

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ด้วยกันคือ

- 1) ผลการทดลองคุณสมบัติทั่วไป
- 2) ผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง Triaxial แบบ Isotropically Consolidated Undrained Extension (CIUE)

4.1.1 ผลการทดลองคุณสมบัติทั่วไป (Index Properties)

จากการเก็บตัวอย่างดินแล้วนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทั่วไปของดินโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 : ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของดินที่ใช้ในการทดสอบ

คุณสมบัติ	ความลึก (เมตร)		
	4.0	8.0	12.0
Natural water content (w.)%	60 ⁺⁴	64 ⁺⁴	62 ⁺⁴
Liquid Limit (L.L.)%	72 ⁺¹	79 ⁺¹	83 ⁺¹
Plastic Limit (P.L.)%	34 ⁺¹	37 ⁺¹	39 ⁺¹
Plastic Index (P.I.)%	38 ⁺¹	42 ⁺¹	44 ⁺¹
Specific Gravity (Gs)	2.60	2.67	2.72
Average Unit Weight (t/m ³)	1.58	1.59	1.65

จากตัวอย่างดินที่เก็บมานั้นนำมาตรวจสอบหาค่าความหนาแน่นของดินและคำนวณหาค่าหน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ (in-situ total vertical stress) และค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ (in situ effective vertical stress) ของตัวอย่างดินโดยใช้ค่าความดันน้ำในโพรงดินอยู่ในลักษณะ hydrostatic condition และมีระดับน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จากผิวดิน และทำการทดลองแบบ one- dimensional oedometer เพื่อหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่ดินเคยได้รับตามธรรมชาติ (maximum past pressure) ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 และค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

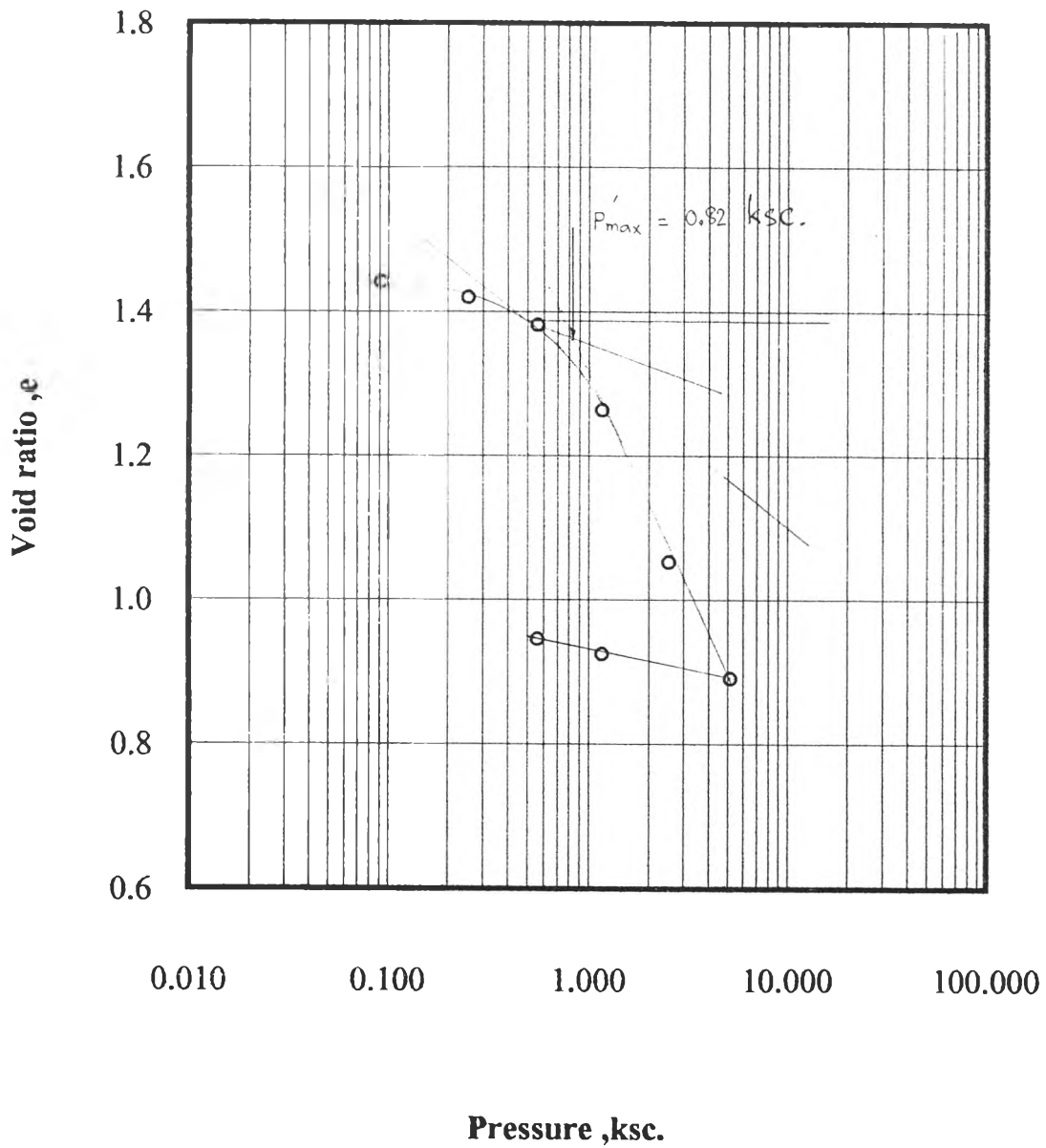
ตารางที่ 4.2 : ตารางแสดงค่าหน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ,ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ และ ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่ดินเคยได้รับตามธรรมชาติ

ระดับความลึก (เมตร)	σ_{v0} (kN/m ²)	σ'_{v0} (kN/m ²)	σ'_{vm} (kN/m ²)	OCR
4.00	62	32.57	80.44	2.47
8.00	124.78	56.11	88.29	1.57
12.00	189.52	81.61	90.25	1.10

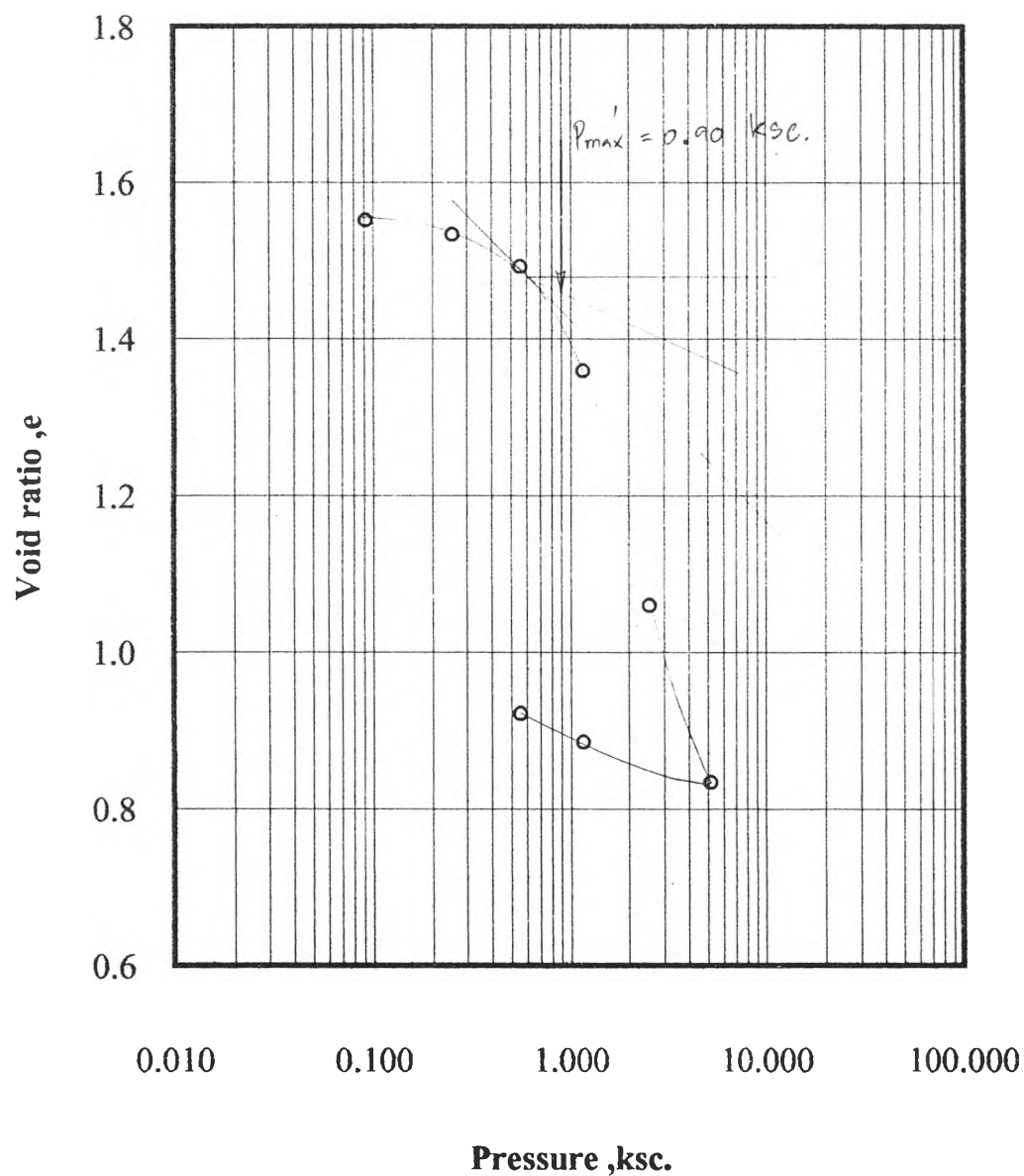
และผลที่ได้จากการทดลองแบบ one- dimensional oedometer นั้นยังสามารถหาค่า λ และค่า e_{cs} ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง Modified Cam- Clay ดังได้ผลในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4,4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.3 : ตารางแสดงค่า λ , κ และค่า e_{cs} ที่ระดับความลึกต่างๆ

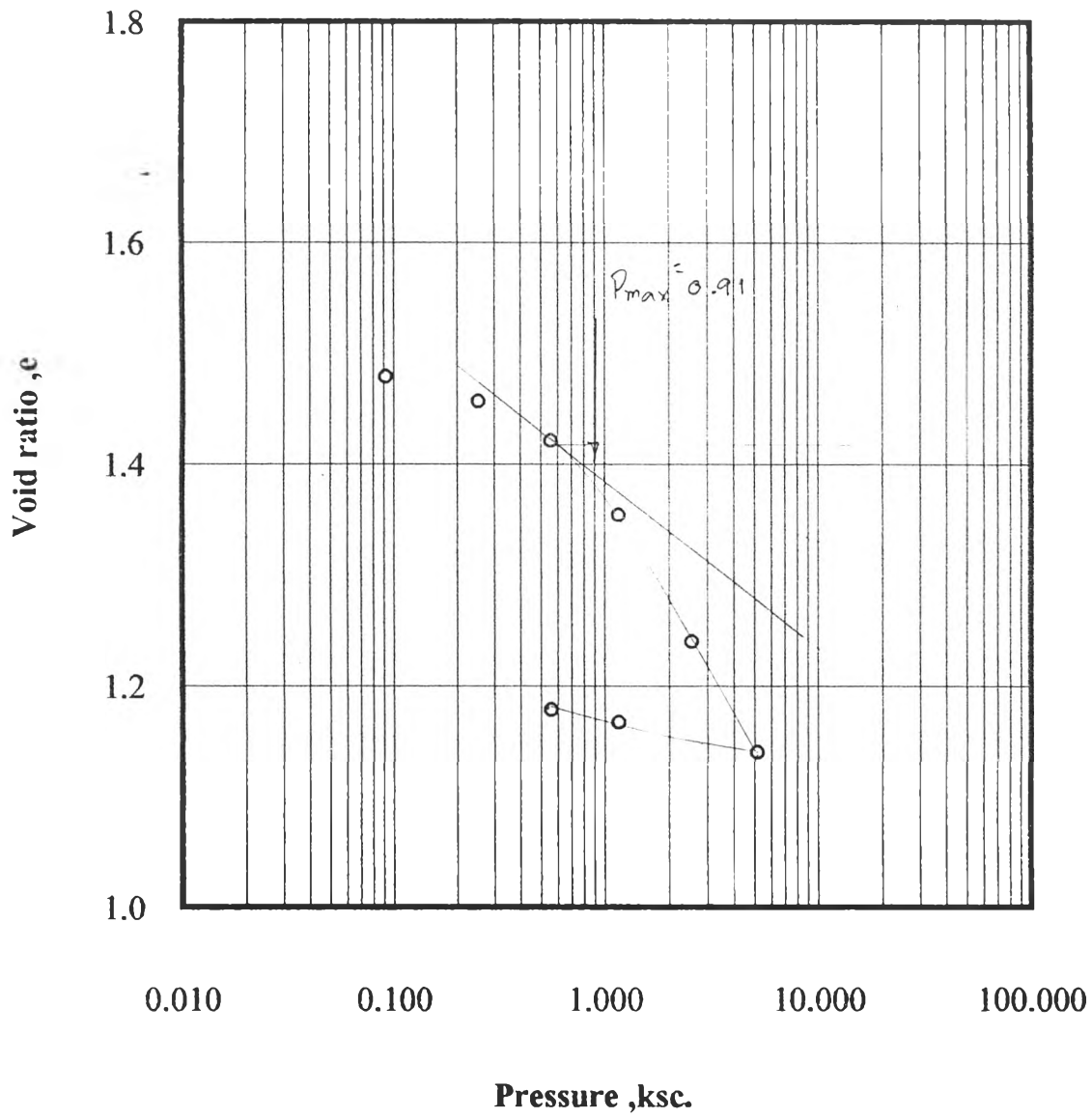
ระดับความลึก (เมตร)	λ	κ	e_{cs}	M
4.00	0.24	0.025	2.30	0.973
8.00	0.35	0.05	2.70	0.909
12.00	0.14	0.017	1.87	0.833



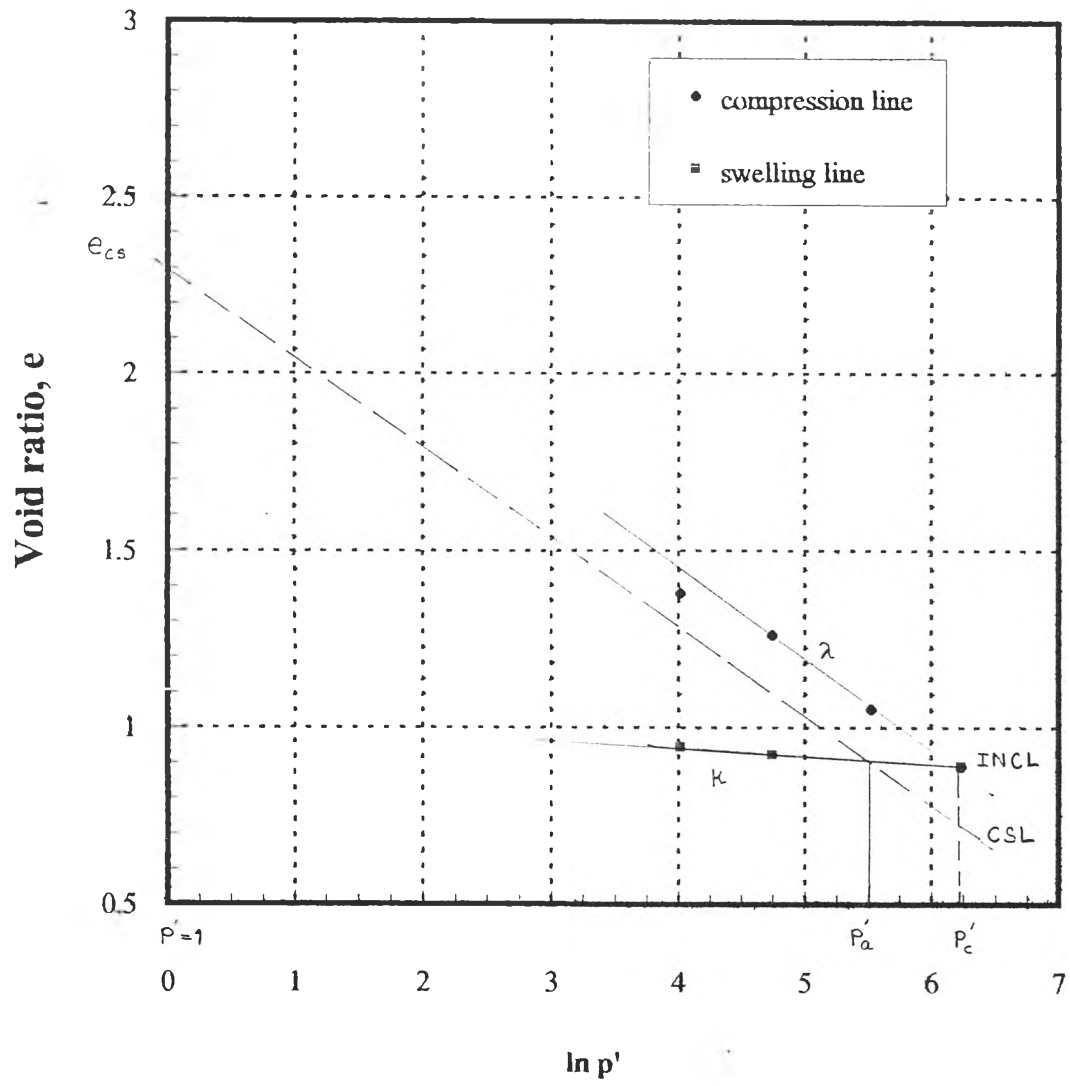
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ ที่ระดับความลึก 4.00 ม. จากการทดลอง one-dimensional oedometer



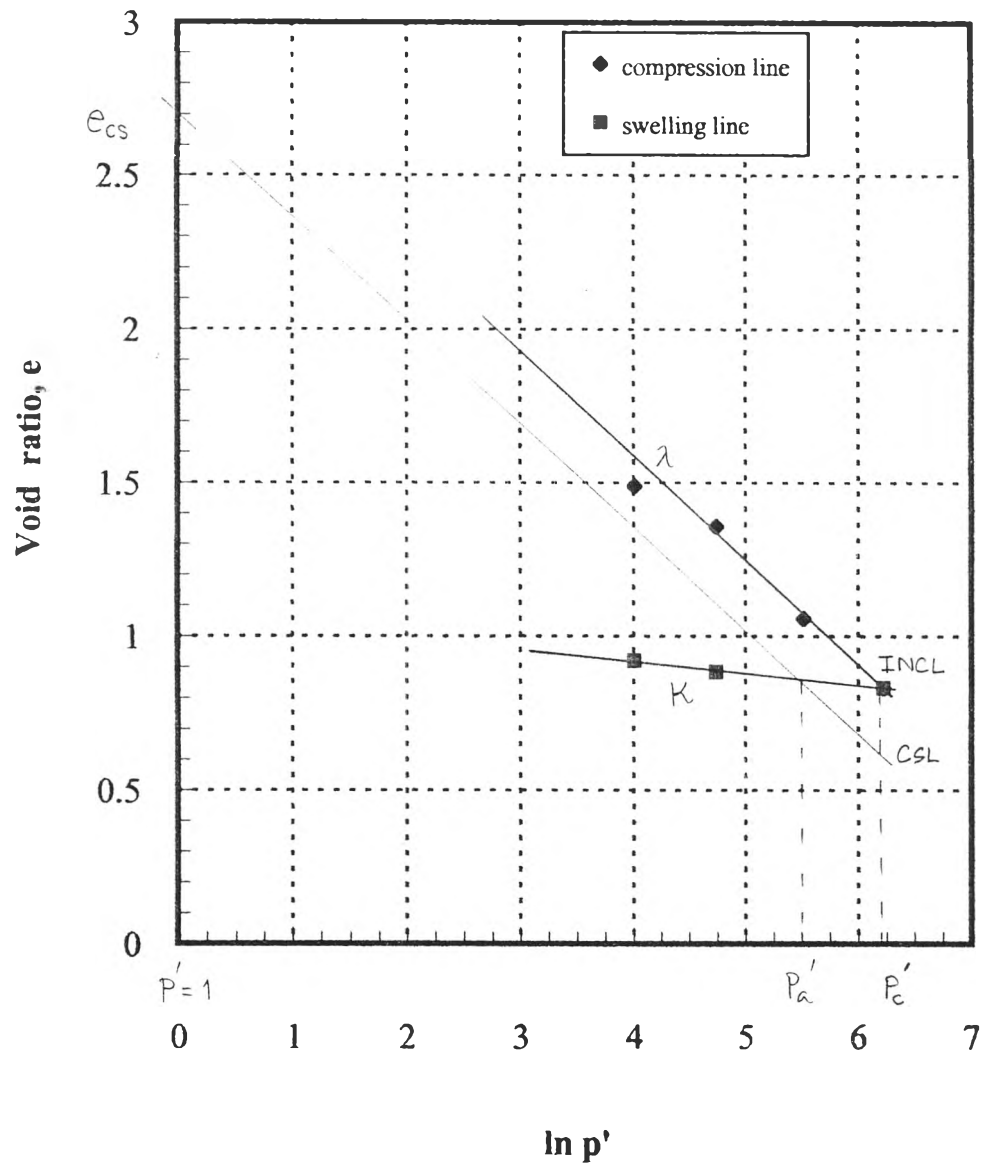
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ
ที่ระดับความลึก 8.0 ม. จากการทดลอง one-dimensional oedometer



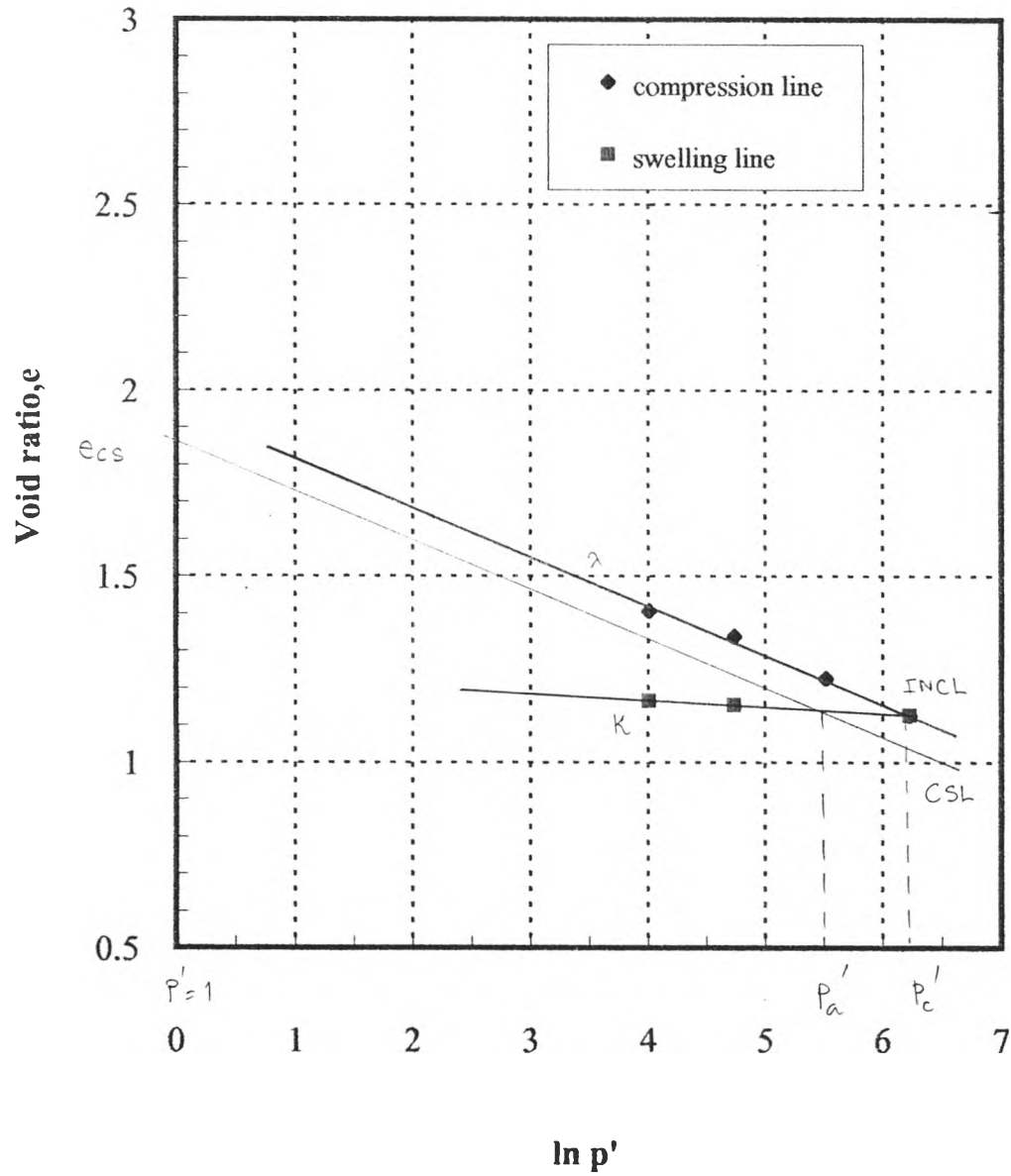
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ ที่ระดับความลึก 12.0 เมตร จากการทดลอง one - dimensional oedometer



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการหาค่า λ และ K จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 4.00 ม.



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการหาค่า λ และ K จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 8.00 ม.



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการหาค่า λ และ K จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 12.0 ม.

4.1.2 ผลการทดสอบ Triaxial แบบ Isotropically Consolidated Undrained Extension (CIUE)

จากการทดลอง Triaxial แบบ Isotropically Consolidated Undrained Extension Test ของ ตัวอย่างดินเหนียวจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่ระดับความลึก 4 เมตร, 8 เมตร และ 12 เมตร โดยการเปลี่ยนแปลงค่า Confining Stress และในการวิจัยนี้ใช้อัตราการลดแรงในแนวตั้งที่ทำให้เกิดการวิบัติมีค่าเท่ากับ -0.5 นิวตัน ต่อนาที่ พบว่าได้ผลการทดลองดังนี้

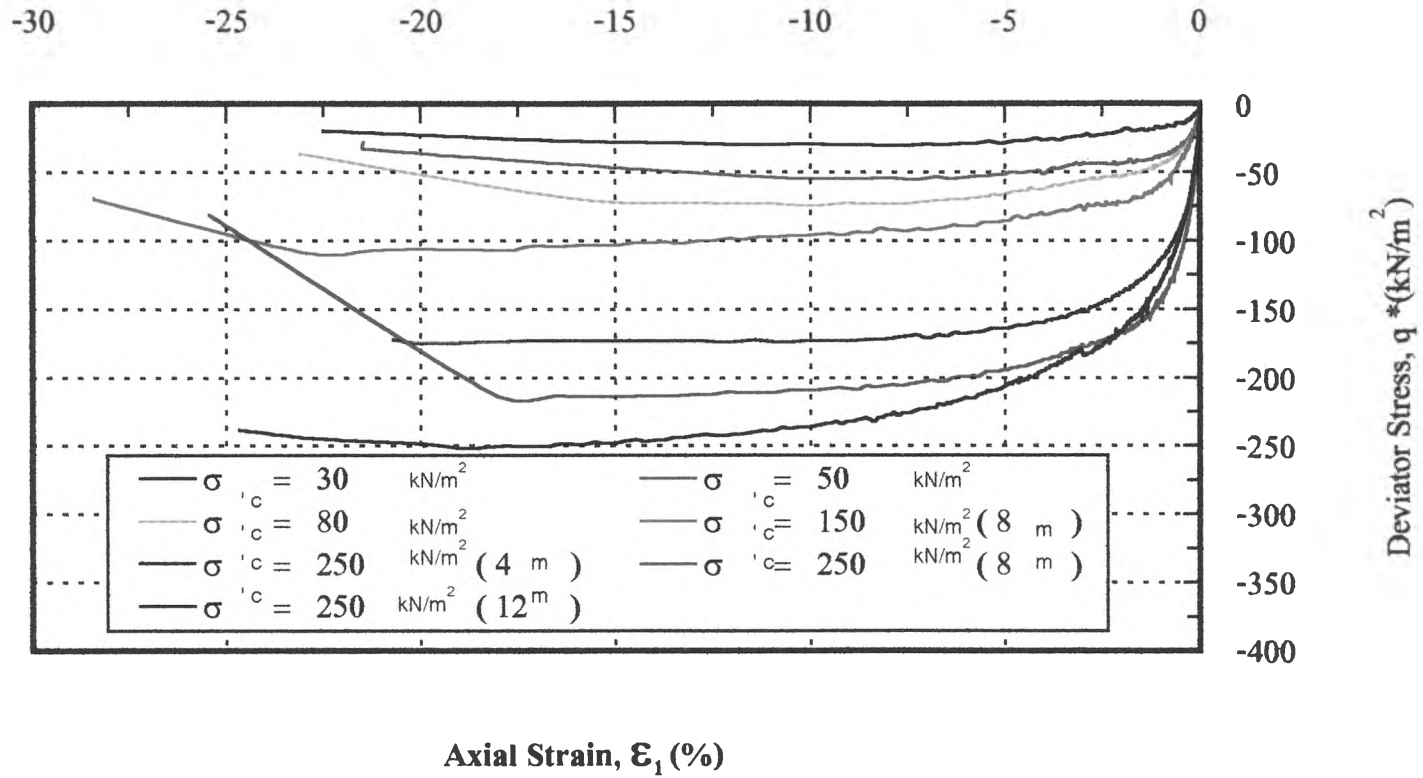
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า deviator stress ($q^* = \sigma'_1 - \sigma'_3$) และค่า % axial strain ที่ได้มาจากการทดลอง CIUE ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่ากราฟที่ได้จะมีความชันลดลงจากค่าเริ่มต้นและลดลงจนคงที่ในขณะที่ตัวอย่างวิบัติ

สำหรับค่า Initial Young's Modulus (E_{ini}) จะคำนวณที่ตำแหน่งความชันเริ่มต้น โดยจากการทดลองจะอยู่ที่ประมาณ axial strain 0.01 % ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Initial Young's Modulus (E_{ini}) ที่ได้จากการทดลอง

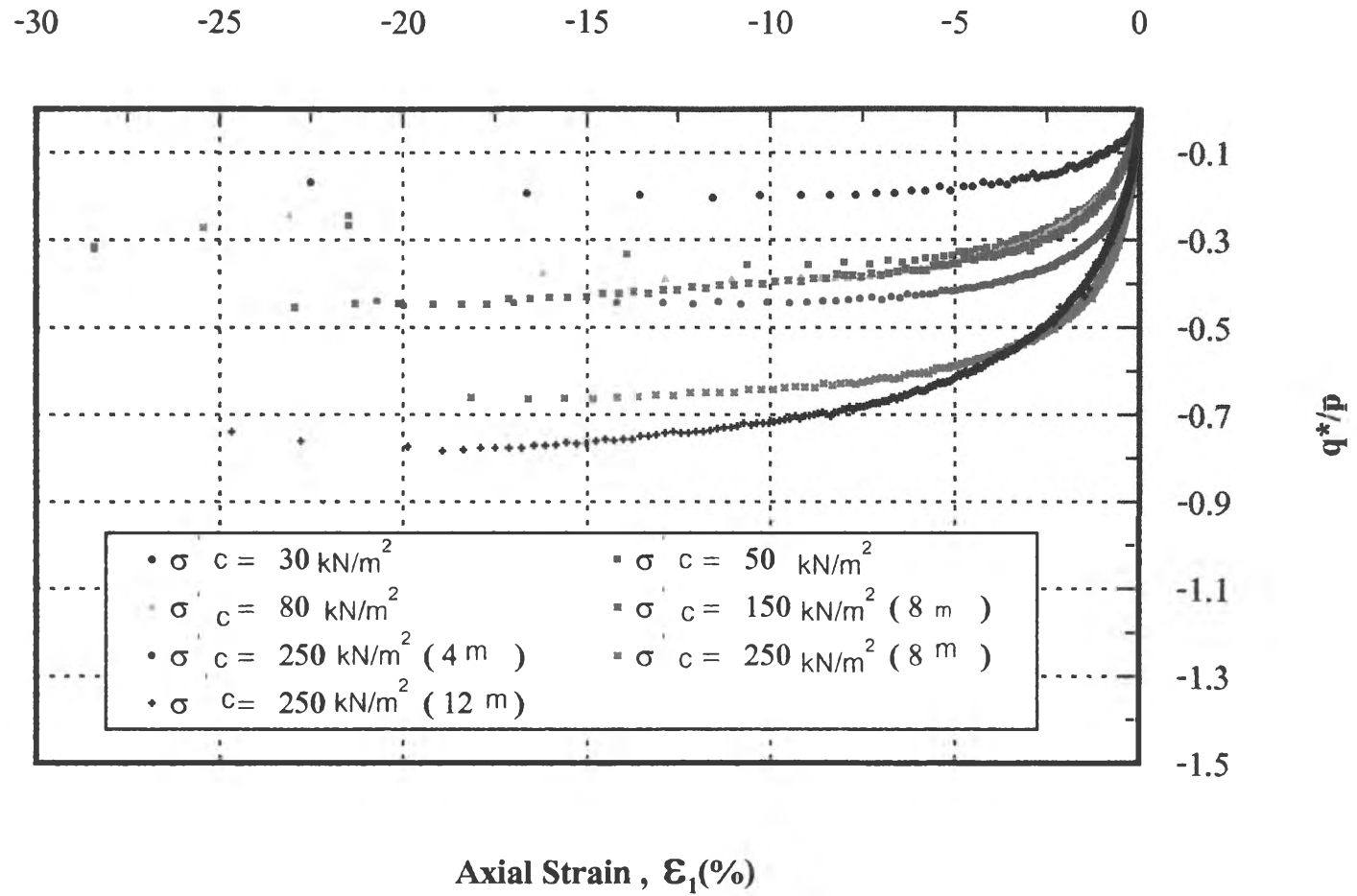
ตารางที่ 4.4 : ตารางแสดงค่า Initial Young's Modulus

Sample	Initial overburden Stress, $(\sigma'_v)_{ini}$ (kPa)	Initial Young's Modulus, E_{ini} (Mpa)
4.0 m.	30	6
	250	18
8.0 m.	50	13
	150	16
	250	40
12.0 m.	80	14
	250	37

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการ Normalized ค่า deviator stress ด้วยค่า mean total stress กับ ค่า % axial strain ที่ได้มาจากการทดลอง CIUE ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่ากราฟที่ได้จะมีความชันและลักษณะของเส้นกราฟขึ้นอยู่กับค่า Confining Stress ส่วนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการ Normalized ค่า deviator stress ด้วยค่า mean effective stress กับ ค่า % axial strain ที่



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Deviator Stress กับ ค่า % Axial Strain



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า q^*/p และค่า % Axial Strain

ได้มาจากผลการทดลอง CIUE ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่ากราฟที่ได้จะมีความชันเริ่มต้นใกล้เคียงกันที่ Confining Stress ต่างๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess pore pressure กับ ค่า % axial strain ที่ได้มาจากผลการทดลอง CIUE ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าค่า Excess pore pressure ที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นลบ และเมื่อค่า % axial strain เพิ่มมากขึ้นค่า Excess pore pressure จะเป็นลบมากขึ้นด้วยและเมื่อคืนเริ่มวัดค่า Excess pore pressure จะคงที่และจะเป็นลบน้อยลง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการ Normalized ค่า Excess pore pressure ด้วยค่า Confining Stress กับ ค่า % axial strain ที่ได้มาจากผลการทดลอง CIUE ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่ากราฟที่ได้ของตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างกันและค่า Confining Stress เดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์

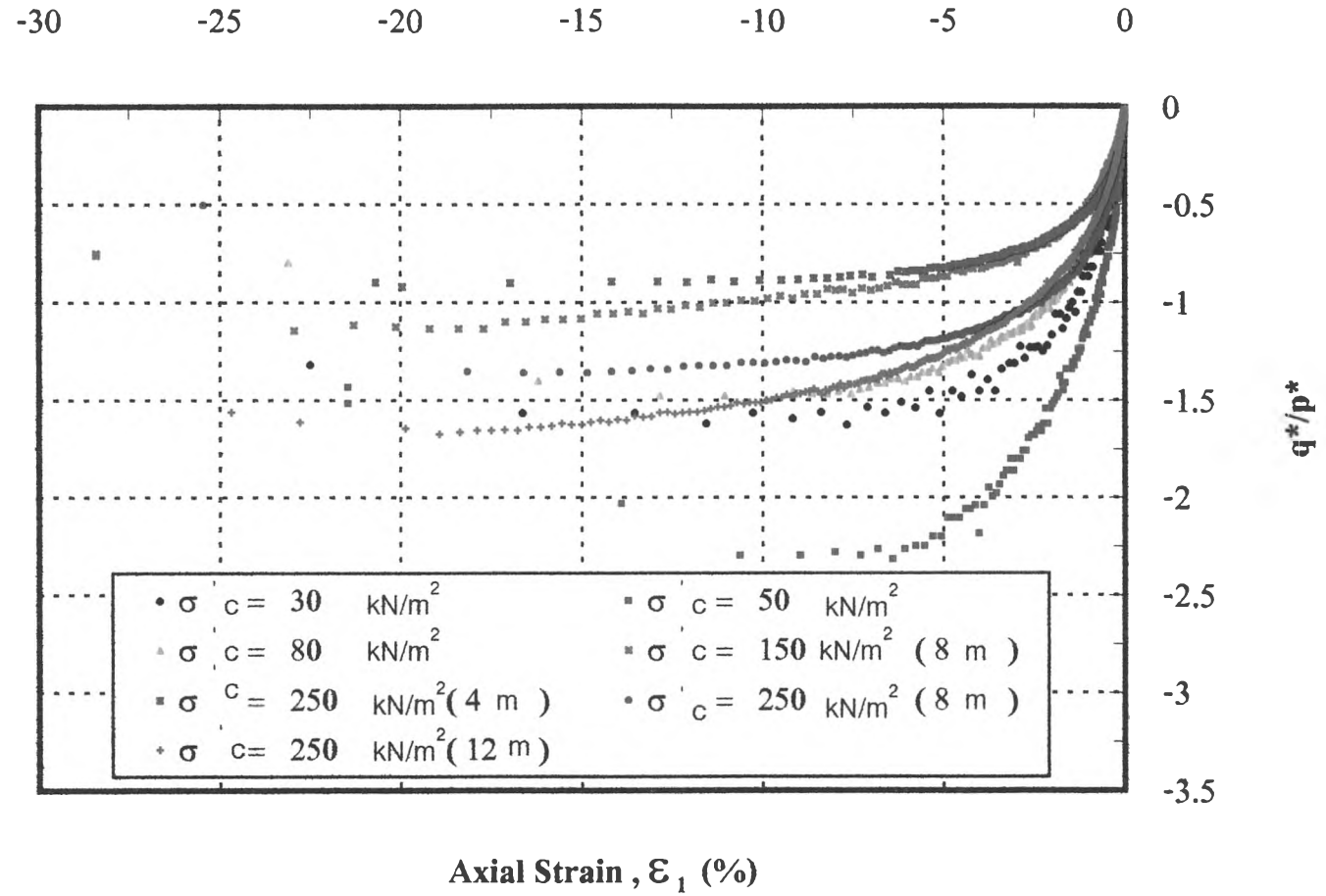
เมื่อนำค่า Normalized Young's Modulus (E_{tan}/E_{in}) และค่า mean total stress ratio (q^*/p) มาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จะพบว่าความสัมพันธ์เป็นไปในรูปของสมการ

$$\frac{E_{tan}}{E_{ni}} = m^* \exp n^* \left(\frac{q^*}{p} \right) \quad (4.1)$$

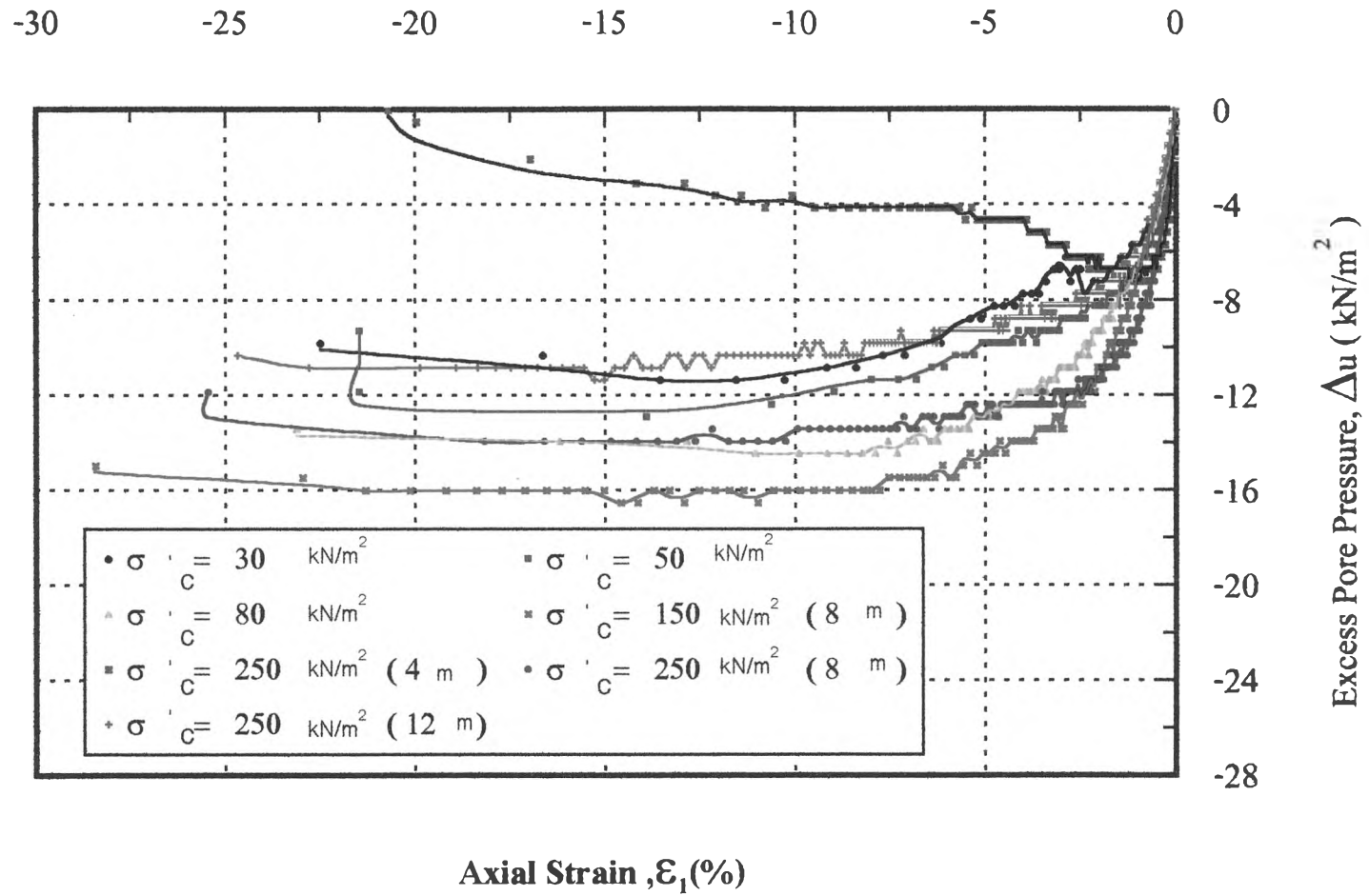
โดยที่ m^* และ n^* เป็นค่าคงที่ ซึ่งจะพบว่า m^* มีค่าคงที่เกือบจะเป็น 1 แต่ค่า n^* จะไม่คงที่ ซึ่งจะอยู่ในรูปฟังก์ชันของค่า initial confining stress ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

และเมื่อนำค่าของ n^* และ initial confining stress มาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4. 14 จะพบว่า เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ดังสมการ

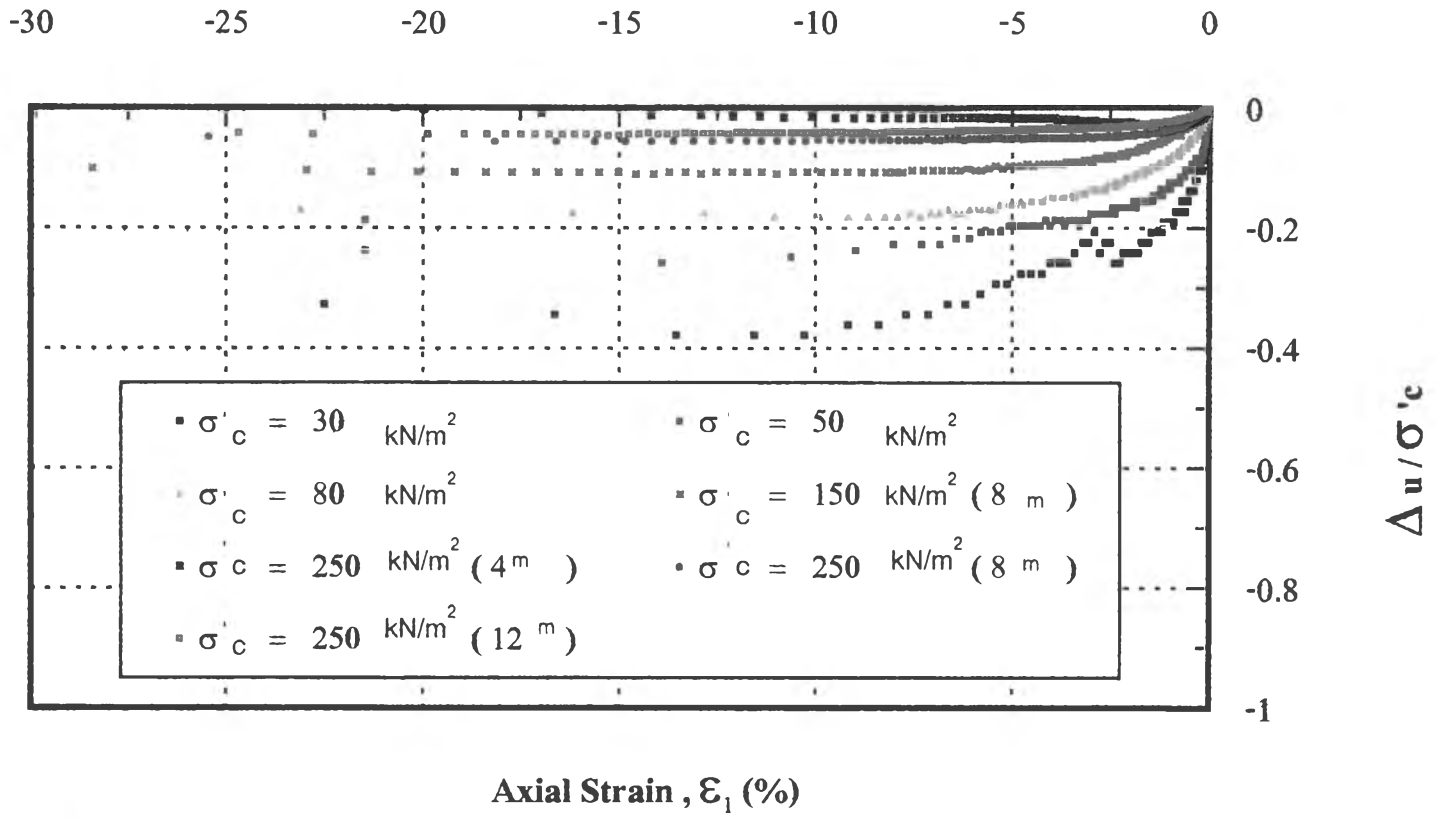
$$n^* = -0.0277\sigma'_c + 13.835 \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า q^*/p^* และค่า % Axial Strain



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess pore pressure กับ ค่า % Axial Strain



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized Excess pore pressure กับ ค่า % Axial Strain

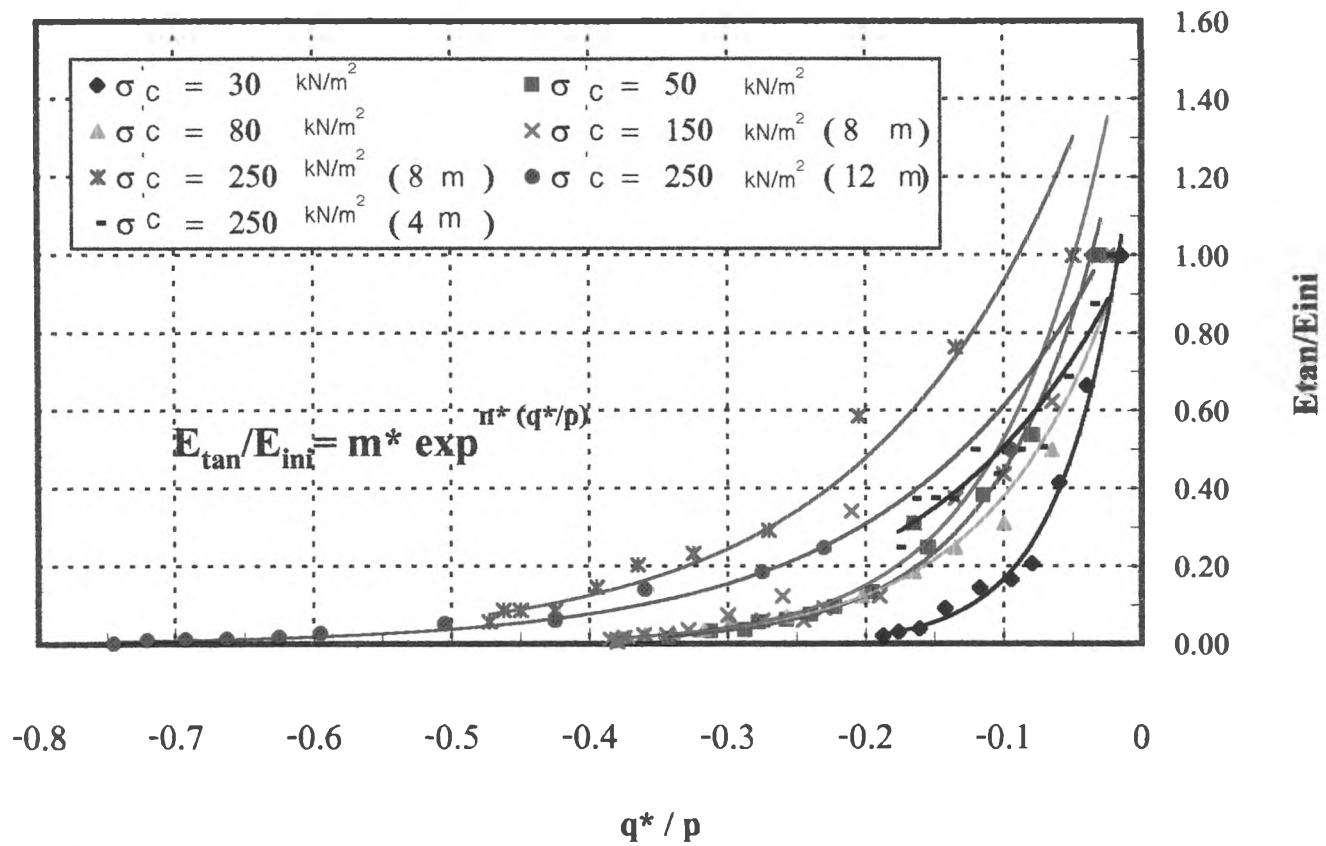
ตารางที่ 4.5 : ตารางแสดงค่า m^* และ n^* ที่ได้จากการนำค่า Normalized Young's Modulus (E_{tan}/E_{ini}) และค่า mean total stress ratio (q^*/p)

Sample	Initial confining Stress, (σ'_v)ini (kPa)	m^*	n^*
4.0 m.	30	1.44	21.42
	250	1.03	7.00
8.0 m.	50	1.60	12.68
	150	1.30	10.15
	250	1.89	6.84
12.0 m.	80	1.16	11.06
	250	1.22	6.83

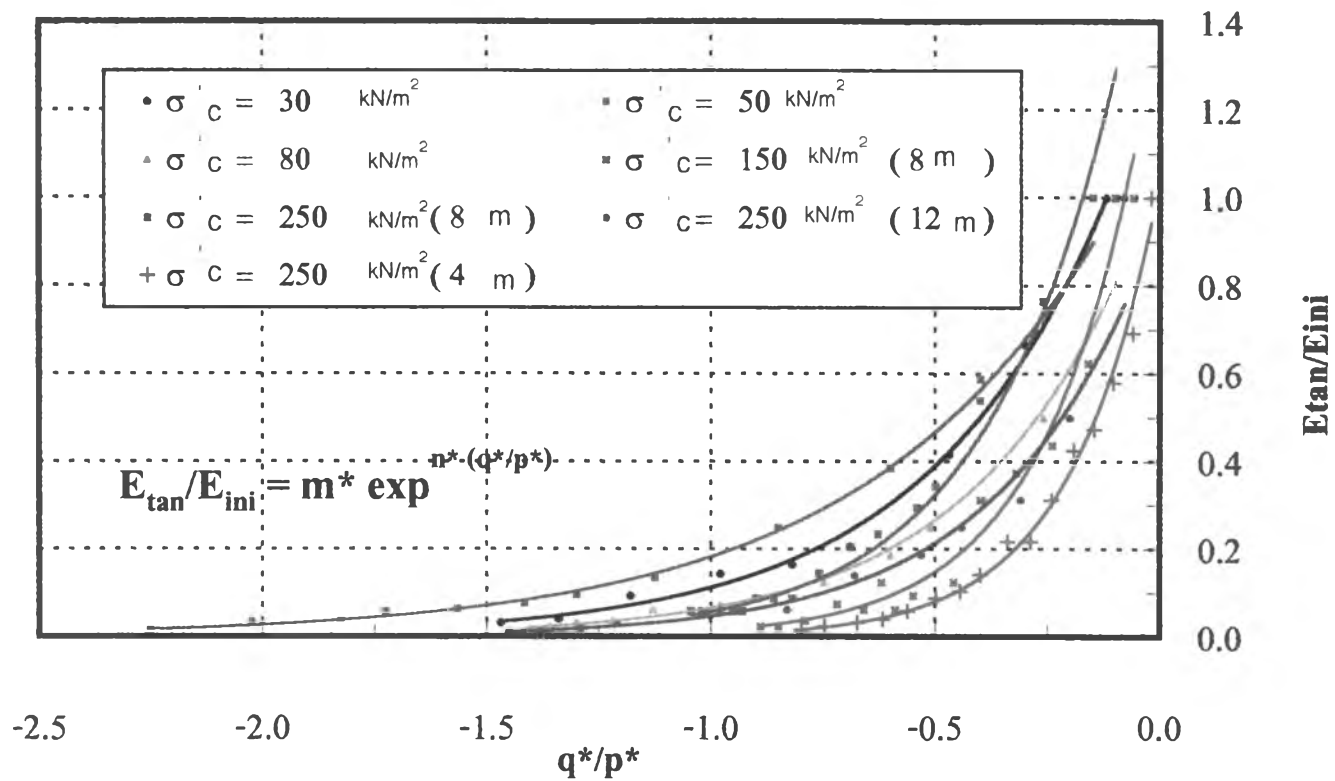
และเมื่อนำค่า Normalized Young's Modulus (E_{tan}/E_{ini}) และค่า mean effective stress ratio (q^*/p^*) มาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จะพบว่าความสัมพันธ์เป็นไปในรูปของสมการที่ 4.1 โดยที่ m^* และ n^* เป็นค่าคงที่ ซึ่งจะพบว่า m^* มีค่าคงที่เกือบจะเป็น 1 แต่ค่า n^* จะคงที่โดยเฉลี่ยได้เท่ากับ 3 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 : ตารางแสดงค่า m^* และ n^* ที่ได้จากการนำค่า Normalized Young's Modulus (E_{tan}/E_{ini}) และค่า mean effective stress ratio (q^*/p^*)

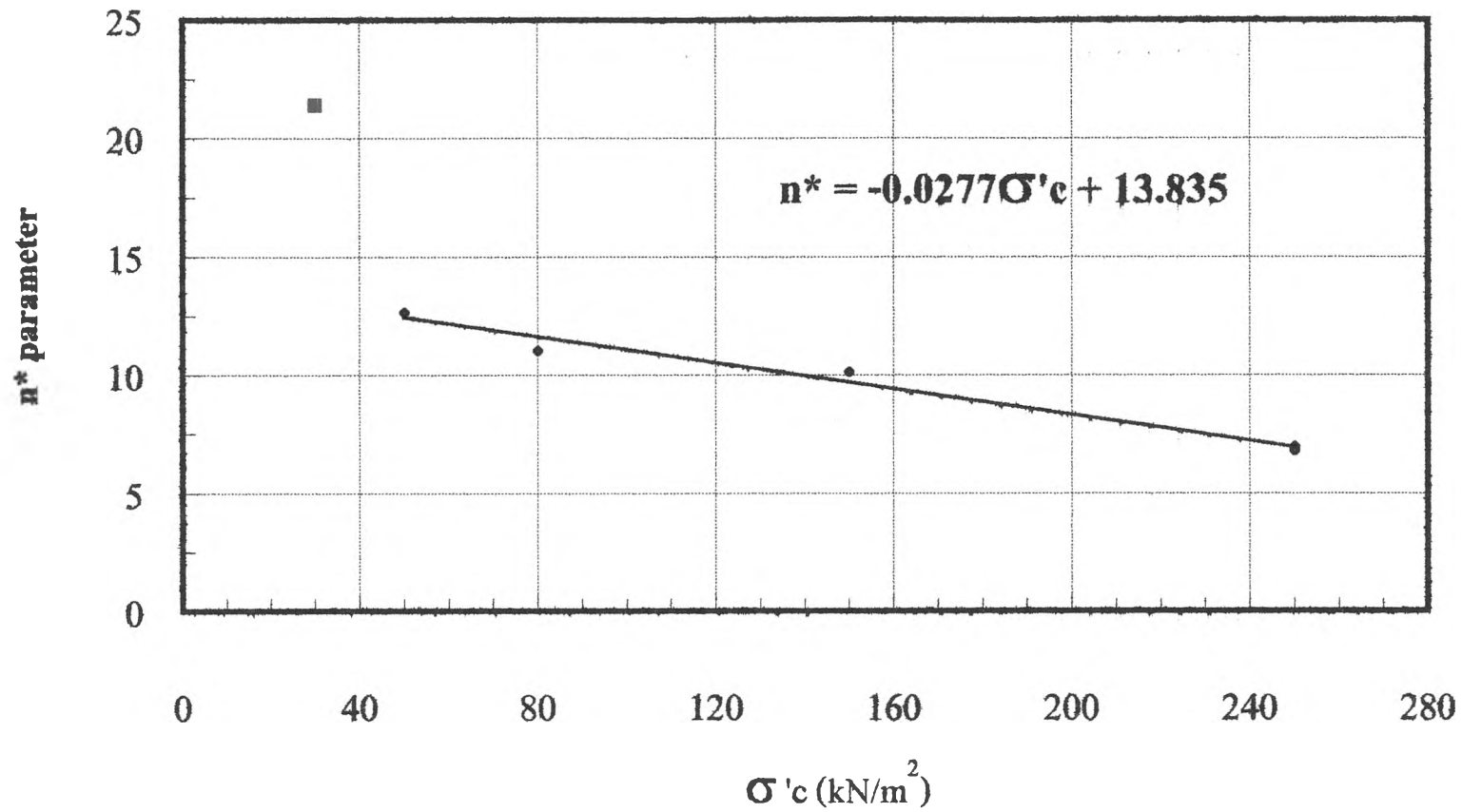
Sample	Initial confining Stress, (σ'_v)ini (kPa)	m^*	n^*
4.0 m.	30	1.35	2.47
	250	1.04	4.05
8.0 m.	50	1.19	1.86
	150	1.44	4.52
	250	1.822	3.44
12.0 m.	80	1.06	2.76
	250	0.96	3.00



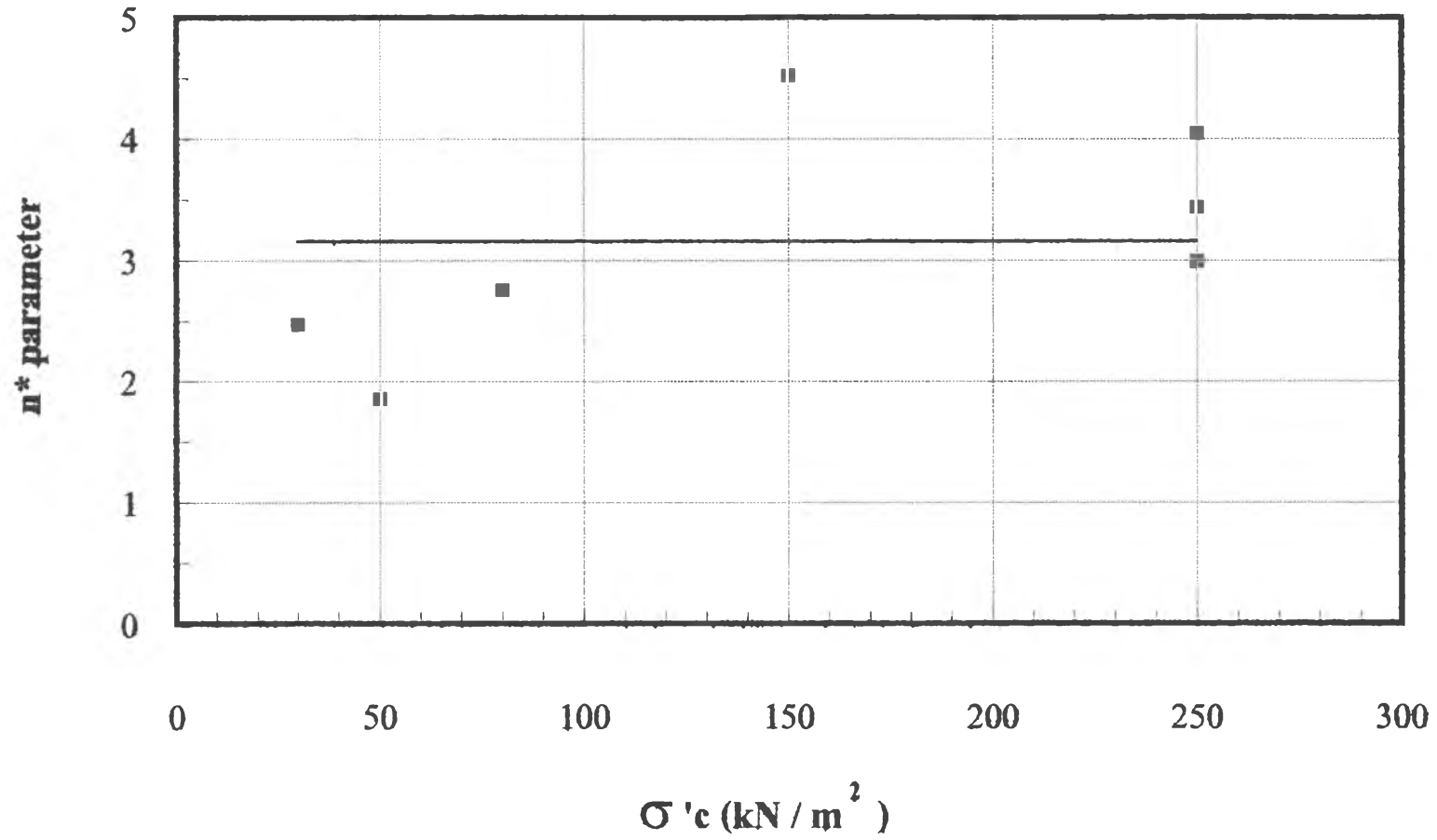
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized Young's Modulus กับ mean total stress ratio (q^*/p)



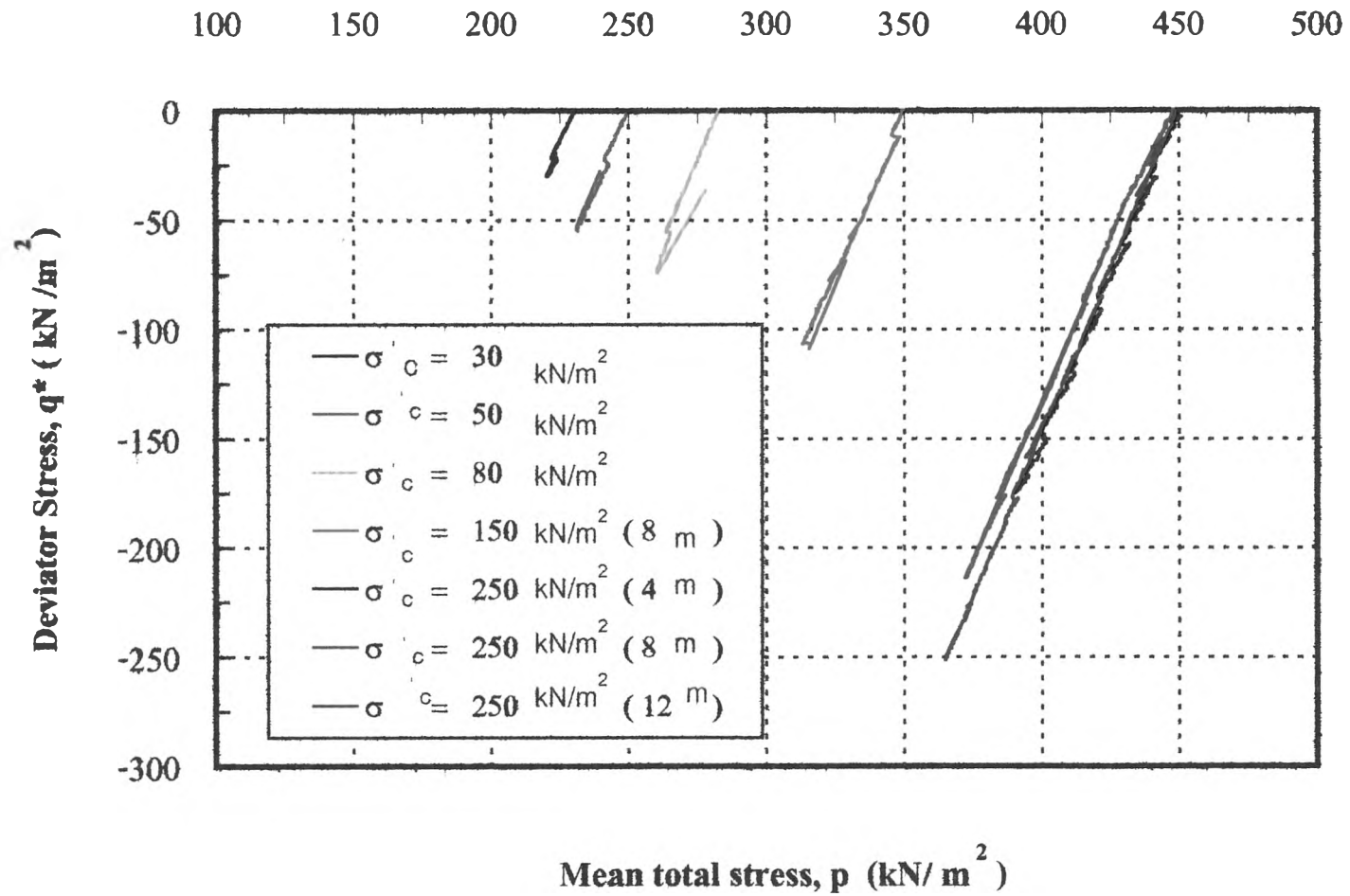
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized Young's Modulus กับ mean effective stress ratio (q^*/p^*)



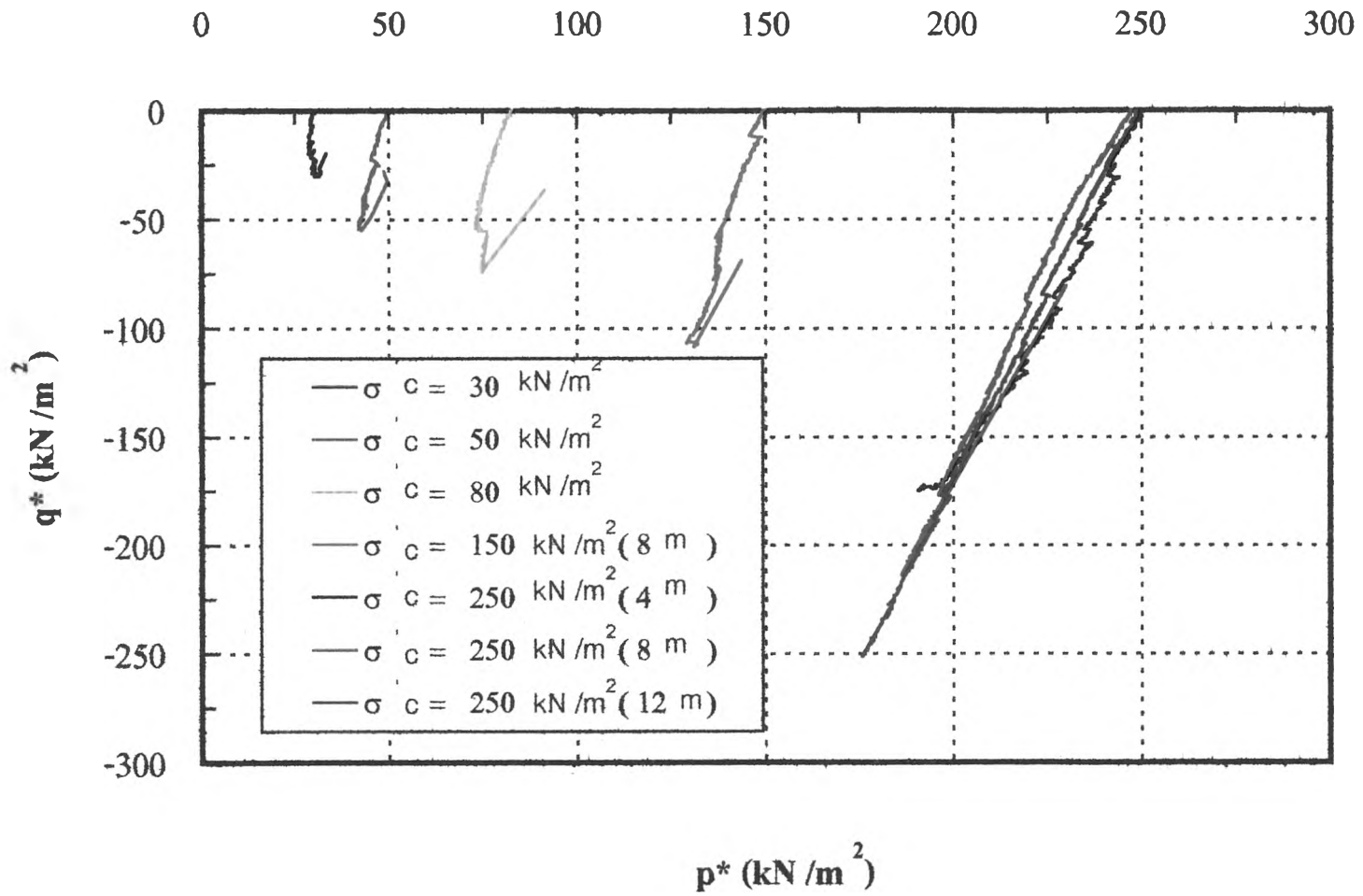
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า parameter n* กับ initial confining stress (mean total stress)



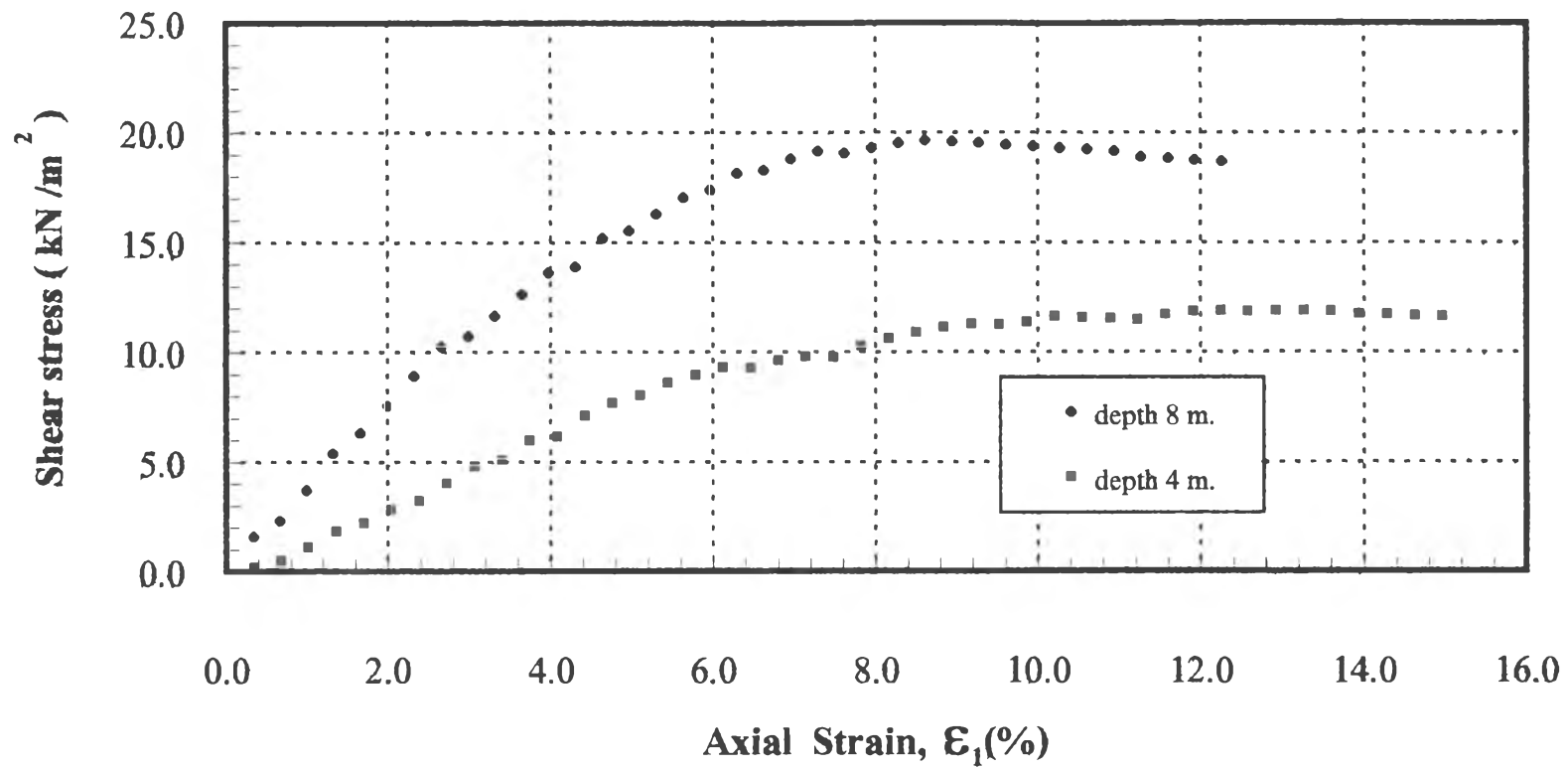
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า parameter n กับ initial confining stress (mean effective stress)



รูปที่ 4.16 กราฟแสดง total stress paths ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q^* และ p



รูปที่ 4.17 กราฟแสดง effective stress paths ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q^* และ p^*



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่า Shear stress และ ค่า % Axial Strain
จากการทดสอบ Unconfined compression