การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2535
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 26-29 พฤศจิกายน 2535

การคำนวณผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด 3 แกน โดยใช้โปรแกรมโลตัส-123

CALCULATION OF RESULT OF TRIAXIAL COMPRESSION TESTS OF SOIL BY USING LOTUS-123

นายวิชัย สังวรปทานสกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

WICHAI SUNGWORNPATANSAKUL
Assistant Professor
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
KMITT

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ จะอธิบายถึงวิธีการใช้โปรแกรม โลตัส-123 และโปรแกรมเสริมชื่อ ออลเวย์ส ในการคำนวณ และทำรายงานผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด 3 แกน ของดินทุกแบบ พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างของตารางคำนวณ และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ diviator stress กับ strain ค่าของ divided stress กับ strain ค่าของ pore pressure กับ strain ค่าของ A-parameter กับ strain ลักษณะของ stress path และ Mohr's circle ในลักษณะข้อความผสมรูปภาพกราฟฟิกส์ เพื่อเผยแพร่ให้แก่ผู้ที่สนใจทั่วไป

SUMMARY

This paper presents the procedure of using LOTUS-123 with an add in program, ALLWAYS, in calculating and reporting the result of triaxial compression tests of soil. Some examples of worksheet and graphs show relationship between deviator stress and strain, divided stress and strain, pore pressure and strain, A-parameter and strain, stress path and Mohr's circle in combination of text and graphic form are also shown and distributed to any interested person as a public domain software.

บทนำ

โปรแกรม โลตัส-123 (LOTUS-123) เป็นโปรแกรมตารางคำนวณอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดโปรแกรมหนึ่ง ซึ่งมีความเหมาะสมในการสร้างตารางคำนวณงานด้านวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี ทั้งยังมีฟังก์ชั่นในการสร้างรูปภาพกราฟฟิกส์จากผลการคำนวณได้หลายรูปแบบ นอกจากนี้ ยังมีโปรแกรมเสริมที่ดี อาทิเช่น โปรแกรม ออลเวย์ส (ALLWAYS) ซึ่งช่วยให้การทำรายงานผลการทดสอบ มีรูปแบบที่สวยงามและเพิ่มความสะดวกในการทำงานได้มากขึ้น

ในหัวข้อต่อไปนี้ จะได้กล่าวถึงวิธีการใช้โปรแกรมดังกล่าว ในการคำนวณและทำรายงานผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด 3 แกน ของดิน ทั้ง 3 แบบ คือ Unconsolidated Undrained, Consolidated Undrained และ Consolidated Drained ซึ่งจะใช้คำย่อแทนคือ UU, CU และ CD ตามลำดับ พร้อมทั้งตัวอย่างไว้ในตอนท้ายของบทความนี้

หลักการที่ใช้ในการสร้างตารางคำนวณ

ในการคำนวณผลการทดสอบแต่ละแบบ ผู้เขียนได้แยกตารางคำนวณออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

(ก) กลุ่มของไฟล์ตารางคำนวณผลการทดสอบ เพื่อสร้างและพิมพ์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับความเครียด (Strain) คือ Deviator Stress, Divided Stress, Pore Pressure (ถ้ามี), A-Parameter (ถ้ามี) และ ลักษณะของ Stress Path จะมี 2 ไฟล์ ซึ่งใช้ชื่อเหมือนกัน นำหน้าด้วยตัวอักษร TRI และตามด้วยตัวอักษร UU1, UU3, CU หรือ CD เพื่อแสดงประเภทของการทดสอบ แต่นามสกุลจะเป็น WK1 โดยตัวเลขที่อยู่ข้างท้ายจะหมายถึงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ

(ข) กลุ่มของไฟล์ตารางคำนวณเพื่อสร้างและพิมพ์กราฟวงกลมและเส้นโอบของโมห์ร โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มไฟล์สร้างกราฟ จะมี 2 ไฟล์ ซึ่งใช้ชื่อเหมือนกัน นำหน้าด้วยตัวอักษร MOHR และตามด้วยตัวอักษร UU1, UU3, CU หรือ CD เพื่อแสดงประเภทของการทดสอบ แต่นามสกุลจะเป็น WK1 และ ALL และกลุ่มไฟล์พิมพ์ผลซึ่งใช้ชื่อว่า PRTMOHR.WK1 และ PRTMOHR.ALL ซึ่งใช้พิมพ์ผลได้ทุกแบบของการทดสอบ

ในไฟล์ทุกไฟล์ ข้อมูลในส่วนที่ผู้ใช้ไม่ควรแก้ไข จะถูกป้องกันไว้ หากผู้ใช้ต้องการแก้ไขข้อมูลในส่วนนั้นจริงๆ ควรจะได้ศึกษาวิธีการในคู่มือโปรแกรม โลตัส-123 [1] และโปรแกรม ออลเวย์ส [2] ให้เข้าใจและทำสำเนาไฟล์ทั้งหมดไว้เสียก่อน

การเตรียมงานก่อนใช้โปรแกรม

เพื่อความสะดวกในการทำงาน ผู้ใช้ควรสร้างไดเร็กทอรี่ชื่อ LOTUS สำหรับบันทึกโปรแกรม โลตัส-123 และ ออลเวย์ส แล้วสร้างไดเร็กทอรี่ย่อยของ LOTUS ใช้ชื่อ TRIAXIAL สำหรับบันทึกไฟล์ตารางคำนวณทั้งหมด ในกรณีที่ใช้ชื่อไดเร็กทอรี่ที่แตกต่างจากนี้ ผู้ใช้จะต้องแก้ไขชื่อไดเร็กทอรี่ที่ระบุไว้ในตารางคำนวณให้ตรงกับความเป็นจริงด้วย

การใช้ตารางคำนวณผลการทดสอบ

ตารางคำนวณผลการทดสอบทั้งหมด จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ด้วยกัน คือ

(ก) ส่วนของข้อมูลดิบ เป็นส่วนที่อยู่ด้านบนและซ้ายสุดของตารางคำนวณ ระหว่างเซลล์ A1 ถึง G60 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ในเซลล์ A1 จะเป็นหัวข้อแสดงว่าเป็นการทดสอบประเภทใด
ในเซลล์ C3 จะเป็นชื่อของตัวอย่างที่ทดสอบ
ในเซลล์ D7 ถึง F7 จะเป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
ในเซลล์ D8 ถึง F8 จะเป็นค่าความสูงเดิมของตัวอย่าง
ในเซลล์ D9 ถึง F9 จะเป็นค่าการทรุดตัวของตัวอย่าง (ถ้ามี)
ในเซลล์ D10 ถึง F10 จะเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่าง (ถ้ามี)
ในเซลล์ D11 ถึง F11 จะเป็นค่า Calibration Factor ของ Proving Ring
ในเซลล์ D12 ถึง F12 จะเป็นค่า Calibration Factor ของ Pore Pressure Reading
ในเซลล์ D13 ถึง F13 จะเป็นค่า Cell Pressure

ในบรรทัดที่18 เป็นต้นไปจะเป็นค่า Load Reading และ Pore Pressure Reading (ถ้ามี) โดยในคอลัมน์ที่ A จะเป็นค่า Strain Reading ซึ่งได้กำหนดไว้เป็นต้นแบบเพื่อให้ได้กราฟที่มีสัดส่วนสวยงามพอดี ซึ่งจะให้ค่าของความเครียดระหว่าง 1 ถึง 22 เปอร์เซนต์ โดยประมาณ ในคอลัมน์ B ถึง G จะเป็นค่า Load Reading และ Pore Pressure Reading ของตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

(ข) ส่วนของการคำนวณและสร้างกราฟ เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเซลล์ A67 ถึง L255 และเซลล์ M47 ถึง P225 จะใช้ในการดึงข้อมูลดิบมาทำการคำนวณและสร้างกราฟ ในการทดสอบแบบ UU แบบ 1 ตัวอย่าง จะสร้างกราฟชื่อ DEVIA1, DIVIDE1, และ PQ รวม 3 ภาพ ในการทดสอบแบบ UU แบบ 3 ตัวอย่าง และ CD จะสร้างกราฟชื่อ DEVIA1, DEVIA2, DEVIA3, DIVIDE1, DIVIDE2, DIVIDE3 และ PQ รวม 7 ภาพ ในการทดสอบแบบ CU จะสร้างกราฟเพิ่มขึ้นอีก 6 ภาพ คือ PORE1, PORE2, PORE3, APARA1, APARA2 และ APARA3 รวมทั้งสิ้น 13 ภาพ

ในการสร้างกราฟ ผู้ใช้จะต้องเรียกกราฟที่กำหนดชื่อไว้ให้แล้วมาดูทีละภาพ โดยใช้คำสั่งมาโครที่ได้สร้างไว้ให้ ด้วยการกดแป้น Alt-G เพียงครั้งเดียว โปรแกรมจะเรียกกราฟทั้งหมดมาให้ดูทีละภาพ

ผู้ใช้ป้อนค่าของ Cell Pressure ของแต่ละภาพ ให้ถูกต้องตามความต้องการ สำหรับกราฟ PQ ได้กำหนดค่าบนแกนทั้ง 2 ไว้สูงสุด 12 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หากค่าดังกล่าวไม่เพียงพอ ก็สามารถจะแก้ไขได้ แต่จะต้องแก้ไขให้สเกลของกราฟทั้ง 2 แกน เท่ากันด้วย เมื่อได้แก้ไขกราฟแต่ละภาพแล้ว โปรแกรมจะบันทึกกราฟนั้นลงในไฟล์ชื่อเดียวกับกราฟนั้นโดยอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการพิมพ์ผลต่อไป เมื่อได้แก้ไขทุกอย่างเสร็จสิ้นแล้ว ควรเก็บตารางคำนวณไว้ในไฟล์ชื่อใหม่เพื่อตรวจสอบและแก้ไขในโอกาสต่อไปด้วย

ในการพิมพ์ตารางคำนวณ ให้ใช้คำสั่งมาโครที่ได้สร้างไว้ให้ โดยการกดแป้น Alt-P เพียงครั้งเดียว โปรแกรมจะส่งตารางคำนวณทั้งหมดไปยังเครื่องพิมพ์ทันที

<u>การใช้ตารางคำนวณเพื่อสร้างวงกลมและเส้นโอบของโมห์ร</u>

เมื่อไฟล์ตารางคำนวณเพื่อสร้างวงกลมและเส้นโอบของโมห์รถูกเรียกใช้งาน คำสั่งมาโครที่กำหนดไว้จะทำงานและแจ้งให้ผู้ใช้ป้อนชื่อไฟล์ตารางคำนวณผลการทดสอบที่จะให้อ่านข้อมูลให้ด้วย จากนั้นจะเปิดไฟล์ที่ระบุชื่อให้เพื่ออ่านข้อมูล จากนั้นจะคำนวณหาค่า Cohesion และ Angle of Internal Friction และข้อมูลสำหรับสร้างวงกลมและเส้นโอบของโมห์ร แล้วจะแสดงกราฟให้ดู หากผู้ใช้ต้องการแก้ไขค่า Cohesion และ Angle of Internal Friction ให้เข้าไปแก้ไขที่ เซลล์ C14 และ C15 ได้ เมื่อได้กราฟที่พอใจแล้ว ให้แก้ไขรายละเอียดต่างๆให้ถูกต้อง โดยเฉพาะค่าสเกลบนแกนทั้ง 2 ให้เท่ากับที่ใช้ในกราฟ PQ ให้เก็บไว้ในไฟล์ชื่อ MOHR

ในกรณีที่มีการแก้ไขค่า Cohesion และ Angle of Internal Friction ไม่ควรเก็บบันทึกไว้ในไฟล์ชื่อเดิม เพราะจะมีผลให้คำสั่งมาโครที่สร้างไว้สูญหายไปหมด

<u>การใช้ตารางคำนวณเพื่อพิมพ์กราฟ ภาพวงกลมและเส้นโอบของโมห์ร</u>

ตารางคำนวณสำหรับใช้ในงานพิมพ์กราฟ ภาพวงกลมและเส้นโอบของโมห์ร คือ ไฟล์ GRAPHUU1, GRAPHUU3, GRAPHCU และ GRAPHCD เมื่อไฟล์ดังกล่าวถูกเรียกใช้ จะไม่มีอะไรปรากฏบนจอภาพ เพราะเป็นส่วนซึ่งจะมองไม่เห็นในเมื่ออยู่ในโหมดของโลตัส-123 ผู้ใช้จะต้องเรียกให้โปรแกรมออลเวย์สทำงานจึงจะเห็นภาพของกราฟที่ได้บันทึกไว้ในไฟล์แล้ว

ในการพิมพ์กราฟ ให้ใช้คำสั่ง PRINT ในโหมดของโปรแกรม ออลเวย์ส

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

1. Lotus Development Corporation, LOTUS-123 Manual.

2. Funk Software Co., Ltd., ALLWAYS Manual, 1988.

TRIAXIAL COMPRESSION (CIU) TEST

SAMPLE NUMBER TPC-1, 1.75-3.50 m.

		TEST # 1	TEST # 2	TEST # 3
INITIAL DIAMETER	(mm)	35.00	35.00	35.00
INITIAL HEIGHT	(mm)	70.00	70.00	70.00
SETTLEMENT	(mm)	0.05	0.30	0.16
VOLUME CHANGE	(cc)	0.15	0.30	0.30
LOAD FACTOR	(kg/div)	0.0371	0.0371	0.0371
PORE PRESSURE FACTOR	(ksc/div)	0.25	0.25	0.25
CELL PRESSURE	(ksc)	1.00	2.00	4.00

DEFORMATION DIAL	TEST # 1		TEST # 2		TEST # 3	
	LOAD DIAL READING	PORE PRESSURE READING	LOAD DIAL READING	PORE PRESSURE READING	LOAD DIAL READING	PORE PRESSURE READING
0.01 mm	0.002 mm	unit	0.002 mm	unit	0.002 mm	unit
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.50	256.00	0.00	445.00	0.00	65.00	0.00
35.00	316.00	0.00	530.00	0.00	170.00	0.00
52.50	353.00	0.00	584.00	0.00	220.00	0.00
70.00	373.00	0.00	620.00	0.00	290.00	0.00
87.50	387.00	0.00	648.00	0.00	410.00	0.00
105.00	397.00	0.00	670.00	0.00	550.00	0.00
122.50	405.00	0.00	689.00	0.00	655.00	0.00
140.00	411.00	0.00	702.00	0.00	735.00	0.00
157.50	416.00	0.00	713.00	0.00	798.00	0.00
175.00	420.00	0.00	723.00	0.00	852.00	0.00
210.00	429.00	0.00	738.00	0.00	933.00	0.10
245.00	439.00	0.00	750.00	0.00	1002.00	0.10
280.00	447.00	0.00	761.00	0.00	1058.00	0.10
315.00	452.00	0.00	770.00	0.00	1104.00	0.10
350.00	459.00	0.00	779.00	0.00	1144.00	0.10
385.00	462.00	0.00	785.00	0.00	1175.00	0.10
420.00	465.00	0.00	792.00	0.00	1199.00	0.10
455.00	469.00	0.00	799.00	0.00	1219.00	0.10
490.00	474.00	0.00	804.00	0.00	1238.00	0.10
525.00	480.00	0.00	810.00	0.00	1256.00	0.10
560.00	484.00	0.00	815.00	0.00	1268.00	0.10
595.00	487.00	0.00	826.00	0.00	1281.00	0.10
630.00	490.00	0.00	838.00	0.00	1298.00	0.10
665.00	494.00	0.00	846.00	0.00	1312.00	0.10
700.00	499.00	0.00	855.00	0.00	1327.00	0.10
770.00	506.00	0.00	873.00	0.00	1355.00	0.10
840.00	510.00	0.00	879.00	0.00	1381.00	0.10
910.00	516.00	0.00	885.00	0.00	1408.00	0.10
980.00	523.00	0.00	894.00	0.00	1425.00	0.10
1050.00	531.00	0.00	901.00	0.00	1410.00	0.10
1120.00	537.00	0.00	903.00	0.00	1402.00	0.10
1190.00	542.00	0.00	905.00	0.00	1398.00	0.10
1260.00	549.00	0.00	907.00	0.00		
1330.00	554.00	0.00	910.00	0.00		
1400.00	560.00	0.00	913.00	0.00		
1470.00	568.00	0.00	915.00	0.00		
1540.00	574.00	0.00	915.00	0.00		

รูปที่ 1 ตัวอย่างตารางคำนวณในส่วนของข้อมูลดิบ

TRIAXIAL COMPRESSION (CIU) TEST

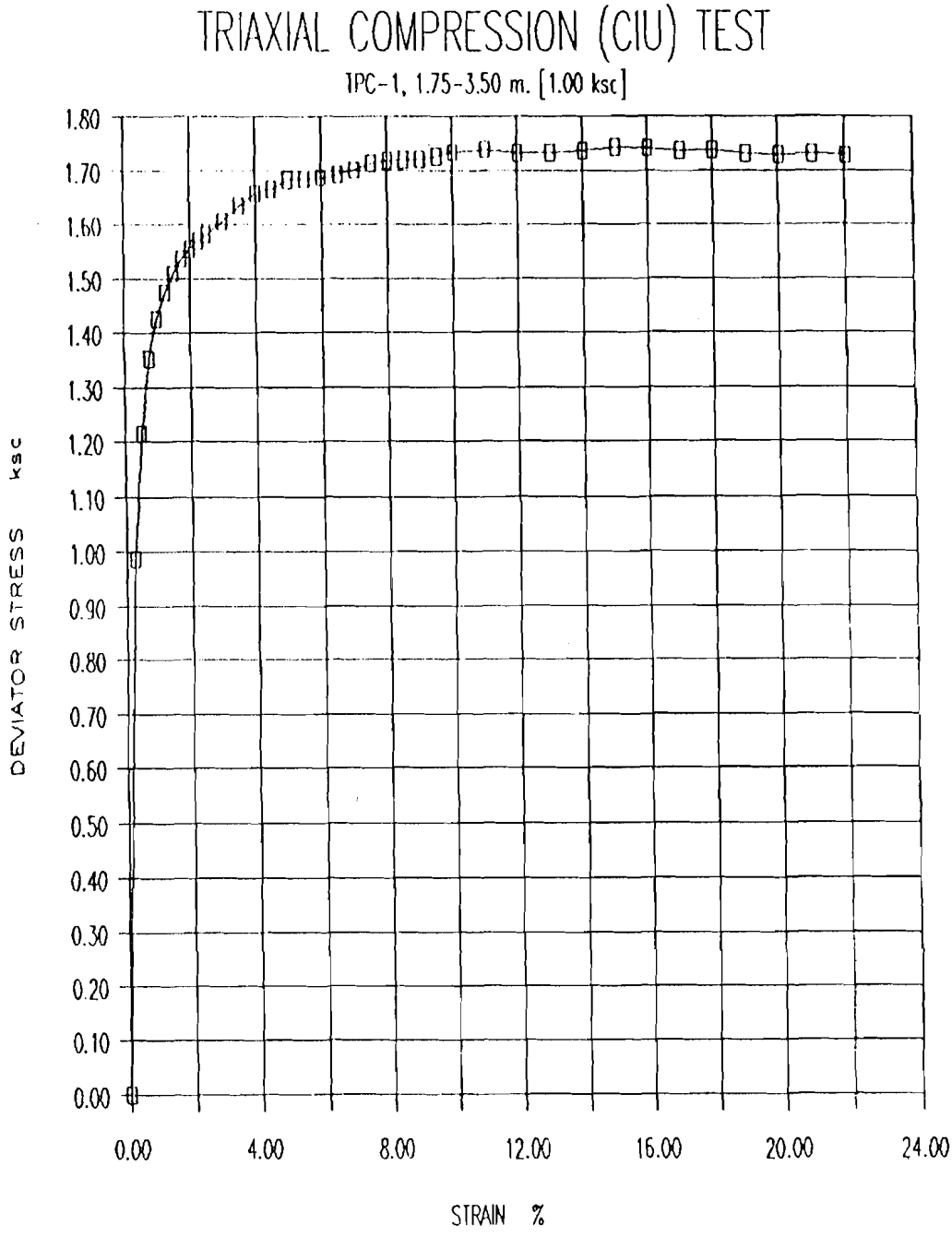
SAMPLE NUMBER TPC-1, 1.75-3.50 m.

INITIAL DIAMETER	(mm)	35.00	FINAL DIAMETER	(mm)	34.97
INITIAL HEIGHT	(mm)	70.00	FINAL HEIGHT	(mm)	69.95
SETTLEMENT	(mm)	0.05	SAMPLE AREA	(sq.cm)	9.61
VOLUME CHANGE	(cc)	0.15	LOAD FACTOR	(kg/div)	0.0371
CELL PRESSURE	(ksc)	1.00	PORE PRESSURE FACTOR	(ksc/div)	0.25

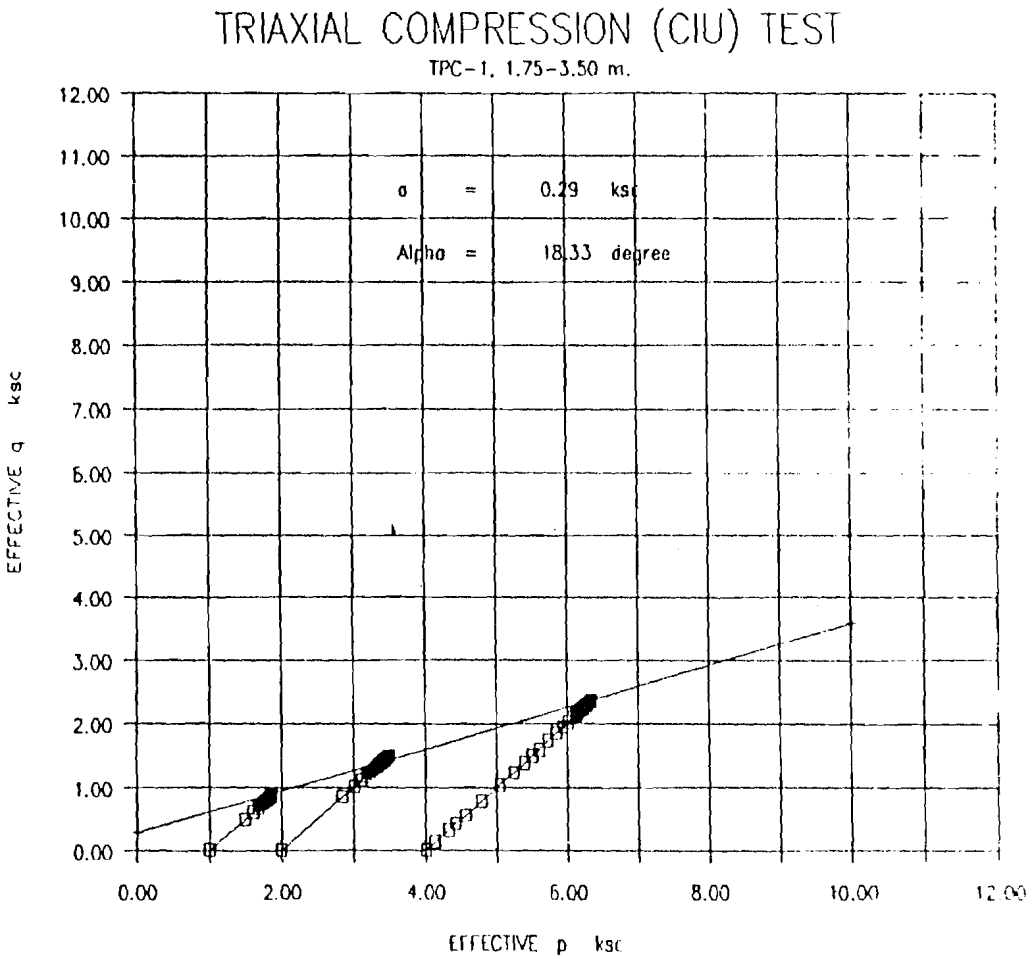
STRAIN %	DEVIATOR LOAD kg	PORE PRESSURE ksc	DEVIATOR STRESS ksc	EFFECTIVE SIGMA 1 ksc	EFFECTIVE SIGMA 3 ksc	EFFECTIVE P ksc	EFFECTIVE Q ksc	EFFECTIVE SIG 1/SIG 3 ksc	PORE PRESSURE PARAMETER A
0.00	0.00	0.000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.000
0.25	9.50	0.000	0.9862	1.9862	1.0000	1.4931	0.4931	1.9862	0.000
0.50	11.72	0.000	1.2143	2.2143	1.0000	1.6071	0.6071	2.2143	0.000
0.75	13.10	0.000	1.3530	2.3530	1.0000	1.6765	0.6765	2.3530	0.000
1.00	13.84	0.000	1.4261	2.4261	1.0000	1.7130	0.7130	2.4261	0.000
1.25	14.36	0.000	1.4759	2.4759	1.0000	1.7379	0.7379	2.4759	0.000
1.50	14.73	0.000	1.5102	2.5102	1.0000	1.7551	0.7551	2.5102	0.000
1.75	15.03	0.000	1.5367	2.5367	1.0000	1.7683	0.7683	2.5367	0.000
2.00	15.25	0.000	1.5555	2.5555	1.0000	1.7777	0.7777	2.5555	0.000
2.25	15.43	0.000	1.5704	2.5704	1.0000	1.7852	0.7852	2.5704	0.000
2.50	15.58	0.000	1.5814	2.5814	1.0000	1.7907	0.7907	2.5814	0.000
3.00	15.92	0.000	1.6070	2.6070	1.0000	1.8035	0.8035	2.6070	0.000
3.50	16.29	0.000	1.6360	2.6360	1.0000	1.8180	0.8180	2.6360	0.000
4.00	16.58	0.000	1.6572	2.6572	1.0000	1.8286	0.8286	2.6572	0.000
4.50	16.77	0.000	1.6670	2.6670	1.0000	1.8335	0.8335	2.6670	0.000
5.00	17.03	0.000	1.6839	2.6839	1.0000	1.8420	0.8420	2.6839	0.000
5.50	17.14	0.000	1.6860	2.6860	1.0000	1.8430	0.8430	2.6860	0.000
6.00	17.25	0.000	1.6880	2.6880	1.0000	1.8440	0.8440	2.6880	0.000
6.50	17.40	0.000	1.6934	2.6934	1.0000	1.8467	0.8467	2.6934	0.000
7.01	17.59	0.000	1.7023	2.7023	1.0000	1.8512	0.8512	2.7023	0.000
7.51	17.81	0.000	1.7146	2.7146	1.0000	1.8573	0.8573	2.7146	0.000
8.01	17.96	0.000	1.7195	2.7195	1.0000	1.8598	0.8598	2.7195	0.000
8.51	18.07	0.000	1.7208	2.7208	1.0000	1.8604	0.8604	2.7208	0.000
9.01	18.18	0.000	1.7219	2.7219	1.0000	1.8610	0.8610	2.7219	0.000
9.51	18.33	0.000	1.7264	2.7264	1.0000	1.8632	0.8632	2.7264	0.000
10.01	18.51	0.000	1.7343	2.7343	1.0000	1.8671	0.8671	2.7343	0.000
11.01	18.77	0.000	1.7390	2.7390	1.0000	1.8695	0.8695	2.7390	0.000
12.01	18.92	0.000	1.7331	2.7331	1.0000	1.8665	0.8665	2.7331	0.000
13.01	19.14	0.000	1.7335	2.7335	1.0000	1.8668	0.8668	2.7335	0.000
14.01	19.40	0.000	1.7368	2.7368	1.0000	1.8684	0.8684	2.7368	0.000
15.01	19.70	0.000	1.7429	2.7429	1.0000	1.8714	0.8714	2.7429	0.000
16.01	19.92	0.000	1.7418	2.7418	1.0000	1.8709	0.8709	2.7418	0.000
17.01	20.11	0.000	1.7371	2.7371	1.0000	1.8685	0.8685	2.7371	0.000
18.01	20.37	0.000	1.7383	2.7383	1.0000	1.8691	0.8691	2.7383	0.000
19.01	20.55	0.000	1.7327	2.7327	1.0000	1.8664	0.8664	2.7327	0.000
20.01	20.78	0.000	1.7298	2.7298	1.0000	1.8649	0.8649	2.7298	0.000
21.02	21.07	0.000	1.7326	2.7326	1.0000	1.8663	0.8663	2.7326	0.000
22.02	21.30	0.000	1.7287	2.7287	1.0000	1.8644	0.8644	2.7287	0.000

MAX. DIVIATOR STRESS	1.7429	ksc
FAILURE EFF. SIGMA 1	2.7429	ksc
FAILURE EFF. SIGMA 3	1.0000	ksc

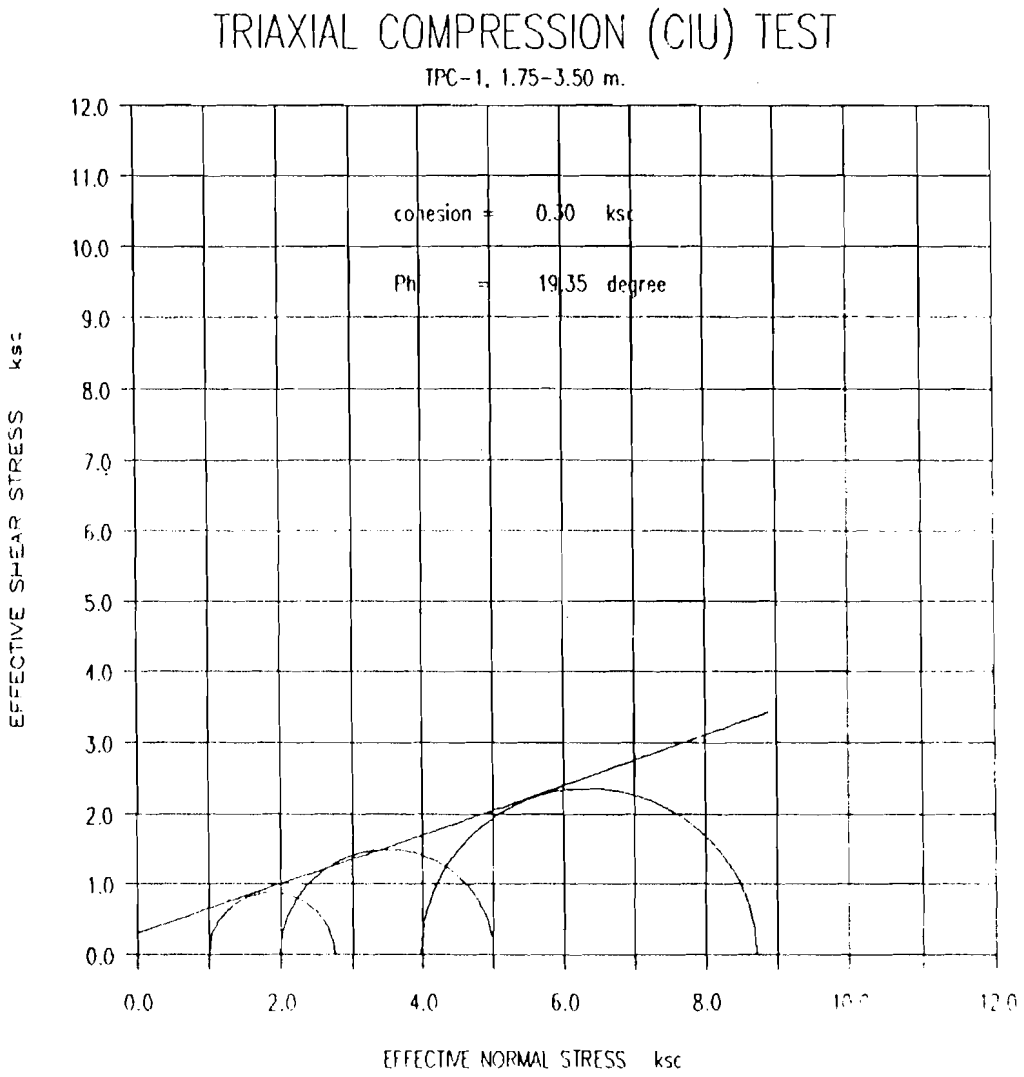
รูปที่ 2 ตัวอย่างตารางคำนวณในส่วนของการคำนวณผล



รูปที่ 3 ตัวอย่างกราฟ Diviator Stress กับ Strain



รูปที่ 4 ตัวอย่างกราฟ Stress Path



รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟวงกลมและเส้นโอบของโมห์ร