Bjerrum, L. and Eide,O., "Stabliltiy of Strutted Excavation in Clays", Geotechnique, Vol.6, No. 1, 1956.

Bjerrum, L., Clausen, C.J., and Duncan, J.M., "Earth Pressure on Flexible Structures", The Fifth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Madrid, 1972.

Burland, J.b., Simpson, G.B., and St John, H.D.," Movement around excavation in London Clay" Design Parameters in Geotechnical Engineering. BGS, Vol. 1, 1979.

Clough, G.W., and Davidson, R.R. "Effects of Construction on Geotechnical Performance", Preceedings Specialty Session III, Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 1979.

Clough, G.W., Hansen, L.A., and Mana, A.T.,"Prediction of Supported Excavation Movement under Marginal Stability Conditions in clay." "Third International Conference on Numerical Methods in Geomechanics Aachen/1-6 April, 1979.

Clough, G.W., and Schmidt, B.,"Design and Performance of Excavation and Tunnels in Soft Clay, A-State-of-the-Art" Proceedings, International Symposium on Soft Clay, Bangkok, 1977.

D´ Appolonic, D.J.,"Effects of Foundation Construction on Nearby Structure "Proceedings of the 4th Panamarican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, 1971, pp. 189-236.

Dunnicliff, J., and Green, G.W. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley and Son, 1988.

Finno, R.J., Nerby, S.M., and Perkin, S.B., "Soil Parameter Implied

by Braced Cut Observations", Proceedings of a Seccion Gponsored by the Geotechnical Engineering Division of ASCE. Tennessee, 1988.

Goldberg, T., Jaworski, W.W., and Gordon, M.D."Lateral Support System and Underpinning, Design and Construction,"Report No. FWHA-RD-75-128. Washington, D.C., 1976

Huang, W.F."LLT Pressuremeter Test in Bangkok Clay". Thesis No. GT-29-11 AIT., Bangkok, Thailand, 1980.

Lambe, T.W., Walfskill, L.A., and Jaworski, W.E."The Performance of a Subway Excavation",ASCE Specialty Conperonce on the Performance of Earth and Earth-Supported Structures. Purdue University, Vol. 1, Part 2, 1972, pp-1403-1424.

Mana, A.I., and Clough, G.W.,"Prediction of Movements for Braced Cut in Clay", Journal of the Geotechnical Engineering Division Vol. 114, No. GT6, 1981.

NGI. Measurement at a Strutted Excavation, Report No. 2-9. 1962.

Palmer, J.H., and Kenney. T.C."Analytical Study of a Braced Excavation in weak Clay". Canadian Geotechnical Journal. Vol. 9, No. 145, 1972.

Peck, R.B., "Earth-pressure measurements in open cuts, Chicago (III) Subway."ASCE, vol. 68, No. 6, 1943 pp.900-928

Peck, R.B.,"Deep excavation and Tunnelling in Soft ground; State-of-the-art report". International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 7. Mexico, 1969. pp.225-290

Surya, I. Application of the LLT Pressuremeter Test to Soil Engineering Problems in Bangkok Clay. M.Eng. Thesis, Asian Institute of

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Technology, Bangkok, Thailand, 1981.

Terzaghi, K. Theoretical Soil mechanics. New York, Wiley. 1943, 510pp.

Terzaghi, K:, and Peck, P. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Son, 1967.

Wong, K.S., and Broms, B.B. (1989)."Lateral Wall deflections of Braced Excavations in Clay." ASCE, Vol.115, No. 6, June, 1989, pp. 853-870

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ การสัมมนาทางวิชาการ เรื่องการออกแบบและก่อสร้าง Sheet Pile, 2530.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การทดสอบ Pressuremeter test

ก. 1 ส่วนประกอบของเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบPressuremeterของการวิจัยนี้เป็นแบบLateral Load Tester (LTT)Type M model4165 (mono cell type, มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของProbeเท่ากับ70 มิลลิเมตร)ซึ่งผลิตโดย OYO Corporation แห่งประเทศญี่ปุ่น. ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือนี้มี3ส่วน (ดูรูปที่ ก.1) คือ (1)Probe, (2)ระบบท่อ(Tubing System)และ (3)หน่วยควบคุมการทำงาน(Control Unit) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) Probe. (ดูรูปที่ก.2) ประกอบด้วยท่อเหล็กทรงกระบอกซึ่งถูกล้อมรอบด้วยแผ่นยางยืดหยุ่น2ชิ้น รวมเรียกว่า เซลล์(cell). เซลล์นี้ถูกออกแบบให้สามารถใส่ความดันในแนวรัศมี (Radial pressure)เพื่อกระทำต่อผิวผนังของหลุมเจาะได้ และเพื่อให้ดินที่ถูกทดสอบมีสภาพหน่วยแรงเป็นแบบสมมาตรใน2แกน(Two-dimensional axi-symmetric stress condition)จึงได้ออกแบบเซลล์ให้มีขนาดความยาวเท่ากับ600มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าอัตราส่วนของความยาวต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์มากกว่า8 (ในที่นี้อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าเท่ากับ600มม./70มม.=8.57).

2) ระบบท่อ (Tubing System) ทั้งProbeและหน่วยควบคุมการทำงาน(Control Unit)จะถูกต่อเชื่อมถึงกันโดยระบบท่อ ซึ่งเป็นท่อnylon2เส้น(ท่อทั้ง2เส้นนี้แยกจากกัน). เมื่อจะอัดความดันให้กับน้ำเพื่อเพิ่มความดันไปยังProbeสามารถทำได้โดยใช้วาล์วควบคุมความดันก๊าซหมายเลข(4). ส่วนทั้งที่จะใช้ปล่อยออกมาจากถังน้ำสามารถควบคุมการปิดเปิดได้โดยใช้วาล์วหมายเลข(9) น้ำซึ่งมีความดันในท่อหมายเลข(11) จะถูกอัดไปยังProbeความดันของน้ำในท่อหมายเลข(11) จะถูกอัดต่อไปยังท่อหมายเลข(16) (ซึ่งยึดติดกับส่วนบนของProbe)ตรงไปยังหน่วยควบคุมการทำงาน

(Control Unit)และวาลว์หมายเลข(7) (โดยผ่านวาล์วระบายหมายเลข(6)ซึ่งจะถูกปิดในขณะทำการทดสอบ)จากนั้นอ่านค่าความดันของน้ำได้จากPressure gauge หมายเลข(1).

3) หน่วยควบคุมการทำงาน (Control Unit) มีประกอบด้วย (ดูรูปที่ก.1)

(ก) ถังน้ำ(Water tank,) หมายเลข(3) เป็นถังเหล็กทรงกระบอกจำนวน4ถัง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ60มิลลิเมตร ถังน้ำทั้ง4ใบนี้ จะทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำใบหนึ่ง (Water peservoir)ซึ่งสามารถจุน้ำได้เต็มที่เท่ากับ7ลิตร. การควบคุมการใช้น้ำในแต่ละถังสามารถทำได้โดยใช้วาล์วควบคุมหมายเลข(12) ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำได้.

(ข) Standpipe หมายเลข(10) เป็นหลอดแก้วใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6มิลลิเมตร ยาว640มิลลิเมตร. ในส่วนบนและส่วนล่างของหลอดถูกต่อเชื่อมถึงกันกับถังน้ำ. การวัดปริมาตรน้ำที่ส่งถึงProbeทำได้โดยการอ่านค่าระดับน้ำในหลอดStandpipe.

(ค) Pressure gauges. ความดันน้ำที่ส่งให้Probeสามารถวัดค่าได้โดยใช้ Pressure gauge หมายเลข(1). น้ำได้รับความดันโดยใช้ความดันก๊าซ(Gas pressure)ซึ่งป้อนเข้าตัวถังน้ำ ความดันก๊าซที่ป้อนให้นี้วัดค่าได้โดยการอ่านจากGauge หมายเลข(2). ความดันก๊าซนี้จะถูกส่งมาโดยถังอัดความดัน(Pressure bottle). ซึ่งมีค่าความดันที่อ่านได้จากPressure gauge หมายเลข(14).

ก. 2 การเตรียมเครื่องมือทดสอบ

การเตรียมเครื่องมือก่อนทำการทดสอบ ได้ดำเนินการตามวิธีที่แนะนำโดย OYO Corporation. โดยขั้นตอนแรกต้องเติมน้ำในระบบท่อทั้งหมดให้เต็มเสียก่อนเพื่อไล่ฟองอากาศที่อาจจะมีภายในระบบท่อ จากนั้นทำการสั่นหรือเขย่าProbeเพื่อไล่อากาศออกโดยการเปิดวาล์วระบายน้ำ

หมายเลข(6) เพื่อให้น้ำในระบบที่ทดสอบไหลเวียนครบวงจร ในระหว่างนี้จัดวางProbeให้อยู่ในแนวดิ่งและอัดความดันให้แก่Probe เพื่อให้แผ่นยางยืดหยุ่น เกิดการขยับตัวโดยการ เปิดวาล์วควบคุมความดันก๊าซหมายเลข(4) กระทำเช่นนี้หลายครั้งจนกระทั่งสังเกตุเห็นว่าไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นในท่อหมายเลข (16) จึงทำการปิดวาล์วระบายน้ำหมายเลข(6) จากนั้นเปิดExhaust valveหมายเลข(5) เพื่อลดความดันในถังน้ำ.

ก. 3 การปรับแก้เครื่องมือทดสอบ (Calibration)

ภายหลังการเตรียมเครื่องมือ ก่อนที่จะมีการทดสอบได้ทำการCalibration เครื่องมือดังนี้

1) ความดันสูญเสียจากความต้านทานของแผ่นยาง ในขณะที่Probeพองตัวภายใต้ความดันที่ป้อนให้ ความดันที่ป้อนให้นี้จะต้องสามารถเอาชนะความต้านทานของแผ่นยางได้. ดังนั้นความดันที่แท้จริงกระทำต่อดินที่ผิวผนังของหลุมเจาะนั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าความดันที่ป้อนให้แก่Probe. การCalibration เนื่องจากผลดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการตามวิธีที่เสนอโดย OYO Corporation.

2) การสูญเสียปริมาตร(Volume loss)อาจมีสาเหตุมาจากการขยายตัวของระบบท่อ, การอัดตัวได้ของแผ่นยางและการอัดตัวได้ของน้ำเมื่อได้รับความดัน. ได้ดำเนินการCalibrationตามวิธีการที่เสนอโดย Huang(1980).

3) Calibration of water tanks. เนื่องจากเครื่องมือทดสอบนี้ประกอบด้วยถังน้ำ4ใบ ซึ่งแต่ละใบอาจจะมีความจุได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องCalibrateหาความจุเฉลี่ยของถังน้ำแต่ละใบเพื่อสามารถคำนวณหาค่าปริมาตรที่เปลี่ยนไปภายหลังการขยายตัวของProbe. การCalibrationดำเนินการตามวิธีที่เสนอโดยHuang(1980).

ก. 4 การเตรียมหลุมเจาะเพื่อใช้ทดสอบ (Preparation of test hole)

Huang(1980) กล่าวว่าในการทดสอบPressuremeter testนั้นการเตรียมหลุมเจาะโดยวิธีWash boringใช้ได้ดีเฉพาะในดินเหนียวแข็ง(Stiff Clay)เท่านั้น.

Surya(1981) พบว่าการเตรียมหลุมเจาะโดยวิธีWash boringแนะนำวิธีที่ให้ผลดีที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสการเสียรูปของดิน(Modulus of deformation)โดยสามารถใช้ได้กับดินเหนียวอ่อน(Soft Clay)ด้วย.

สำหรับในการทดสอบนี้ได้เตรียมหลุมเจาะโดยวิธีWash boringด้วยเหตุผลคือเหมาะสมในการหาค่าโมดูลัสการเสียรูปของดินทั้งในดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวแข็ง.

ก. 5 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบดำเนินการตามวิธีแนะนำโดย OYO Corporation(1979) แห่งประเทศญี่ปุ่น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก.5.1. การดำเนินการในการวัดผลการทดสอบ (Measurement operation)

1) ข้อระวังในขณะทำการทดสอบ

ในขณะการเตรียมหลุมเจาะเพื่อทดสอบนั้น ปัญหาที่ทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้คือ (1)การรบกวนผนังของหลุมเจาะและ (2)การเกิดการคลายตัว(Relaxation)ของผนังหลุมเจาะดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวได้ทำการทดสอบPressure meter testทันทีที่ถึงระดับที่ต้องการทดสอบโดยไม่รอเวลาให้เตรียมหลุมเจาะเสร็จก่อน. ในระหว่างนี้ให้เตรียมระเบียนข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Data sheet)ไว้ก่อน.

2) การติดตั้งProbe. มีขั้นตอนดังนี้

(1) ปิดวาล์วทุกตัว ยกเว้นexhaust valve หมายเลข(5), ดูรูปที่ก.1 ประกอบ)

(2) ติดตั้งก้านส่ง(rod)เข้ากับProbeโดยวิธีการขันเกลียว

(3) ยึดระบบท่อ(Tubing system)ซึ่งเป็นท่อไนลอนเข้ากับก้านส่ง(rod)ด้วยการใช้เทปกาว(Vinyl adhesive tape)ทุก ๆช่วง2-3เซนติเมตร ให้เสร็จก่อนที่จะหย่อนProbeลงไปทดสอบในหลุมเจาะ

(4) หย่อนProbeลงไปในหลุมเจาะอย่างช้า ๆ. น้ำโคลนที่อยู่ในหลุมเจาะจะทะลักผ่านรูกลวงตรงกลางของProbeขึ้นมาแทนที่

(5) พยายามให้Probeอยู่ในแนวดิ่งและอย่าให้Probeหมุนหรือบิดตัวไปมา

(6) ทำการวัดระยะความลึกที่จะทำการทดสอบโดยวัดระยะจากศูนย์กลางของProbeถึงระดับดินเดิม

(7) พยายามรักษาระยะจากปลายล่างของProbeถึงระดับก้นหลุมเจาะในแต่ละความลึกที่ทดสอบ อย่าให้มีค่าน้อยกว่า20เซนติเมตร

3) การวัดค่าความดันน้ำสถิตย์(Measurement of hudrostatic pressure, P_S)

เมื่อหย่อนProbeลงไปในหลุมเจาะจนถึงระดับที่ต้องการทดสอบแล้ว ให้ทำการวัดค่าความดันน้ำสถิตย์ไว้ก่อนโดยวิธีการต่อไปนี้ (ดูรูปที่ก.1ประกอบ)

(1) เปิดวาล์วout putหมายเลข(9) (ดูรูปที่ก.1ประกอบ)

(2) อ่านค่าระดับความสูงของน้ำในท่อStand pipeในขณะที่ระดับน้ำอยู่นิ่งซึ่งเป็นสภาพความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure)โดยถือว่าที่ระดับน้ำนี้มีความดันเป็นศูนย์. บันทึกค่าระดับความสูงของน้ำนี้ไว้เป็นค่าHo′ในช่อง "water level of standpipe after insertion" ของระเบียนข้อมูล (ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลทดสอบ แสดงไว้ในตารางที่ก.2)

(3) วัดค่าความสูงของCell pressure gauge หมายเลข(9) (ดูรูปที่ก.1ประกอบ) จากระดับดินเดิมไว้เป็นค่าH_Gพร้อมกับวัดค่าความลึกของระดับน้ำในหลุมเจาะที่ระดับดินเดิมลงมาไว้เป็นค่าH_W, แล้วบันทึกค่าไว้ในระเบียนข้อมูล. ค่าแตกต่างของH_GกับH_Wจะนำมาใช้ในการปรับแก้ค่าความดันน้ำสถิตย์(P_S)

(4) การอัดความดันที่ใช้ทดสอบ (Pressureing operation) การอัดความดันส่งให้แก่Probeซึ่งจะไปดันผิวผนังของหลุมเจาะที่จะทดสอบนั้นได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้ (ดูรูปที่ก.1ประกอบ)

(1) ปิดวาล์วExhaust หมายเลข(5) โดยเปิดเฉพาะวาล์ว Out put หมายเลข(9) เท่านั้น

(2) ป้อนความดันก๊าซจากถังอัดความดัน, ปรับความดันพอประมาณโดยใช้วาล์วregulaterจากนั้นส่งความดันก๊าซเข้าหน่วยควบคุมการทำงาน(Control unit)โดยการค่อย ๆ เปิดวาล์วGas inputหมายเลข(13)ระวังอย่าให้ความดันก๊าซที่ป้อนให้มีค่าเกิน30กก./ตร.ซม [โดยอ่านค่าความดันก๊าซจากPressure gauge หมายเลข(14)]

(3) เริ่มทำการอัดความดันโดยการเตรียมเปิดวาล์วควบคุมความดันก๊าซหมายเลข(4)

(4) เตรียมระเบียนข้อมูลไว้ให้พร้อม

(5) เปิดวาล์วควบคุมความดันก๊าซหมายเลข(4), จ้องดูPressure gaugeหมายเลข(2) แล้วเริ่มทำการอัดความดันก๊าซ(P_g)เป็นช่วง ๆ (Stepwise pressure) ตามที่ได้คำนวณไว้ก่อนล่วงหน้า โดยการคอยปรับวาล์วควบคุมความดันก๊าซหมายเลข(4). การอัดความดันในก๊าซเพิ่มในแต่ละช่วง OYO Corperation(1979) ได้แนะนำไว้ดังจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป. สำหรับวิธีการอัดความดันและวิธีการบันทึกข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้คือ

เมื่อเปิดวาล์วควบคุมหมายเลข(4) ค่อย ๆ ปรับวาล์วจนได้ค่าความดันก๊าซP_gที่อ่านได้จากPressure gauge หมายเลข(2) ถึงค่าความดันที่ต้องการซึ่งได้คำนวณไว้ก่อนล่วงหน้าแล้วสมมติความดันที่ต้องการครั้งมีค่าเป็นP เมื่อปรับวาล์วให้ความดันก๊าซถึงค่าPแล้ว ให้เริ่มจับเวลาทันที (ที่0วินาที). จากนั้นให้อ่านค่าระดับน้ำในหลอดStandpipeพร้อมกับบันทึกค่าระดับน้ำนี้เป็นค่าHในระเบียนข้อมูลที่เวลา15, 30, 60 และ120วินาที. ในช่วงเวลาที่105-120วินาทีให้อ่านค่าความดันน้ำที่ส่งให้ProbeจากPressure gauge หมายเลข(1) พร้อมบันทึกค่าความดันน้ำลงในระเบียนข้อมูลเป็นค่าCell pressure(P_c)

เพิ่มความดันเป็น2Pทำนองเดียวกันกับขั้นตอนที่ใช้ความดันเท่ากับPโดย

ดำเนินการอย่างต่อเนื่องทันทีกล่าวคือ เมื่อเพิ่มความดันถึง2Pแล้วให้เริ่มจับเวลาทันที(ที่0วินาทีของความดัน2P), อ่านค่าระดับน้ำในหลอดStandpipeพร้อมกับบันทึกค่าHที่เวลา15, 30, 60 และ120 วินาที. อ่านและบันทึกค่าP_cที่ช่วงเวลา105-120วินาที. เพิ่มความดันขึ้นเป็น3P, 4P, ...np ทำนองเดียวกับขั้นตอนข้างต้นจนกระทั่งถึงค่าความดันที่ทำให้ดินในหลุมเจาะวิบัติ.

ในการเพิ่มความดันทดสอบในแต่ละช่วงนี้มีข้อควรจดจำดังนี้คือ (1)การวัดค่าระดับน้ำ(H)ในหลอดStandpipeในแต่ละช่วงความดันนั้นต้องวัด4ครั้ง คือที่เวลา15, 30, 60 และ120 วินาที. (2)ความดันก๊าซ(P_g)ในถังน้ำที่อ่านได้จากPressure gauge หมายเลข(2) จะลดลง เมื่อระดับน้ำในถังน้ำหรือในหลอดStandpipeลดลง ดังนั้นต้องคอยปรับค่าความดันในก๊าซ(P_g). ให้ได้ค่าตามที่ต้องการเสมอ. (3)Cell pressure, P_cที่อ่านค่าได้จากPressure gauge หมายเลข (1) นั้นคือค่าความดันที่ส่งให้Probeในขณะทดสอบ ดังนั้นจะใช้เป็นค่าความดันที่จะนำมาแปลความหมายข้อมูลต่อไป. (4)การอ่านค่าระดับน้ำHในหลอดStandpipeต้องให้สายตาอยู่ในระดับเดียวกันกับระดับน้ำในหลอด.

5) การเพิ่มความดันก๊าซเป็นช่วง ๆ (Stepwise pressuring)

การอัดความดันที่ใช้ทดสอบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น. OYO Corporation(1979) ได้แนะนำจากประสบการณ์ว่าการเพิ่มความดันในแต่ละช่วงตามความลึกที่เพิ่มขึ้นนั้นควรเพิ่มตามค่าStanddard penetration,N-value ของดินที่ทดสอบ ดังแสดงค่าในตารางที่ก.1

6) ΔH

ΔH คือการเปลี่ยนแปลงของความเร็วในการเสียรูปของดินที่ทดสอบ(Change of deformation velocity)ได้จากค่าแตกต่างของระดับความสูงของน้ำในหลอดStandpipeที่เวลา120 กับ30วินาที ($\Delta H' = H'120" - H'30"$) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถแสดงถึงพฤติกรรมของดินขณะทำการทดสอบได้ว่าดินอยู่ในช่วงอีลาสติกหรือพลาสติกอย่างไร ดังจะได้กล่าวในหัวข้อที่ก.6 การแปลความหมายข้อมูลที่

ได้จากการทดสอบ.

ก.5.2 การคำนวณผลที่ได้จากการทดสอบ

มีขั้นตอนดังนี้

1) คำนวณปริมาณการเสียรูปครั้งสุดท้าย (Final deformation, H) ในแต่ละช่วงความดันที่ทดสอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับน้ำในหลอดStandpipeที่เวลา120วินาที กับระดับน้ำเริ่มต้นในStandpipeก่อนทำการทดสอบ(H=H´120"-Ho).

2) หาค่าความดันต้านทานของแผ่นยางของProbe (Rubber reaction, PG) จากกราฟความสัมพันธ์ของHกับPgที่ได้จากการCalibration ตามวิธีของ OYO Corporation ที่ค่าFinal deformation (H)นั้น ๆ.

3) หาค่าความดันน้ำสถิตย์ (Hydrostatic pressure, Ps) ณ. ความลึกของการทดสอบนั้น ๆ ที่ให้ค่ามากที่สุด เมื่อPcคือค่าCell pressure ที่อ่านได้จากPressure gauge หมายเลข(1) (ดูรูปที่ก.1)

4) คำนวณหาค่าความดันประสิทธิผล (Effective pressure, Pe) ณ. ความลึกของการทดสอบนั้น ๆ จากสมการต่อไปนี้

$$Pe=Pc+Ps-Pg \qquad (ก.1)$$

5) หาค่ารัศมีของProbe(r) จากกราฟความสัมพันธ์ของ Meam radius (rm)กับFinal deformation(H)ที่ได้จากการCalibrationตามวิธีของ Huang(1980) ที่ค่าHนั้น ๆ.

ก. 6 การแปลความหมายข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

(Interpretation of pressuremeter test data)

จากขั้นตอนการทดสอบPressuremeter testซึ่งได้แสดงไว้ข้างต้นนั้น สามารถแสดงผลการทดสอบได้โดยการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความดันประสิทธิผล(Pe)กับรัศมีของProbe(r)ซึ่งเรียกว่าPressurmeter curve(Pe-r curve) และโดยการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความดันประสิทธิผล(Pe)กับChange of deformation velocity(ΔH) ซึ่งเรียกว่าFlow curve(Pe-ΔH curve) (ดูรูปที่ก.3 และก.4 ประกอบ)

ในการแปลความหมายข้อมูลที่ได้ พารามิเตอร์ของดินที่จะได้รับจากการทดสอบ Pressuremeter test มีดังนี้

1) หน่วยแรงรวมในแนวราบในสภาพอยู่นิ่ง (Horizontal total pressure at rest, Po)

ความดันPoที่ได้จากการทดสอบPressuremeterนี้จะอยู่ในสภาพที่เป็นหน่วยแรงดันดินแบบสถิตย์(Static earth pressure). ดังนั้นโดยทางทฤษฎีแล้วค่าความดันPoที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าเท่ากับ หน่วยแรงรวมในแนวราบในสภาพอยู่นิ่ง, H_o

2) หน่วยแรงที่จุดคลาก (Yield Pressure, Py). ค่าความดันที่จุดปลายของส่วนที่เป็นเส้นตรงของPressuremeter curve (Pe-r curve) เรียกว่า"หน่วยแรงที่จุดคลาก"ซึ่งสามารถหาค่าได้จากตำแหน่งจุดที่หัวมุมของFlow curve (Pc-ΔH curve). ช่วงความดันตั้งแต่PoถึงPyนี้ จะเป็นช่วงอีลาสติก(Linear portion)ซึ่งจะนำมาใช้หาค่าโมดูลัสการเสียรูปของดิน(Deformation Modulus, Ep) ต่อไปได้

3) หน่วยแรงที่สภาวะสุดขีด (Limit pressure, P_ℓ). เป็นหน่วยแรงในช่วงพลาสติกได้นิยามไว้ว่า "หน่วยแรงสภาวะสุดขีดคือ ความดันที่ทำให้ช่องโพรง(Cavity)จากการทดสอบ Pressuremeterมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า". สำหรับในทางปฏิบัติแล้วการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าPeนี้ทำได้ลำบากและมีความเสี่ยงต่อการระเบิดเสียหายของเครื่องมือทดสอบเนื่องจากต้องใช้ความดันสูง. ดังนั้นการหาค่าPeจึงมักใช้การExtrapolationซึ่งสามารถทำได้โดยวิธี OYO Method.

4) หน่วยแรงสุทธิที่สภาวะสุดขีด (Net limit pressure, P_ℓ*). เป็นความดันที่ใช้แสดงสภาพวิบัติของดินฐานราก สามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$P_\ell^* = P_\ell - P_o \qquad (ก.2)$$

เมื่อPeและPo คือค่าหน่วยแรงที่สภาวะสุดขีดและหน่วยแรงรวมในแนวราบในสภาพอยู่นิ่ง ซึ่งหาค่าได้จากการทดสอบPressuremeter.

5) โมดูลัสการเสียรูปของดิน (Deformation modulus, Ep). เป็นโมดูลัสของดินที่อยู่ในช่วงอีลาสติก ในการคำนวณหาค่าEpนี้จะสมมติว่าดินอยู่ในสภาพPlane strain condition และเป็นตัวกลางอีลาสติก(Elastic medium). ค่าโมดูลัสการเสียรูปของดิน, Epสามารถหาได้จากสมการซึ่งเสนอโดยOYO Corporation แห่งประเทศญี่ปุ่นดังนี้

$$Ep = (1+\nu).\ rm.\ Km. \qquad (ก.3)$$

เมื่อ ν =Poisson's Ratio มีค่าเท่ากับ0.5สำหรับดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และ 0.33สำหรับดินทั่วไป

rm=รัศมีที่กึ่งกลางของProbeในช่วงอีลาสติก(Linear portion) ของ Pressuremeter curve.

Km=อัตราส่วนของความดันที่เพิ่มขึ้นต่อรัศมีของProbeที่เพิ่มขึ้นในช่วงอีลาสติกของ Pressuremeter curve. (ซึ่งก็คือค่าความลาดชันในช่วงอีลาสติก)

6) กำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาพไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, Sup) สำหรับในดินเหนียวหรือดินที่มีความเชื่อมแน่น(Cohesive soil) ซึ่งสมมติว่าดินมีพฤติกรรมเป็น

แบบIdeal elastic-plastic(ไม่เกิดvolume change) นั้นสามารถคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว, Supได้จากวิธีของ Gibson และAnderson(1961) ดังนี้

$$Sup = \frac{P_\ell - Po}{1+\ln\left[E_p / 2Sup(1-\nu)\right]} \qquad (ก.4)$$

เมื่อ P_ℓ =หน่วยแรงที่สภาวะสุดขีด (Limit pressure)

Po =หน่วยแรงรวมในแนวราบในสภาพอยู่นิ่ง (Horizontal total pressure at rest)

Ep =โมดูลัสการเสียรูปของดิน (Deformation modulus) หาค่าได้จากสมการที่ก.3

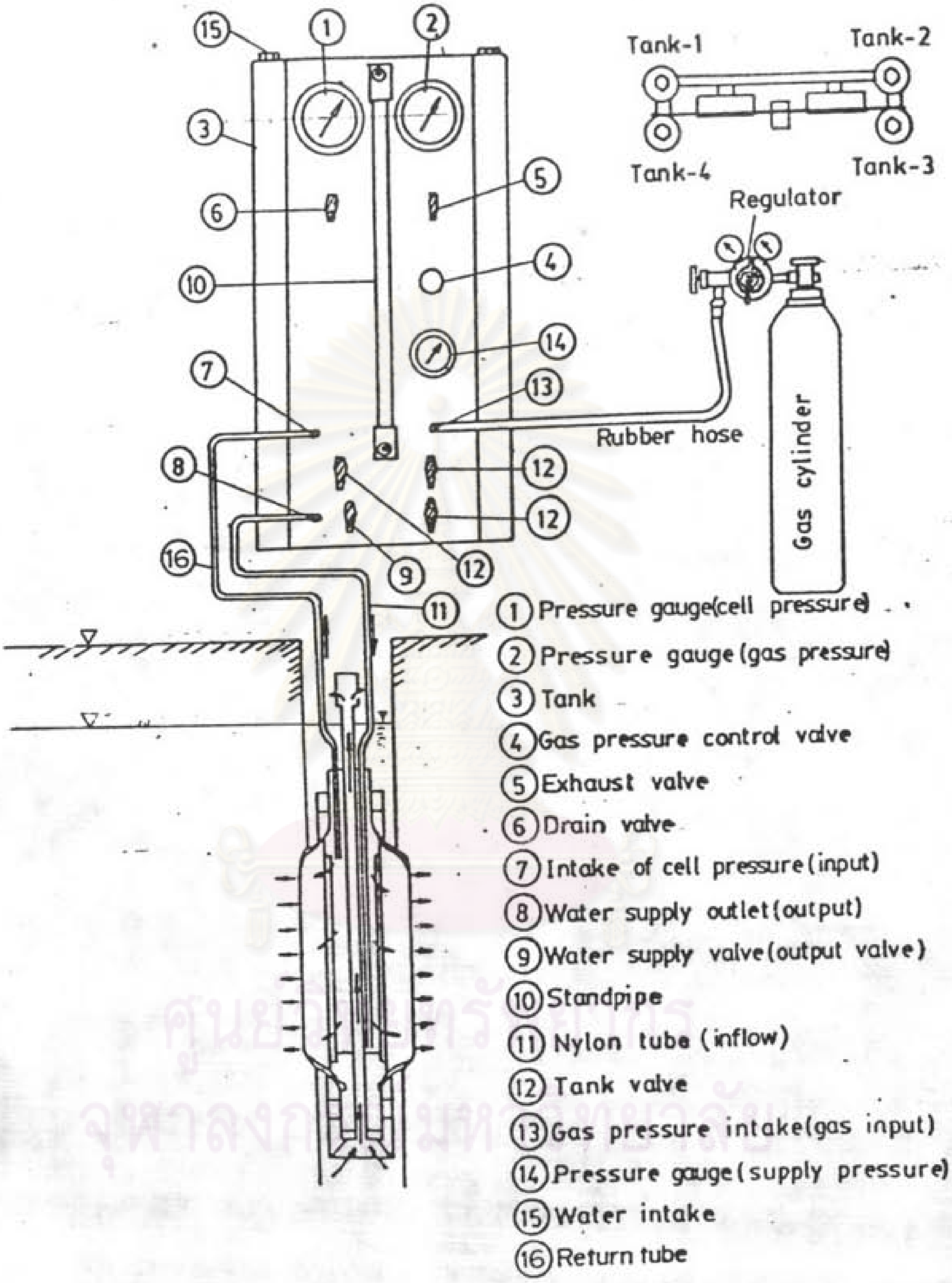
ν =Poisson´s ratio

Sup =กำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบ Pressuremeter test

สำหรับดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่ระบายน้ำนั้นจะมีค่าPoisson´s Ratio ν=0.5. ดังนั้นสมการที่ก.4 สามารถเขียนได้เป็น

$$Sup = \frac{P_\ell - Po}{1+\ln(Ep/3Sup)} \qquad (ก.5)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

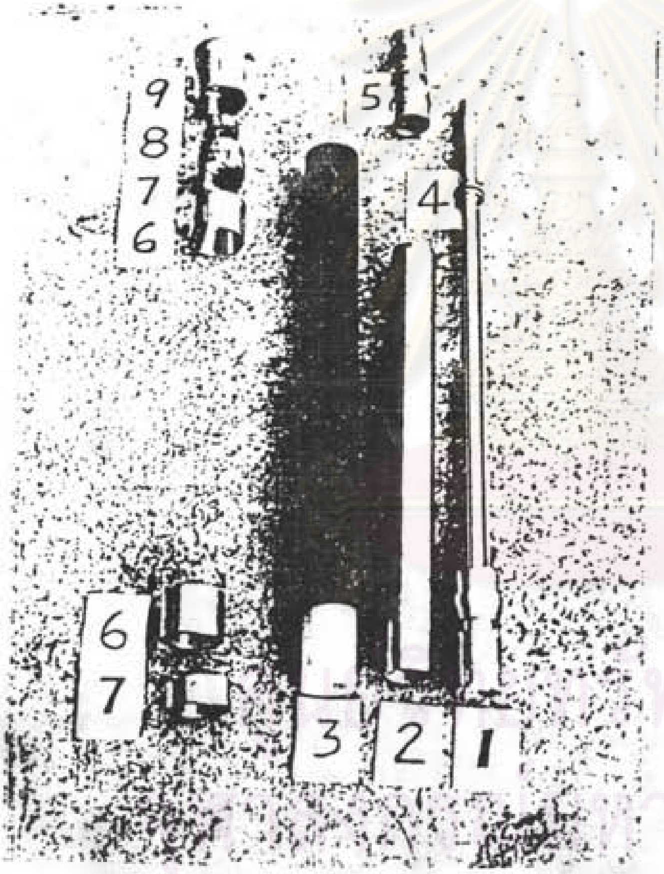


รูปที่ ก.1 ระบบการทำงาน และส่วนประกอบPressuremeter test.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

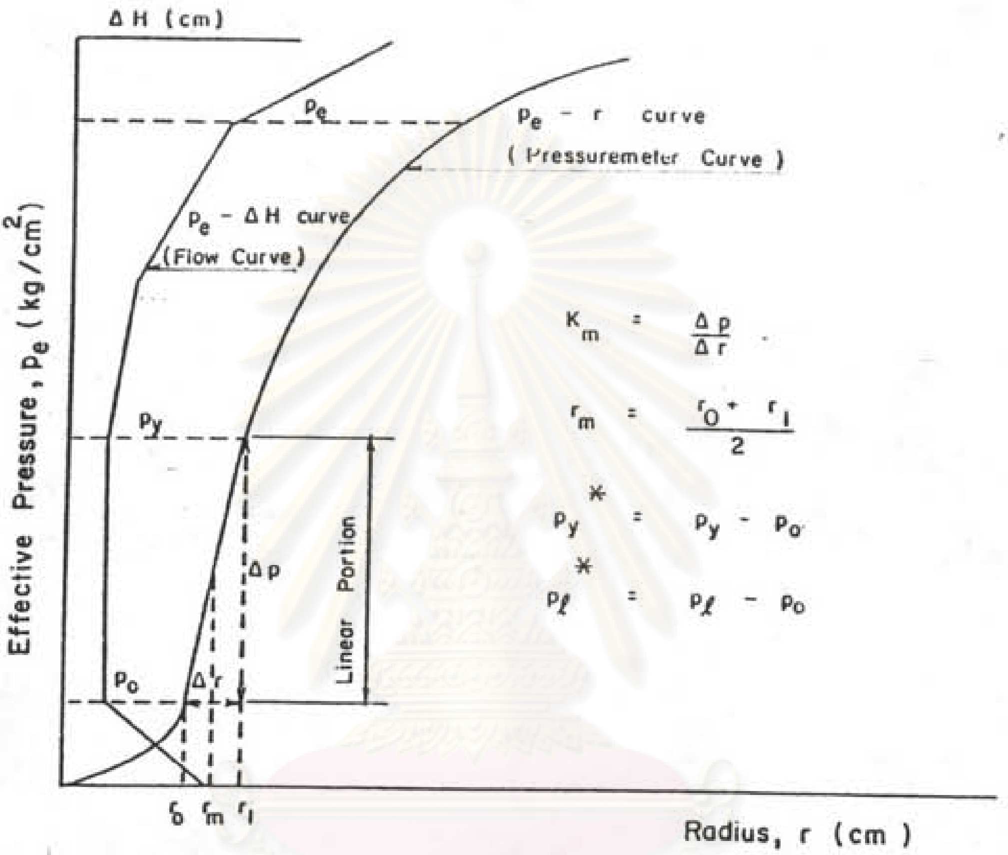
ตารางที่ ก.1 การเพิ่มความดันเป็นช่วง ๆ (Stepwise pressuring) โดยวิธีของ OYO Corporation(1979)

Soil category	Sandy soil				Cohesive soil			
N value	below 4	4~15	15~30	30	below 2	2~8	8~15	over 15
Pressuring step	0.2	0.2~0.4	0.5	1.0	0.1~0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0
Pressure gauge used	10kg/cm^2		30kg/cm^2		10kg/cm^2		30kg/cm^2	



1. Central hollow rod
2. Slotted steel tube
3. Rubber membranes
4. O ring
5. Shoulder
6. Ring
7. Nuts
8. Collar
9. Cutting shoe

รูปที่ ก.2 ส่วนประกอบของ Probe ที่ใช้ใน Pressuremeter test.



รูปที่ ก.3 การแสดงผลการทดสอบและการแปลความหมายข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างแสดงผลการทดสอบ Pressuremeter test.

ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LATERAL LOAD TESTER RECORD

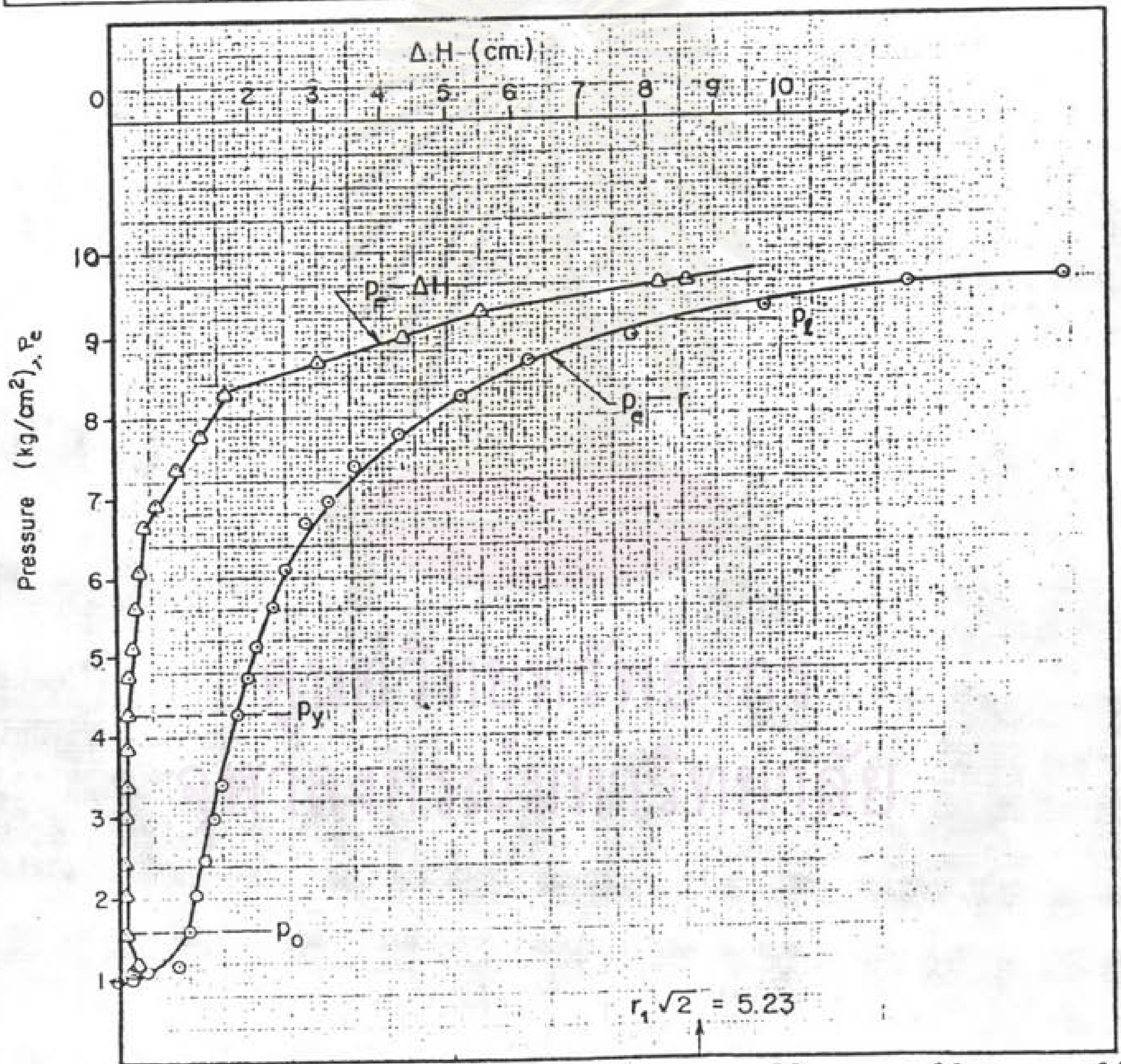
138

Project ____________ Location AIT Campus

Test No. PG - 3 Depth 10.5 m Description of Test Site ____________

Tested by ____________ Date 25/3/'80

Earth Pressure at Rest p_o (kg/cm²)	Yield Pressure p_y (kg/cm²)	Limit Pressure p_ℓ (kg/cm²)	Radius (cm)	K_m Value $K_m = \frac{\Delta p}{\Delta r}$ (kg/cm³)	Elastic Modulus (kg/cm²) $E_p = (1+\nu)\cdot K_m \cdot r_m$
1.59	4.33	9.13	r_1 = 3.70 r_2 = 3.85 r_m = 3.775	$\frac{2.74}{0.15} = 18$	= 102



ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างการบันทึกระเบียนข้อมูลของการทดสอบ Pressuremeter test

Project :			
Test No.	PG-3	Depth	D =-10.50m
Date of test	25/3/80	Time	09 : 10
Soil type	stiff clay	N Value	
Number of rubber tubes used: 2	Inner tube : natural rubber Outer tube : synthetic rubber		

Measured by :		Natural water level :	-1.40 m
Recorded by :		Borehole water level :	0.00 m
Equipment No.		Ht. of cell pressure gauge of L.L.T H_G = 1.2 m	

(A) Initial water level of standpipe , H_o	0.48
(B) Water level of standpipe after insertion . H'_o	0.96

Notes : 1. P_g is obtained from $H-P_g$ curve determined from calibration in drum filled with water

2. $P_s = \gamma_w (D+H_G)$; P_s = 1.17 kg/cm^2

3. P_e is obtained from $P = P_c + P_s - P_G$

Cell pressure P_c (kg/cm²)	Gas pressure P_g (kg/cm²)	Water level in standpipe , H' (cm) 15 sec	30 sec	60 sec	120 sec	ΔH (cm) $H'_{120}-H'_{30}$	H (cm) $H'_{120}-H_o$	P_G (kg/cm²)	$P_G - P_c$ (kg/cm²)	P_e (kg/cm²)	r (cm)
								0.12		1.05	3.53
0.20	0.25	1.40	1.68	1.79	1.87	0.19	1.39	0.28		1.09	3.58
0.48	0.50	2.34	2.78	2.88	3.03	0.25	2.55	0.47		1.18	3.67
1.00	1.00	3.58	3.67	3.70	3.74	0.07	3.26	0.58		1.59	3.70
1.50	1.50	3.91	3.95	3.99	4.01	0.06	3.53	0.61		2.06	3.72
1.95	2.00	4.19	4.21	4.26	4.28	0.07	3.80	0.65		2.47	3.75
2.50	2.50	4.50	4.54	4.58	4.64	0.10	4.16	0.69		2.98	3.78
2.95	3.00	4.82	4.89	4.97	4.99	0.10	4.51	0.72		3.40	3.80
3.45	3.50	5.24	5.28	5.38	5.40	0.12	4.98	0.76		3.86	3.82
3.97	4.00	5.70	5.79	5.87	5.97	0.18	5.49	0.81		4.33	3.85
4.45	4.50	6.21	6.30	6.40	6.48	0.18	6.00	0.86		4.76	3.88
4.95	5.00	6.81	6.88	6.99	7.09	0.21	6.61	0.90		5.12	3.91
5.40	5.50	7.40	7.51	7.67	7.77	0.26	7.29	0.94		5.63	3.96
5.90	6.00	8.09	8.25	8.41	8.57	0.32	8.09	0.98		6.09	4.00
6.42	6.50	8.87	9.10	9.27	9.51	0.41	9.03	1.05		6.54	4.06
6.90	7.00	9.88	10.14	10.44	10.71	0.57	10.23	1.11		6.96	4.13
7.40	7.50	11.14	11.46	11.77	12.27	0.81	11.79	1.17		7.40	4.21
7.86	8.00	12.80	13.26	13.84	14.51	1.25	14.03	1.23		7.80	4.35
8.40	8.50	15.20	15.71	16.70	17.31	1.60	17.83	1.34		8.23	4.54
8.90	9.00	18.90	19.48	20.50	22.51	3.03	22.03	1.38		8.69	4.75
9.21	9.50	23.40	24.40	26.40	28.80	4.40	28.32	1.41		8.97	5.06
9.60	10.00	29.90	31.80	33.50	37.38	5.58	36.90	1.49		9.28	5.45
10.00	10.50	38.80	40.35	43.40	48.60	8.25	48.12	1.58		9.59	5.90
10.20	11.00	50.30	52.10	55.50	60.70	8.60	60.22	1.75		9.62	6.38

Condition during measurement

ประวัติผู้เขียน

นายพิพัฒน์ ศรีวัฒนพงศ์ เกิดวันที่ 16 พฤศจิกายน 2503 จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีพ.ศ.2526 เข้าศึกษาต่อในภาควิชาวิศวกรรมโยธาบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีพ.ศ.2530 ปัจจุบันทำงานที่ บริษัท โปรเจค แพลนนิ่ง เซอร์วิส จำกัด

นายพิพัฒน์ ศรีวัฒนพงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย