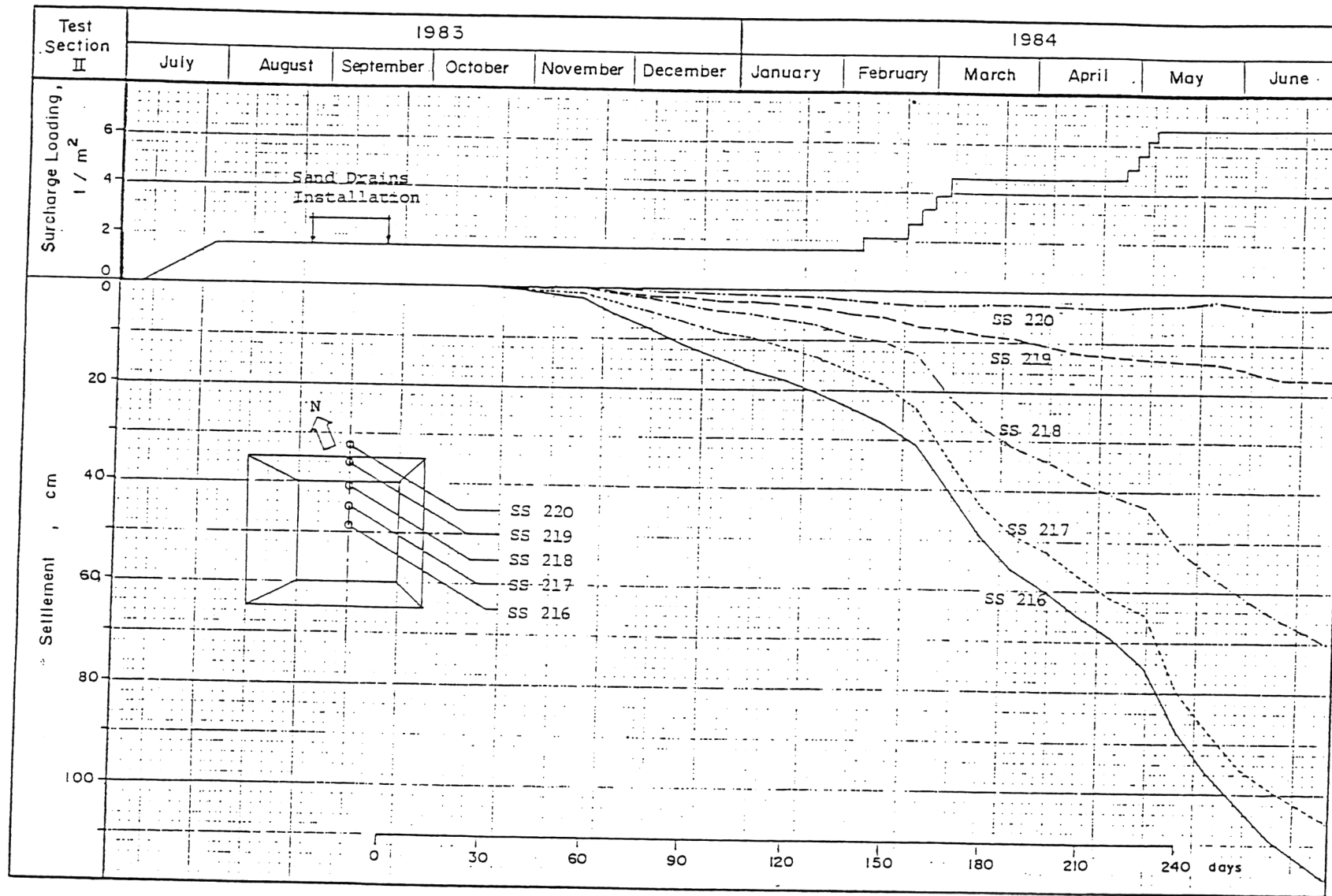




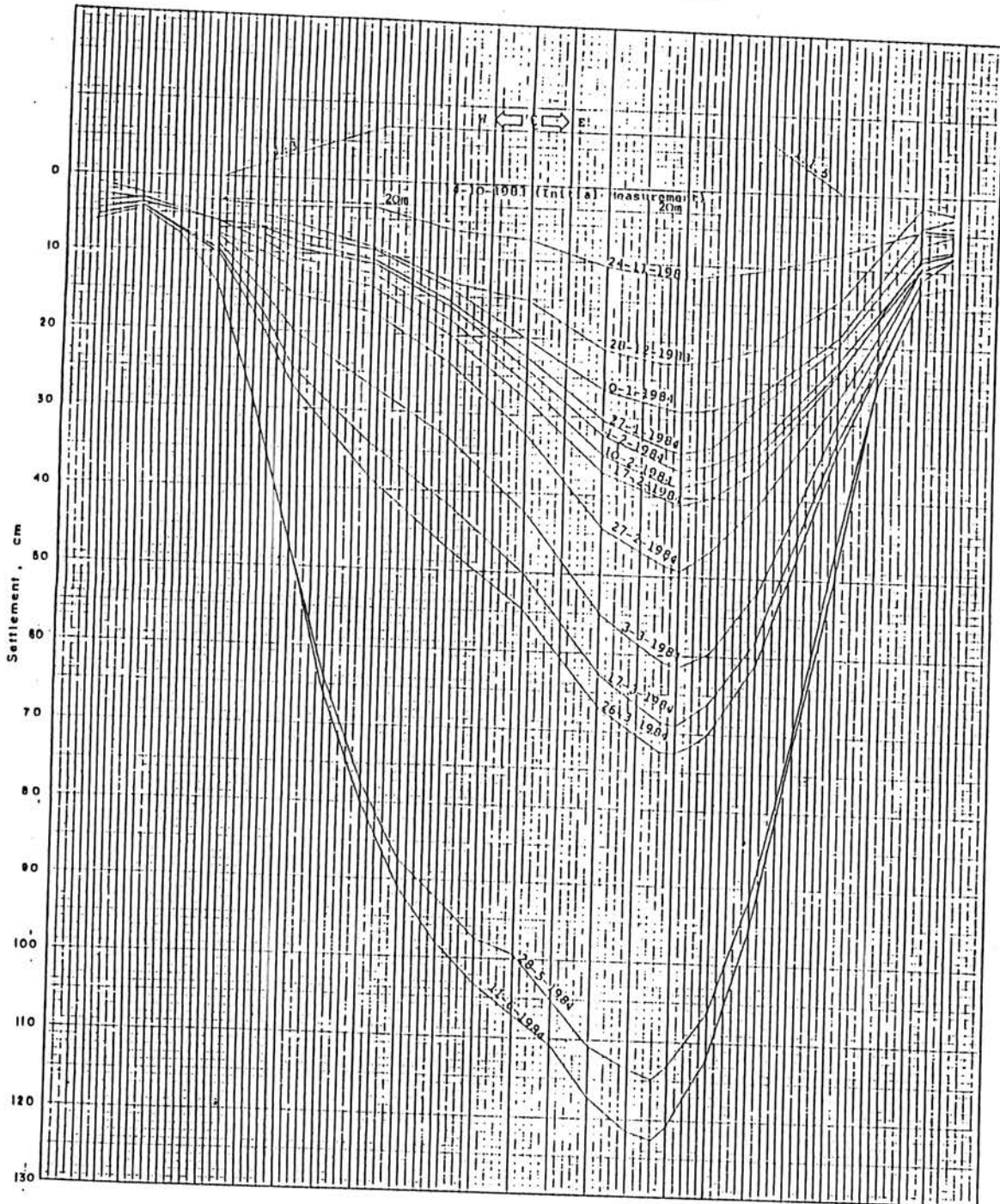
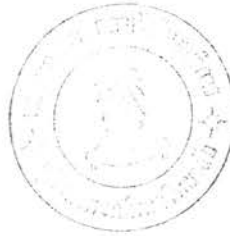
รูปที่ ค.8 (ข) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 2



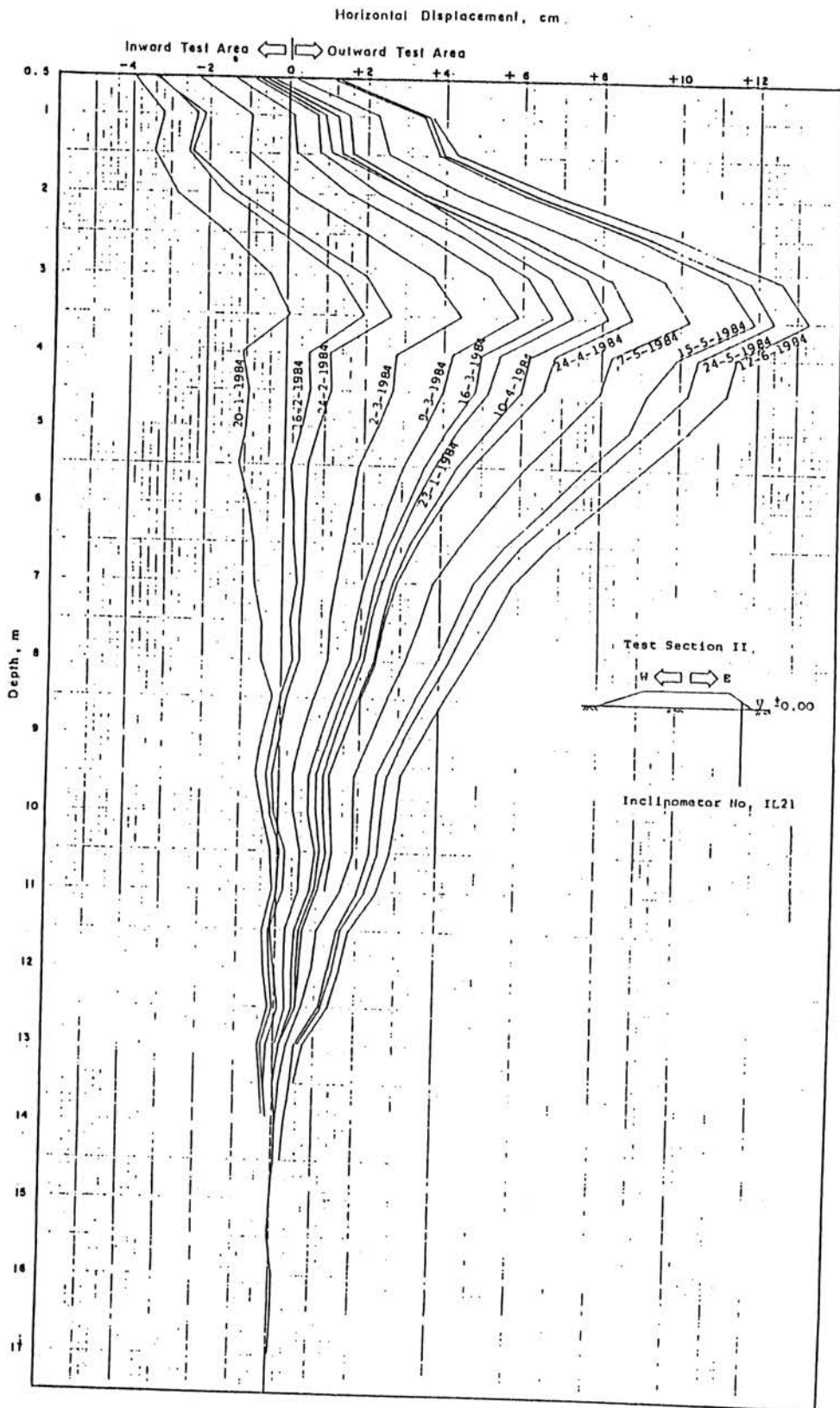
รูปที่ ค.8 (ค) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผนวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 2



รูปที่ ค. 8 (ง) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 2



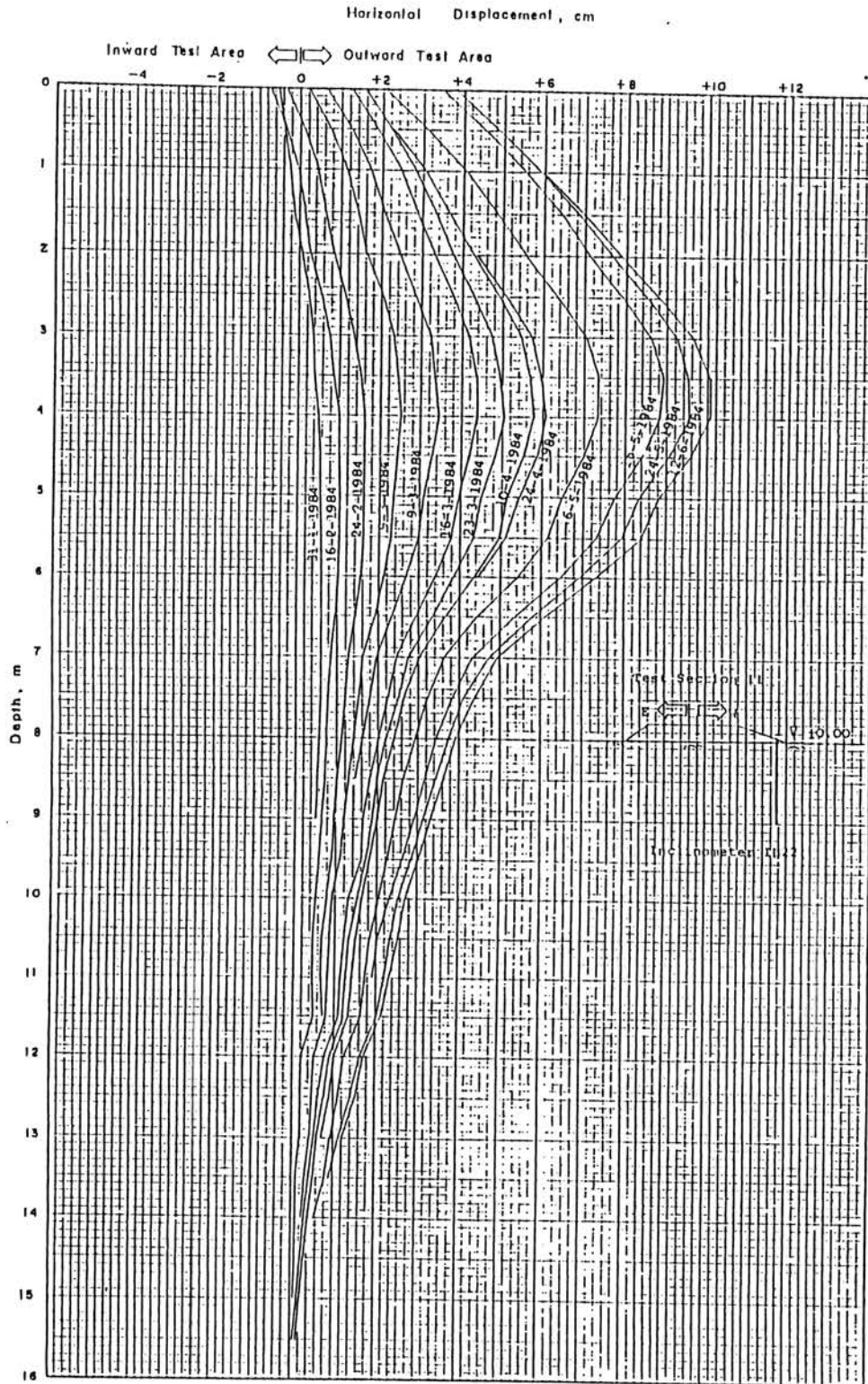
รูปที่ ค.๙ การทรุดตัวแบบขวาง(profile) จากการวัดของ  
 เครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge  
 แปลงทดสอบที่ 2



รูปที่ ค.10(ก) การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement)

วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์

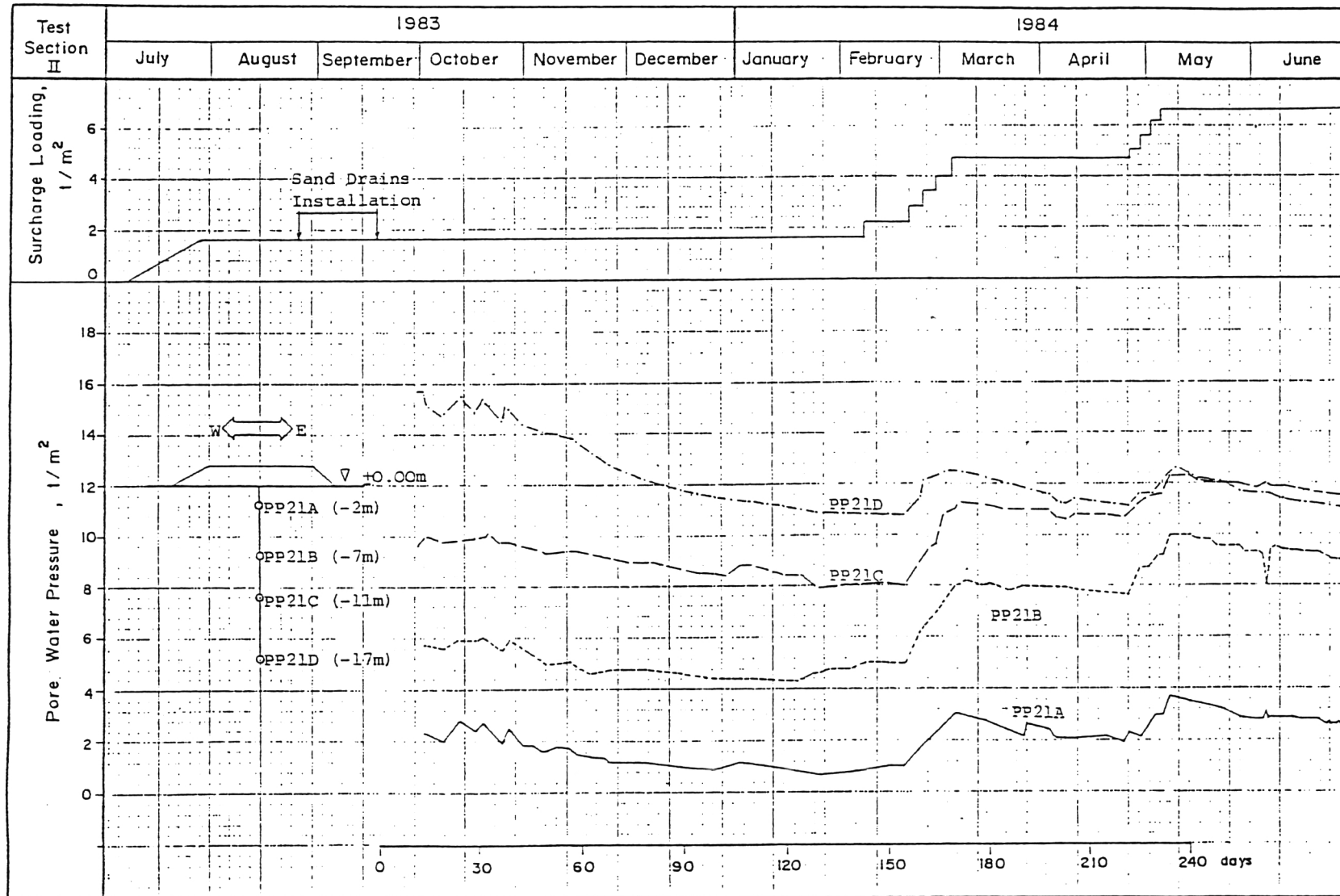
แปลงทดสอบที่ 2



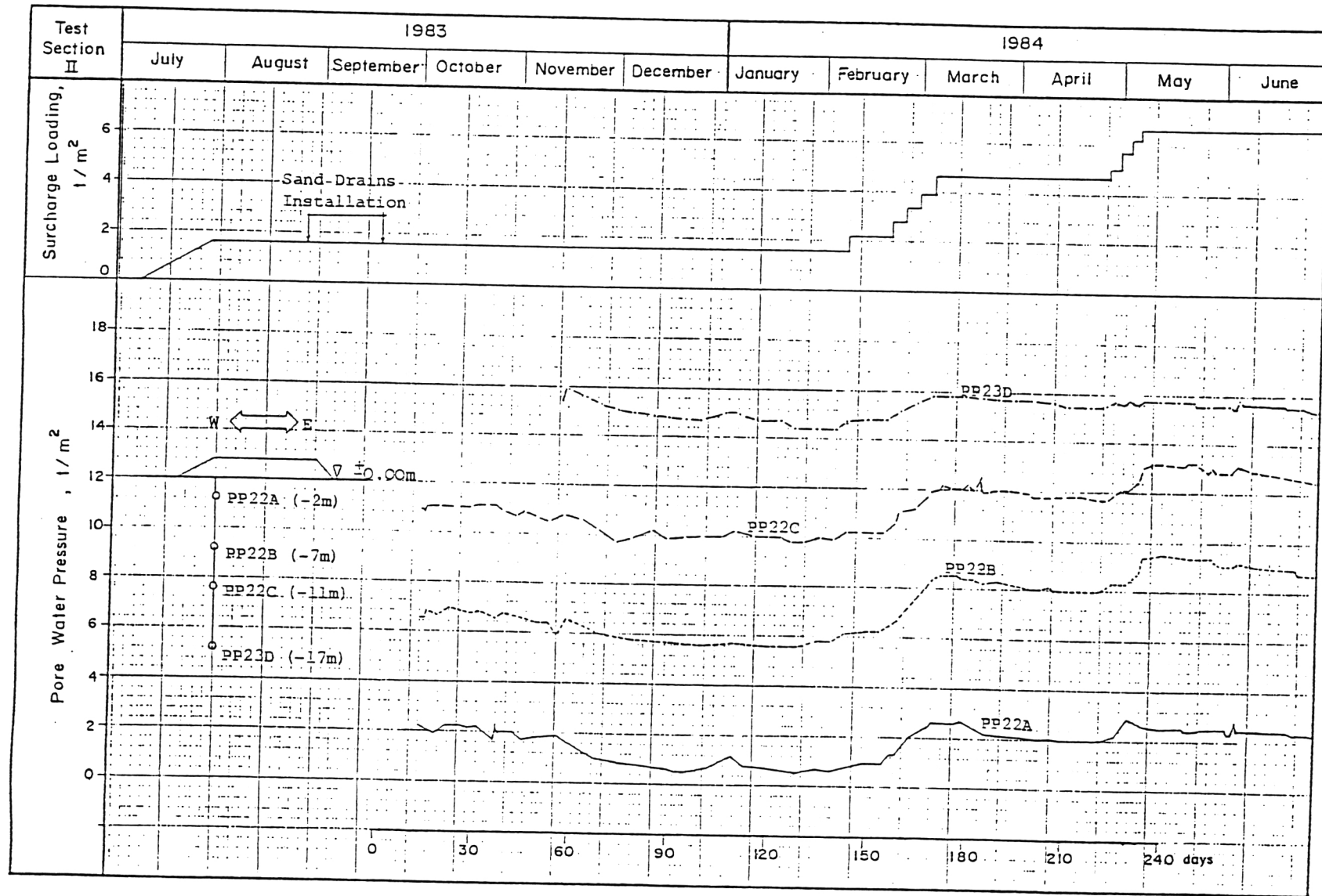
รูปที่ ค.10 (ข) การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (lateral movement)

วัดได้จากเครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์

แปลงทดสอบที่ 2

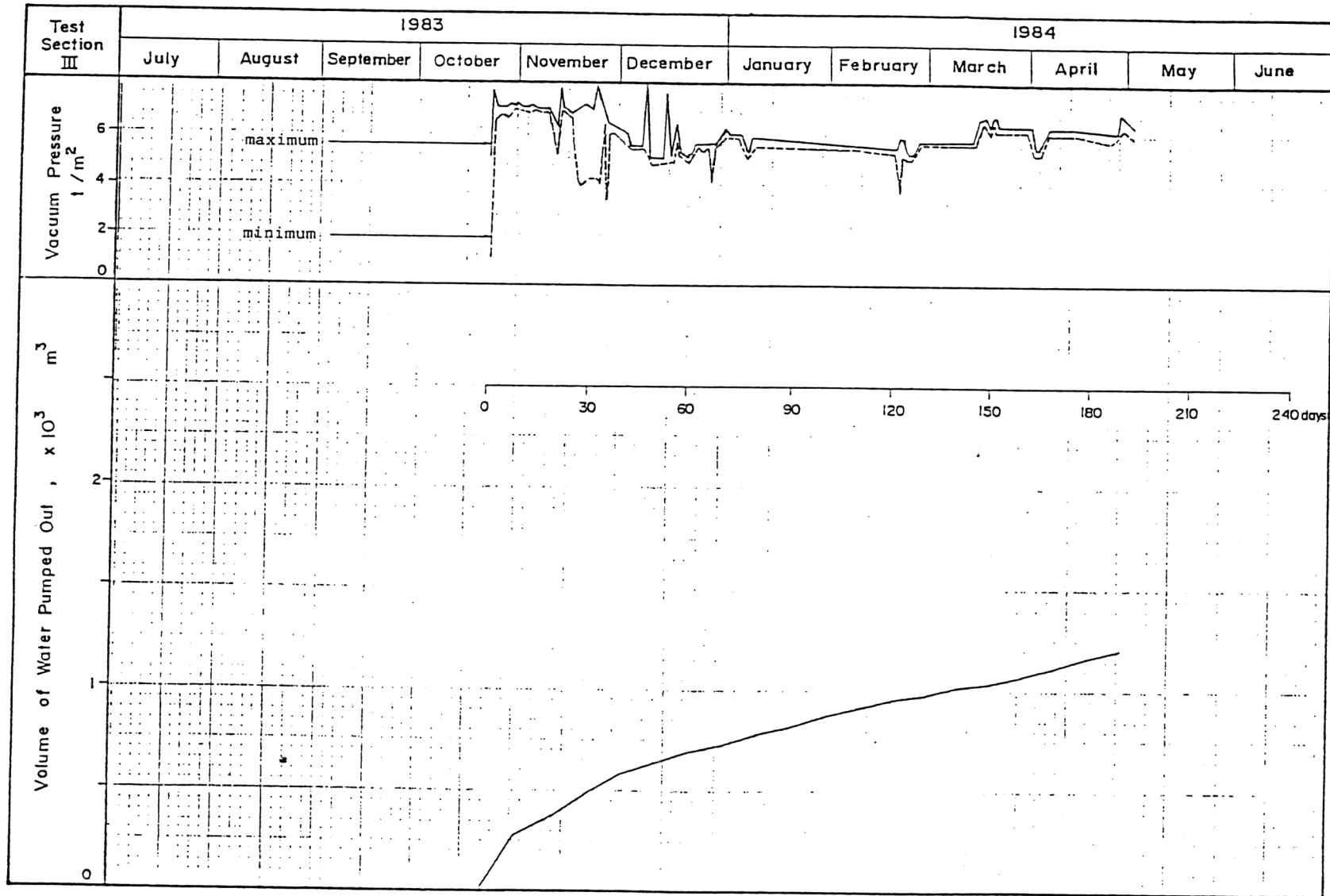


รูปที่ ค.11 (ก) ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 2

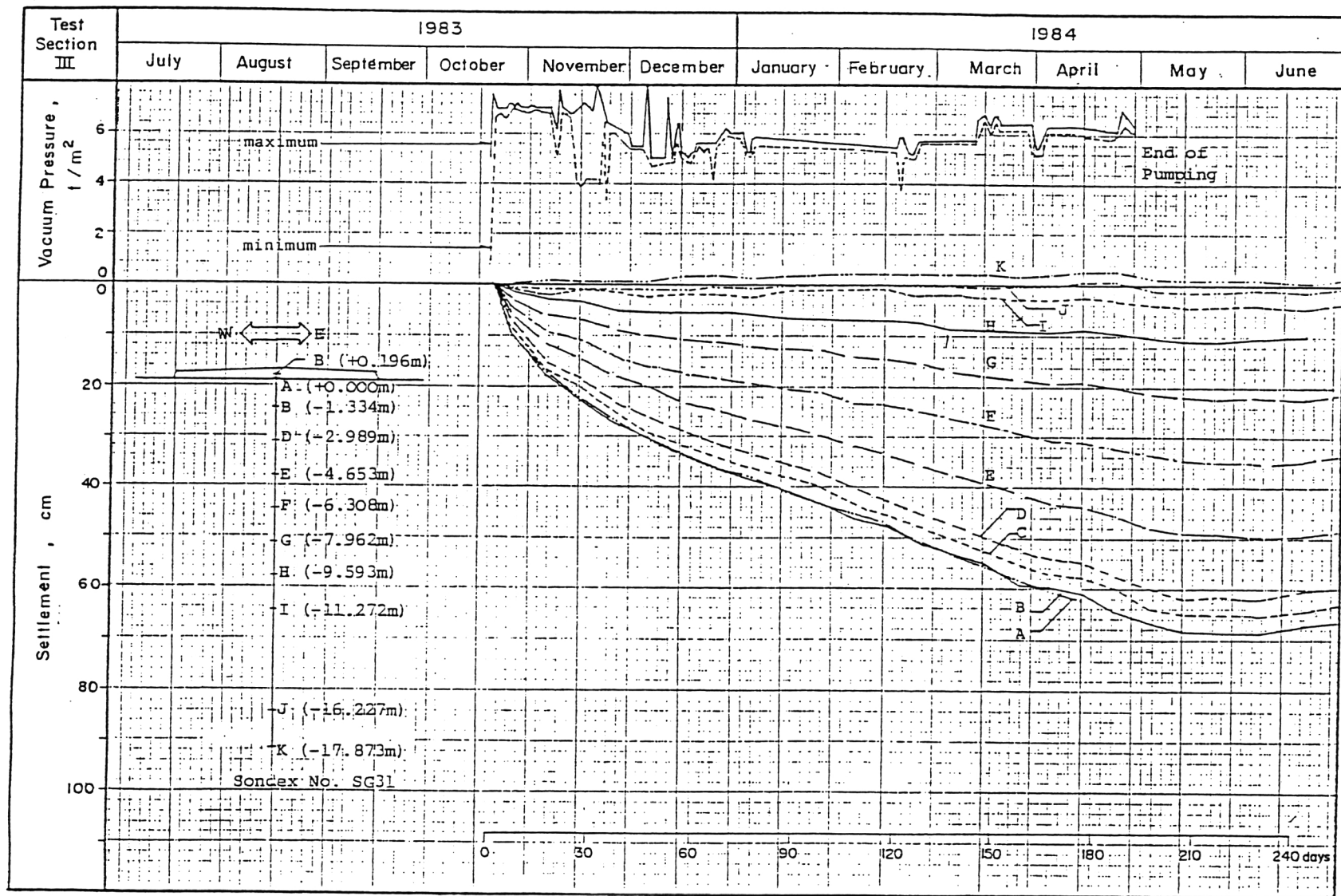


รูปที่ ค.11 (ข) ผลของความดันน้ำในโพรงของดินวัดได้จาก Pneumatic Piezometer - แปลงทดสอบที่ 2

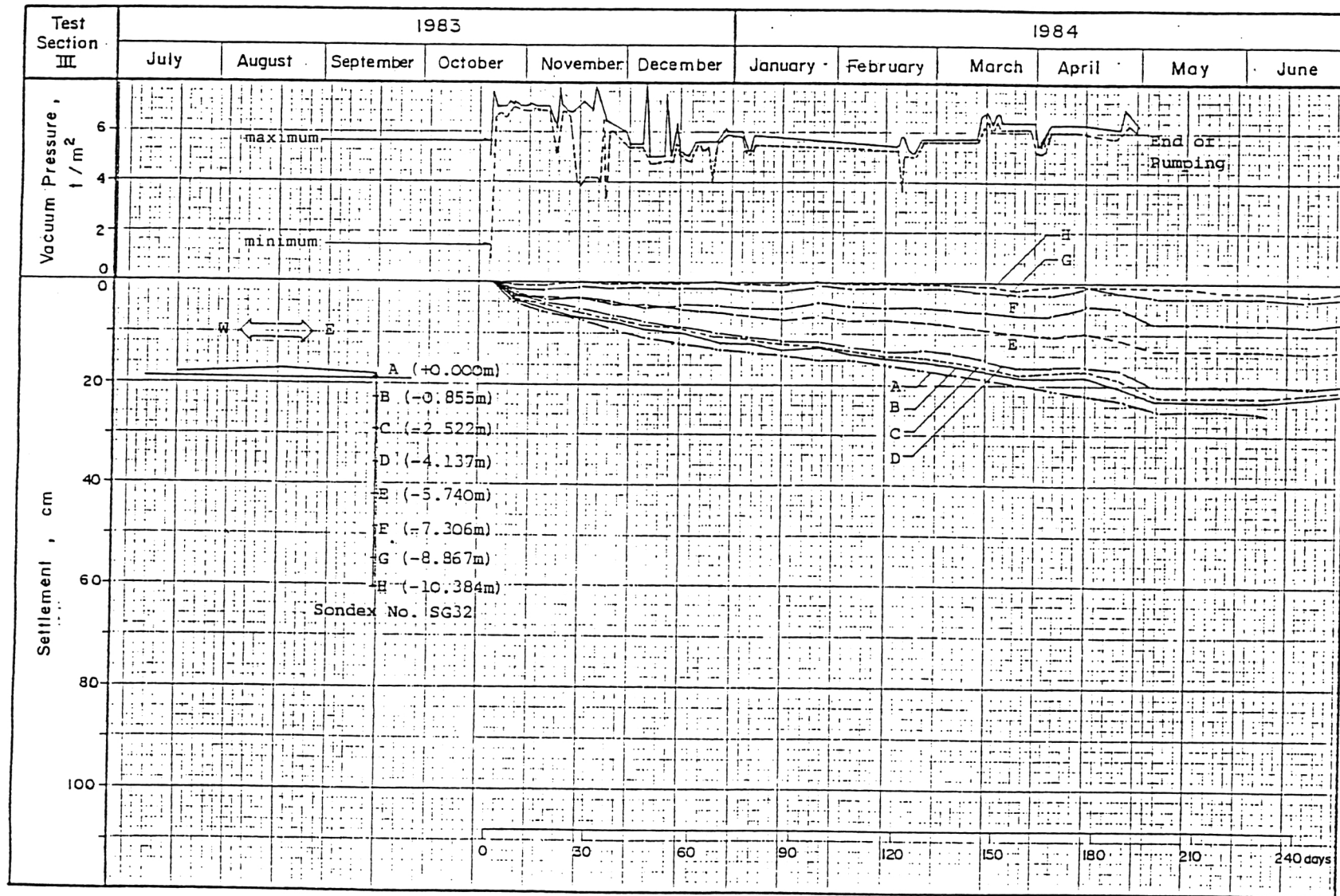




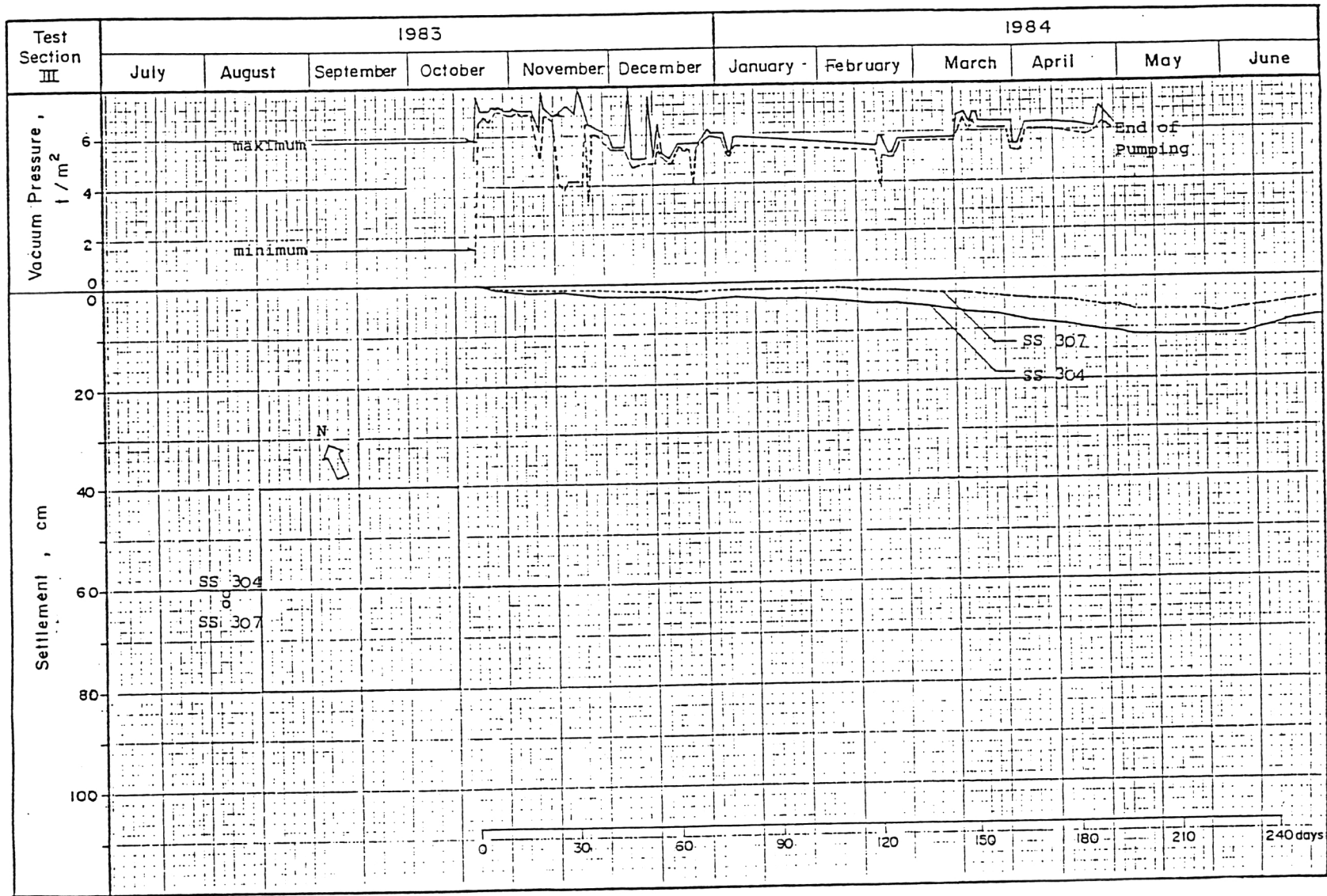
รูปที่ ค.12 ปริมาณน้ำที่สูบได้ระหว่างการทดสอบ - แปลงทดสอบที่ 3



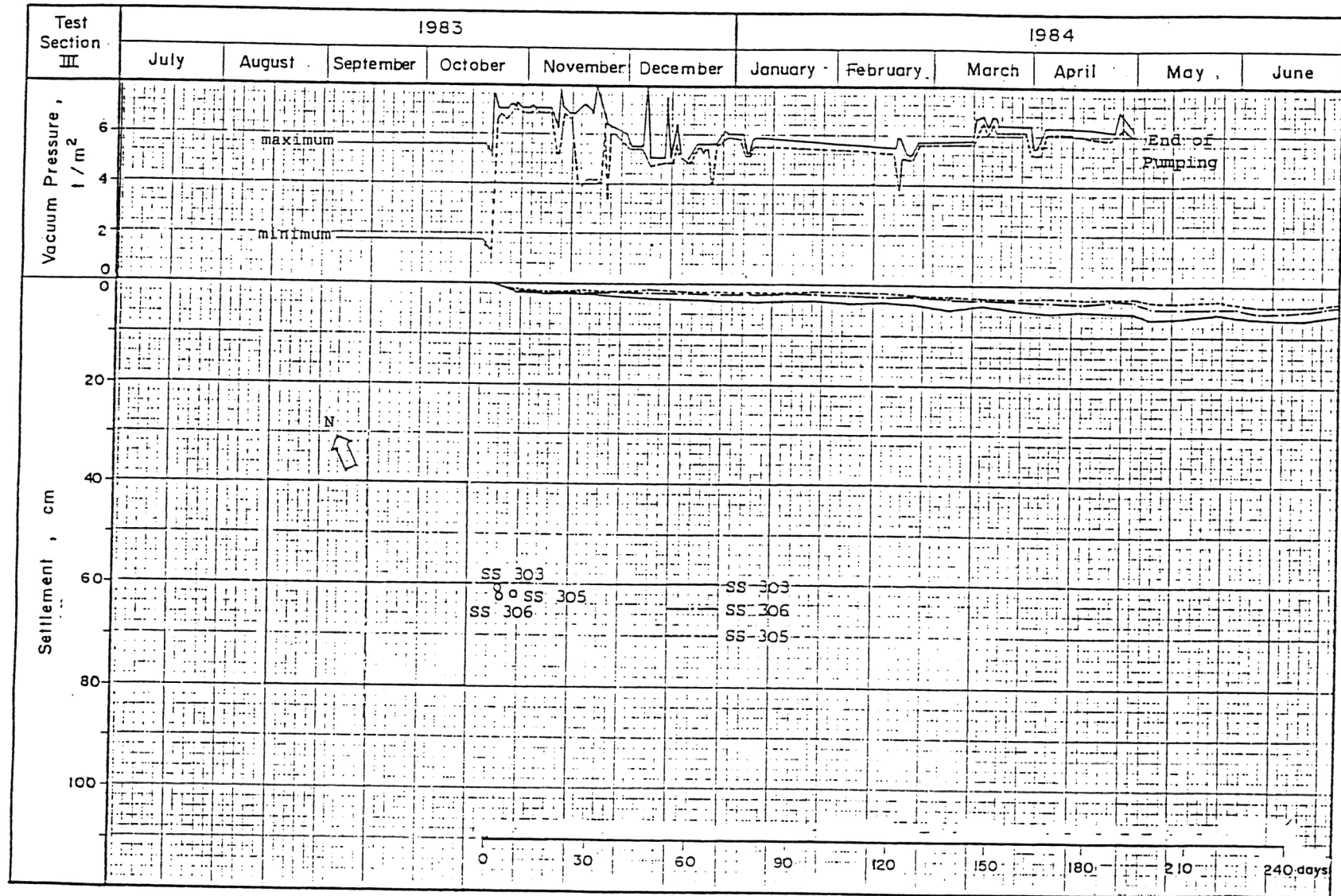
รูปที่ ค. 13 (ก) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 3



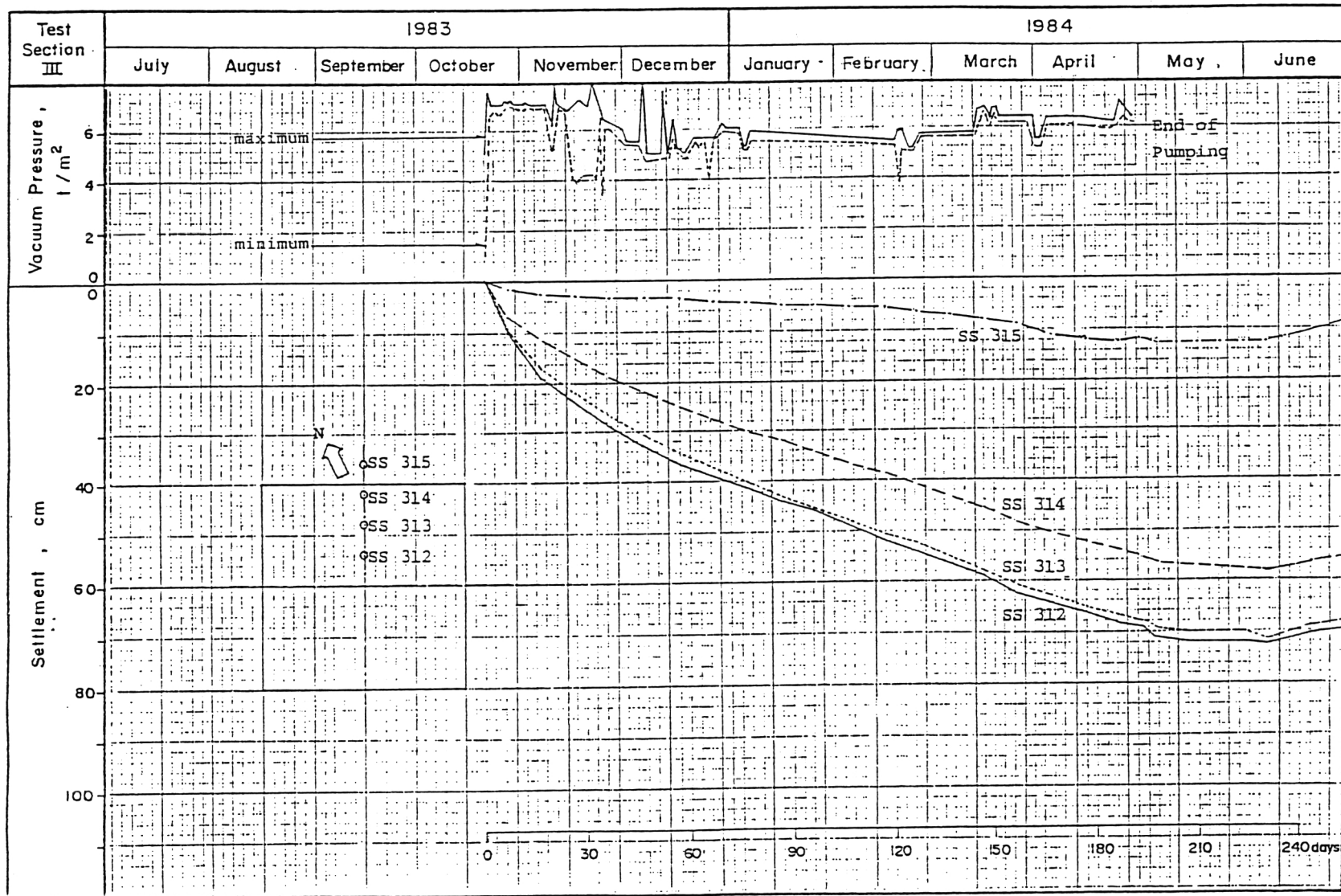
รูปที่ ค.13 (ข) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากเครื่องวัดการทรุดตัวแบบซอนเด็กซ์ - แปลงทดสอบที่ 3



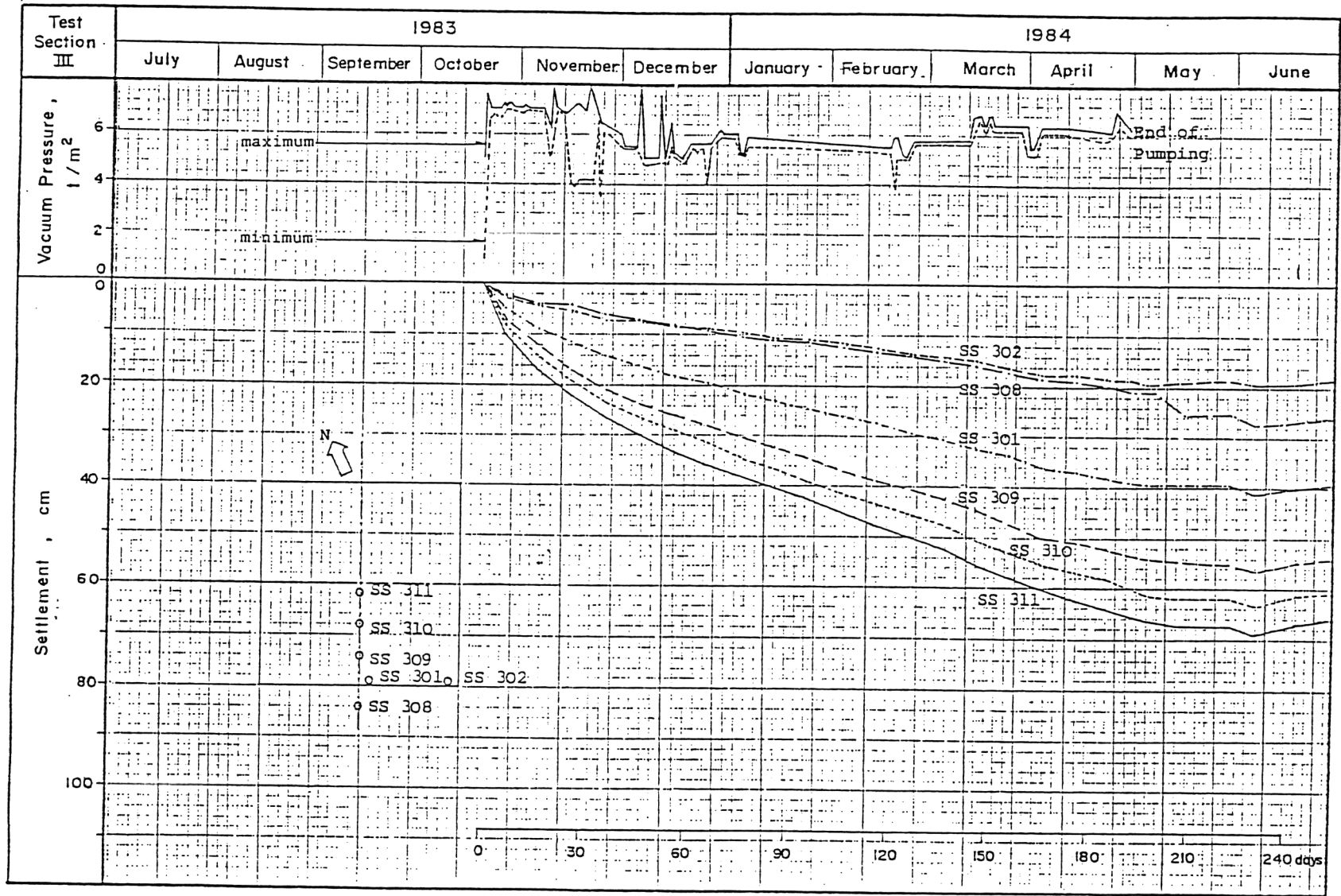
รูปที่ ค.14 (ก) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 3



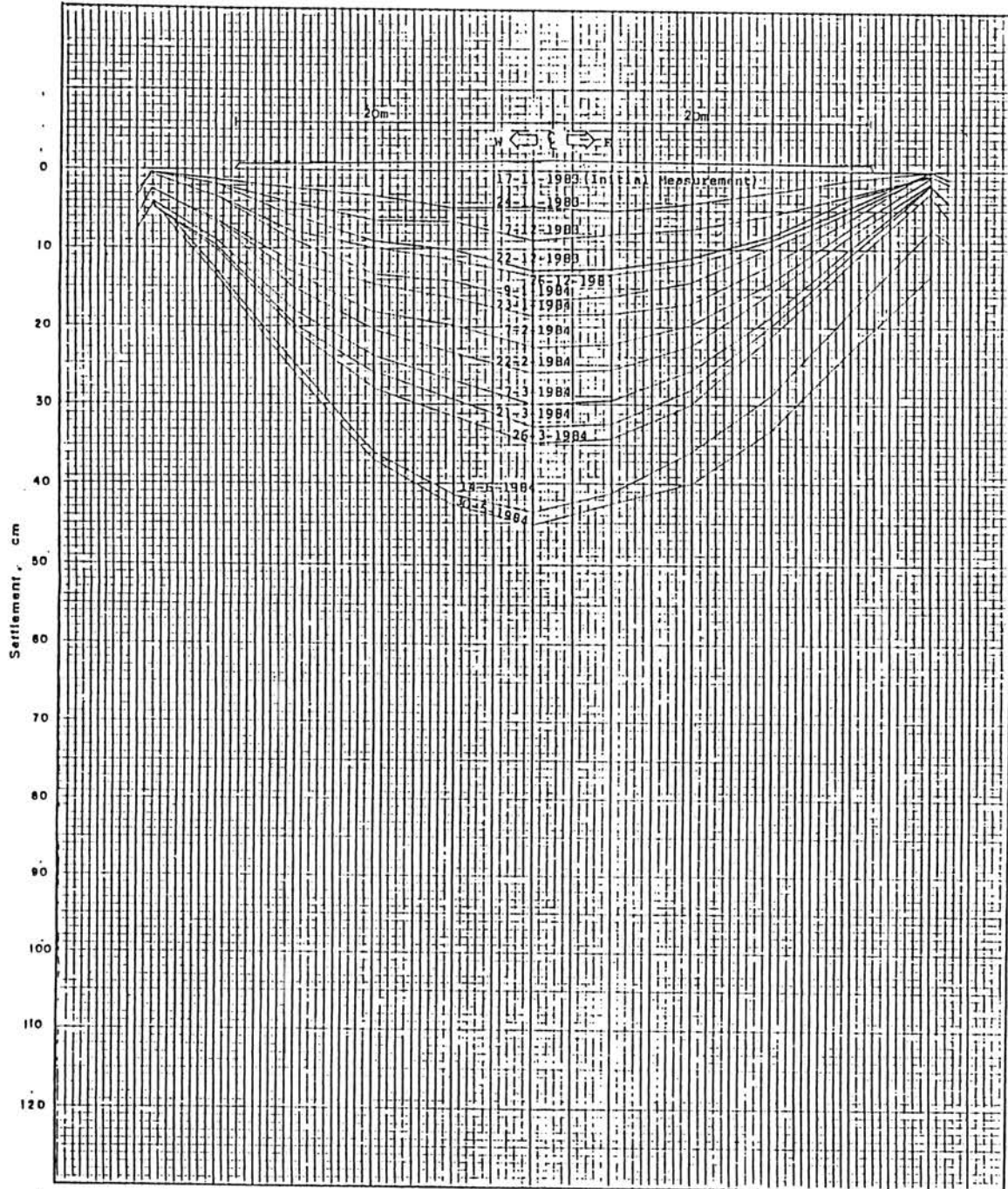
รูปที่ ค.14 (ข) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 3



รูปที่ ค.14 (ค) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 3



รูปที่ ค.14(ง) ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - แปลงทดสอบที่ 3

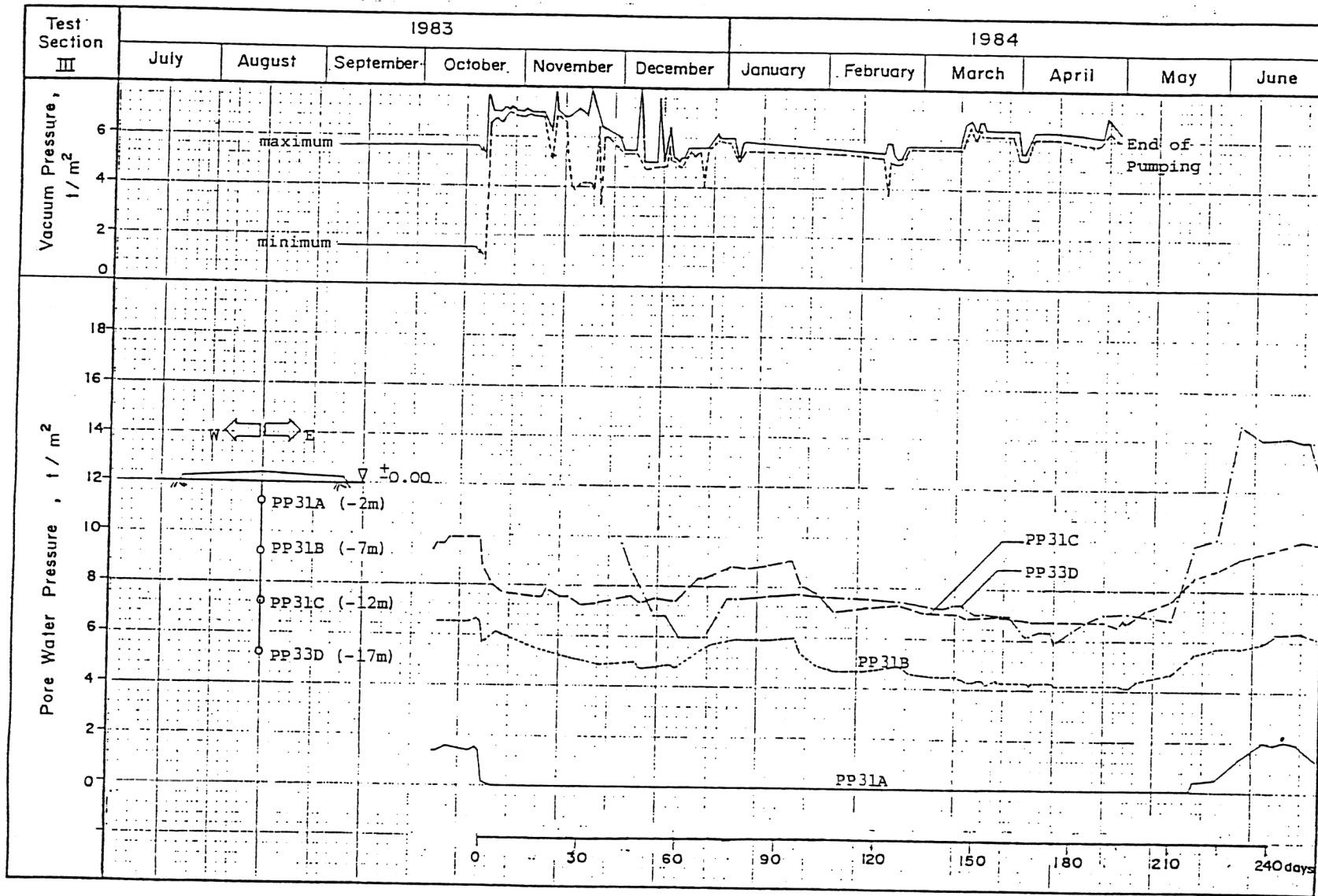


รูปที่ ค.15 การทรุดตัวแบบขวาง (profile) จากการวัดของ

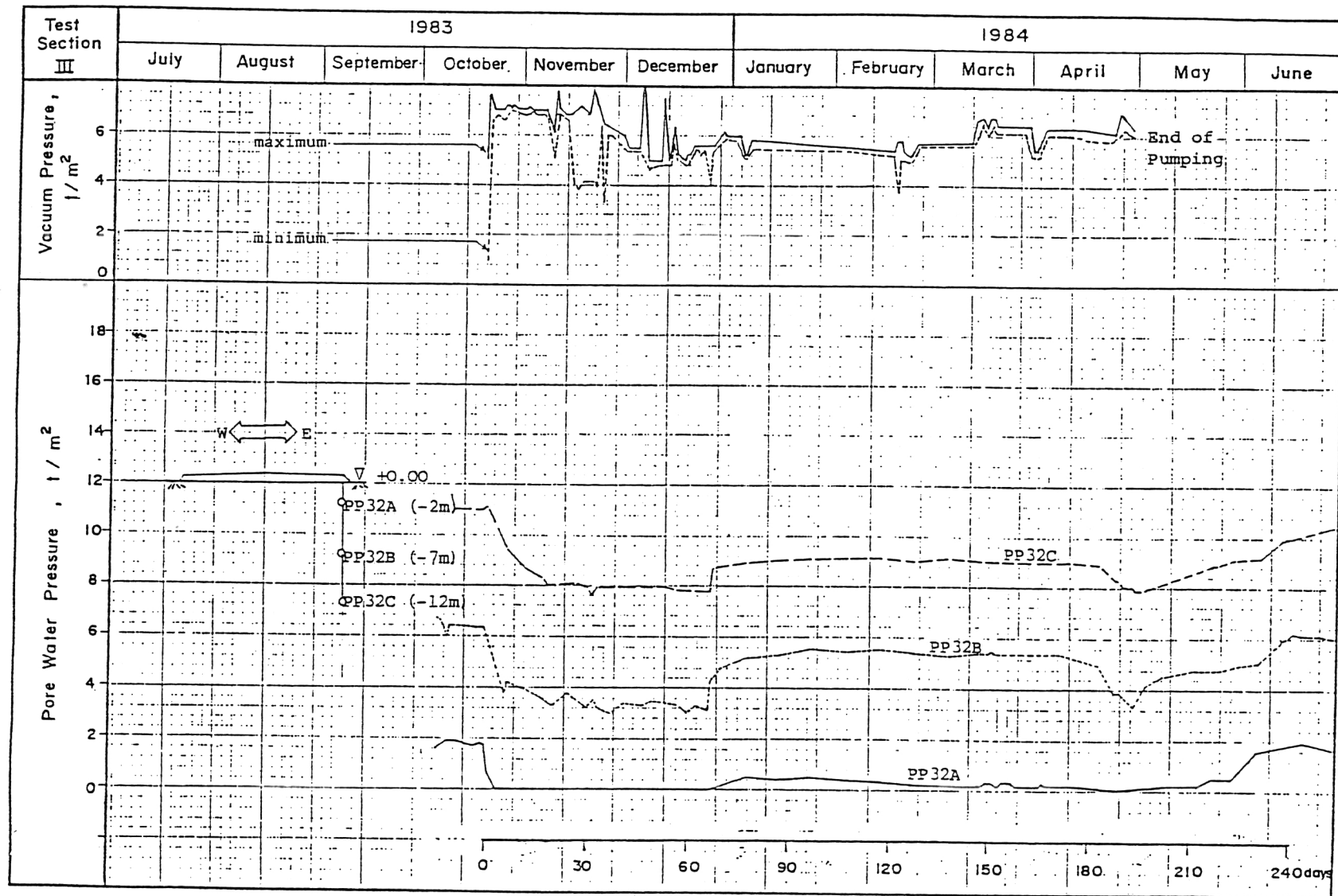
เครื่องมือ Hydrostatic Profile Gauge

- แปลงทดสอบที่ 3

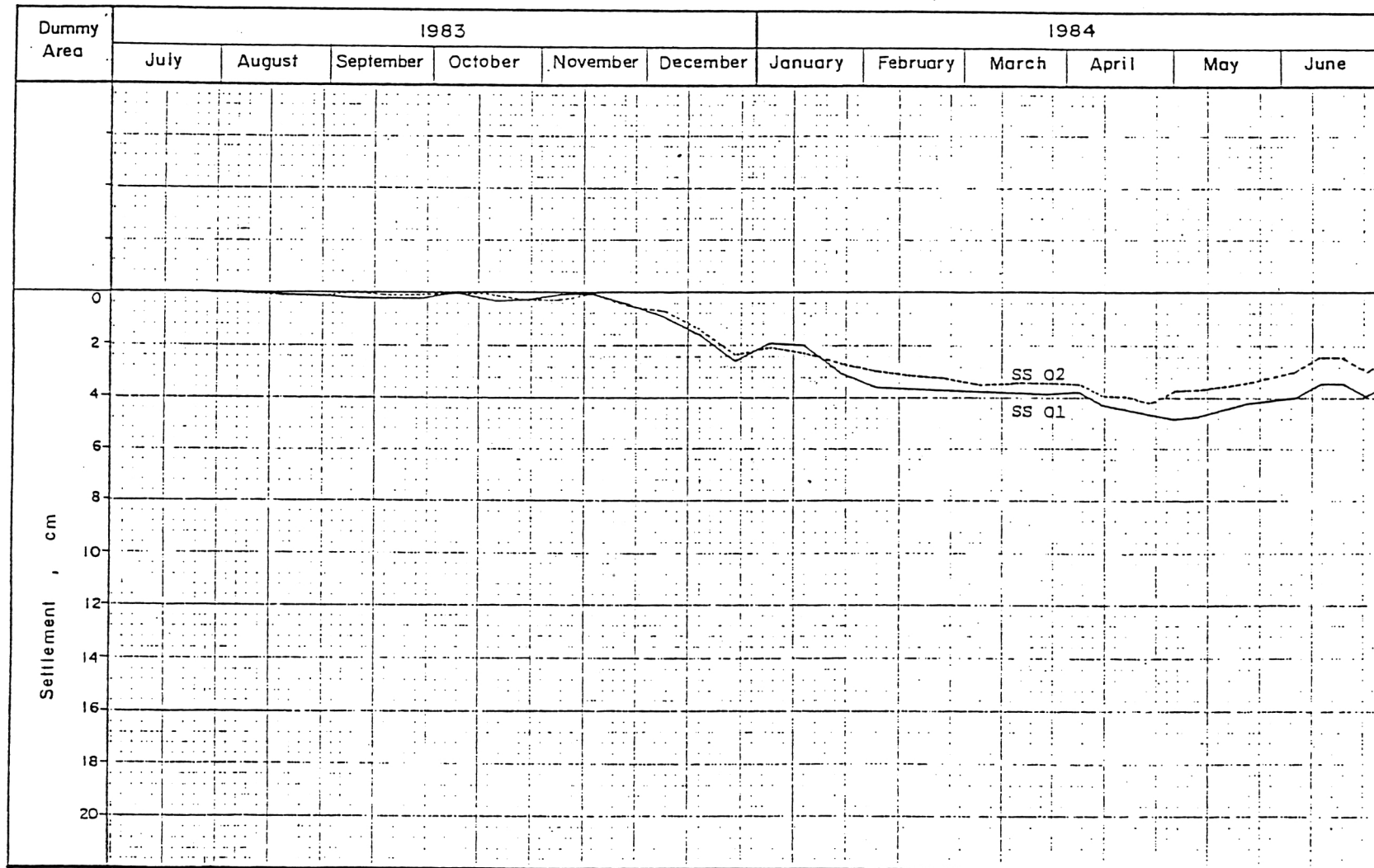




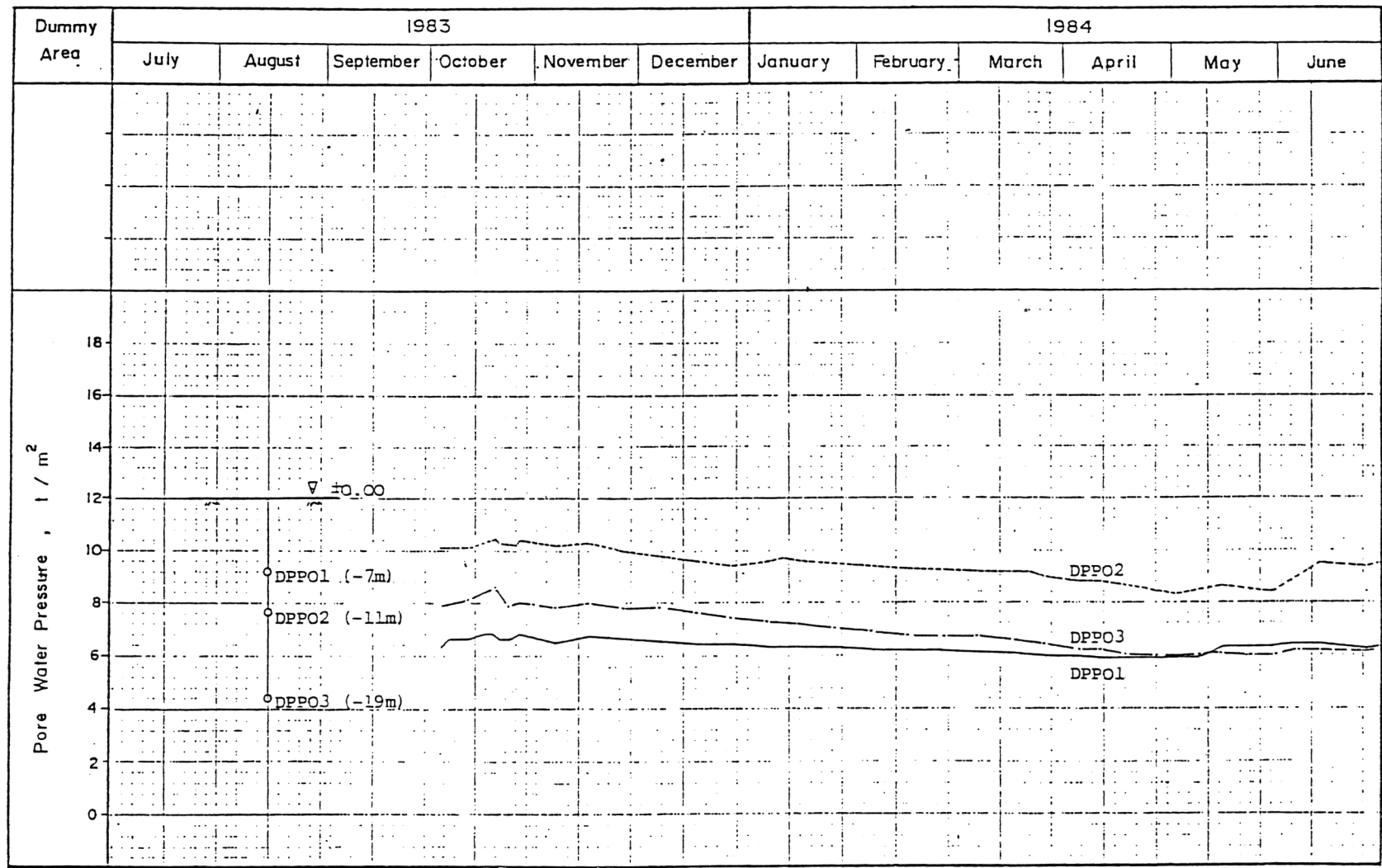
รูปที่ ค.16(ก) ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer



รูปที่ ค.16(ข) ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer



รูปที่ ค. 17 ผลของการทรุดตัวที่วัดได้จากแผ่นวัดการทรุดตัวผิวดิน - พื้นที่อ้างอิง (Dummy Area)



รูปที่ ค.18 ผลของความดันน้ำในโพรงของดินที่วัดได้จาก Pneumatic Piezometer -พื้นที่อ่างอิง (Dummy Area)

## ประวัติ

นายสาธิต เต่าทอง เกิดวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2504 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2525 และได้เข้าศึกษาต่อในภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีเดียวกัน

