(19)

تابع :

Shear Strength [Resistance]

مقاومة القص

ملزمة (9)

Part II

* تابع : تحديد قيم ϕ ، c :

- (2) Triaxial compression test . ص2 : ص5
- طريقة إجراء تجربة Triaxial . ص6
- Example (3) . ص7 : ص8
- Example (4) . ص9
- (3) Unconfined Compression test . ص10 : ص11
- Example (5) . ص12
- مفاهيم أساسية تخص تداخل نتائج التجارب . ص13 : ص14
- Example (6) . ص15

* Field tests لتحديد C ، ϕ :

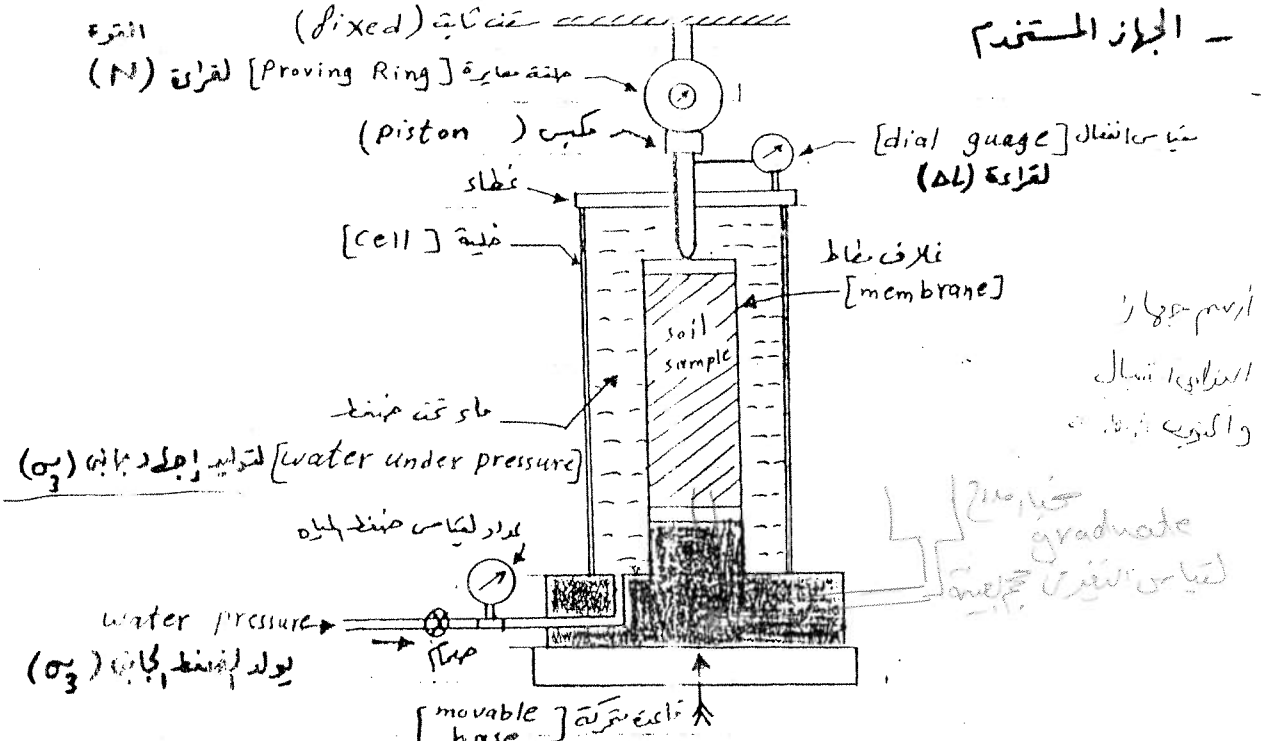
- (4) Vane test . ص16
- Example (7) . ص17
- (5) S.P.T. . ص18 : ص19

(2) Triaxial Compression Test:
إختبار الضغط الثلاثي المحاور

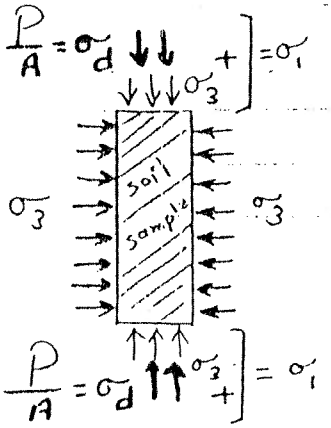
- وهو إختبار يجرى في المعمل (in lab.) لأى نوع من أنواع الـ soil

- **الغرض من الإختبار** تحديد قيم معاملات القص (c, ϕ) لأى نوع من التربة.

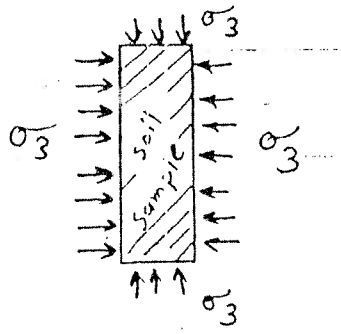
- **الجهاز المستخدم**



- **الإجهادات المؤثرة على العينة**



[أثناء إجراء الإختبار]



[قبل بدء خطوات التجربة]

حيث :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$$

- σ_1 ← major stress or total axial stress
- σ_3 ← minor stress or Cell pressure or Confining stress
- σ_d ← deviator stress $= \frac{}{A}$

- خطوات التجربة :-

1- يتم وضع العينة [بين ورقتين مشبعة] داخل إسفنج المطاط ثم توضع مكانها بالجهاز .

2- يتم تجهيز الموصلات المياه (كما بالرسم) .

3- يتم توليد ضغط مياه داخل الخلية فيطبق σ_3 على العينة من جميع الجهات .

4- يتم توقيع σ_d عن طريق تزليق القاعدة لأعلى بمعدل ثابت .

5- تؤخذ قراءات :

مع الزمن $\begin{cases} R = \text{قراءة} \leftarrow \text{proving ring} \rightarrow \text{تعطي} P \rightarrow \frac{P}{A} = \sigma_d \text{ ومنها} \\ \Delta L = \text{قراءة} \leftarrow \text{dial guage} \rightarrow \text{تعطي} \Delta L \end{cases}$

6- يتم تجهيز الحاسبة [كما سيتم شرحه] بما تحصل عليه $\left(\sigma_3 + \frac{P_{max.}}{A} = \sigma_1\right)$ عند الانهيار

المناظرة لقيمة σ_3 التي بدأنا بها التجربة .

7- يتم تكرار التجربة [3 مرات على الأقل] في كل مرة نغير σ_3 ← ونحصل على σ_1 المناظرة .

- تنظيم الحسابات :

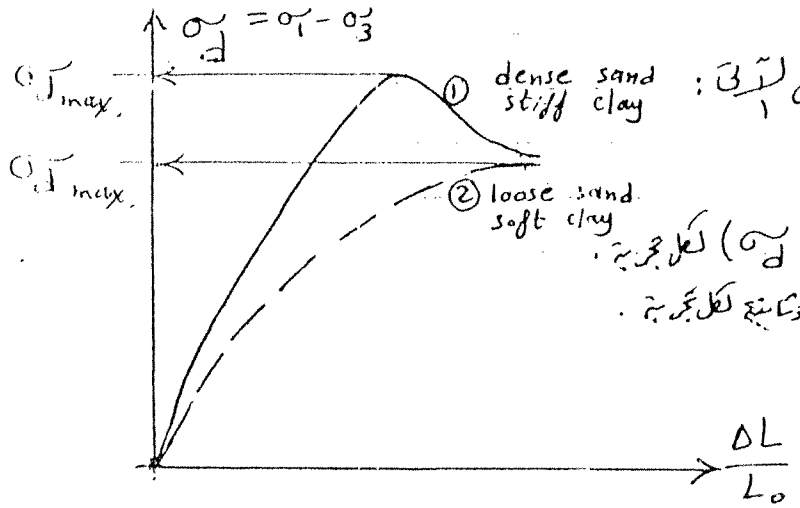
كما يلي بالترتيب تقريباً :

- مساحة المقطع الأصلية للعينة $= A_o$
- الارتفاع الأصلي للعينة $= L_o$
- الحجم الأصلي للعينة $= A_o \cdot L_o = V_o$
- cell pressure $= \sigma_3$

(هو ثابت طوال التجربة الواحدة)

قراءات بالعمل			قيم يتم حسابها				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
time (t) [min.]	النقصان بارتفاع العينة (ΔL) [mm]	قراءة الـ Proving Ring (R)	ارتفاع العينة في أي لحظة (L) [mm]	مساحة مقطع العينة في أي لحظة (A) [cm²]	axial Force (P) [N] or [kg]	deviator stress (σ_d) [kg/cm²] أو [N/cm²]	strain ($\frac{\Delta L}{L_o}$)
✓	✓	✓	من خانة (2)	✓	✓	✓	✓
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
✓	✓	✓	✓	✓	من خانة (3)	✓	✓
	من قراءات الـ dial gauge		$L = L_o - \Delta L$	من قيمة V وقيمة L (في الخانة 1) $A = \frac{V}{L}$	$P = (R)$ (constant) حسب المعطى	من خانتي (5,6) $\sigma_d = \frac{P}{A}$	من قيمة L_o وقيمة ΔL (في الخانة 2)

* ملحوظة : عليه [إذا لزم الأمر] قياس التغير في الحجم أثناء التجربة ΔV ومنه نوجد V في أي لحظة خلال التجربة ، ومنه أيضاً عليه عمل خانة لقيم $\frac{\Delta V}{V_o}$ خلال مراحل التجربة .



- ولكل تجربة يتم رسم المنحنى التالي :
- ومنه نحصل على قيمة $(\sigma_d)_{max}$ لكل تجربة .
- علماً بأن σ_3 تكون معلومة وثابتة لكل تجربة .

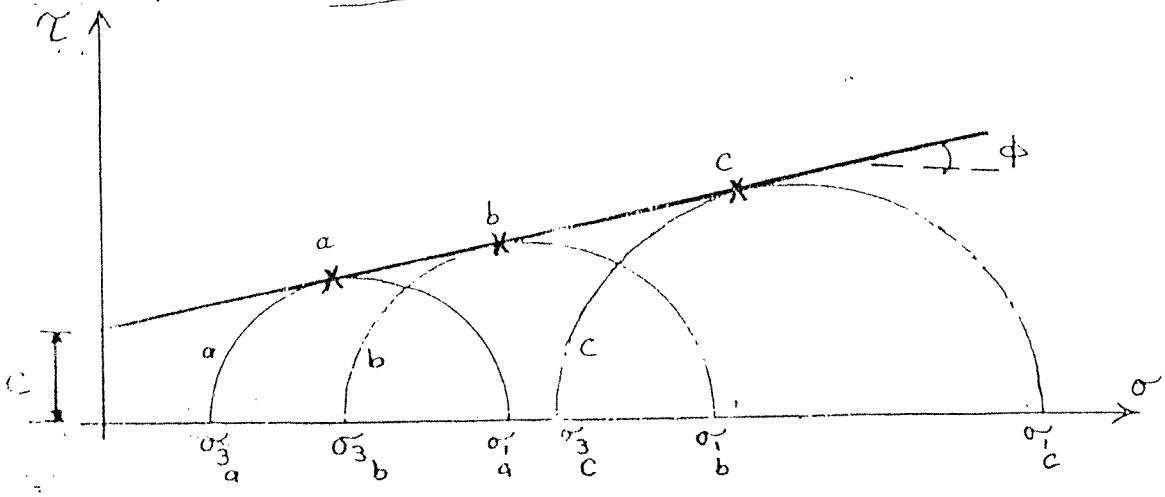
وبمعلومية $(\sigma_d)_{max.}$ لكل تجربة ← نوجد $(\sigma_1)_{max.}$ لكل تجربة

where: $(\sigma_1)_{max.} = (\sigma_d)_{max.} + \sigma_3$

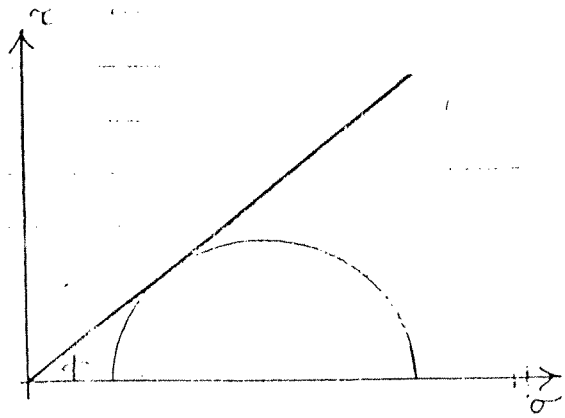
- ومن نتائج 3 تجارب يصبح عندنا :

Test	a	b	c
σ_3	✓	✓	✓
$(\sigma_1)_{max.}$	✓	✓	✓

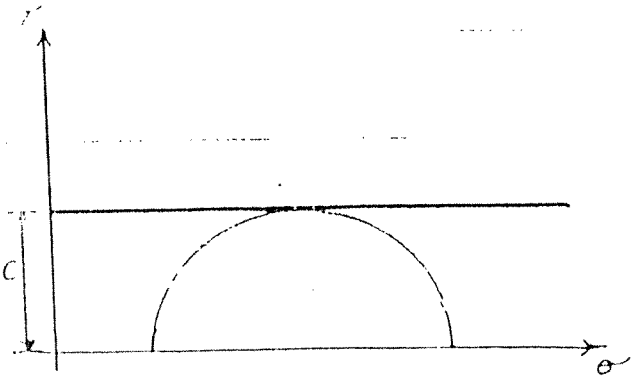
ويتم رسم هذه النتائج برسم 3 دوائر مور [كل دائرة تمثل تجربة واحدة] وتكوين الخط المماس لدوائر مور حيث هو التمثيل البياني للمعادلة ($\tau_{max.} = c + \sigma_n \cdot \tan\phi$)



Cohesionless = (ϕ - soil) في حالة



Cohesive = (c - soil) في حالة



- طريقة إجراء إختبار الـ triaxial حالة (Cohesive soil) :-

- عليه إجراء هذا الإختبار لعدة طرق مختلفة ، والغرض من ذلك هو محاولة محاكاة (تقليد) الظروف التي تتعرض لها الطبقات الطينية (كمثال على Cohesive soil) في الطبيعة .

- ومن هذه الطرق التي يتم بها إجراء هذا الإختبار مثالين :

Consolidated undrained

ويتم إجراؤه كمثالين :

- عند توقيع σ_3 في البداية **نسمح** للماء بالتسرب حتى يحدث Consolidation نتيجة (σ_3) .

- وعند توقيع σ_d بعد ذلك **لا نسمح** للماء بالتسرب .

- وبذلك يكون طول التجربة

لكلية U = ؟

أيضاً لكلية $\bar{\sigma}$ = ؟

[وهذا الأسلوب يحاكي حالة الطبيعة]

↓

سلوك طبقة من Cohesive soil داخل الطبيعة بعد التحميل ، حيث :

ΔU = ؟

$\Delta \bar{\sigma}$ = ؟

Undrained unconsolidated (quick)

ويتم إجراؤه كمثالين :

- عند توقيع σ_3 في البداية **لا نسمح** للماء بالتسرب .

- عند توقيع σ_d أثناء التجربة أيضاً **لا نسمح** للماء بالتسرب .

- وبذلك يكون طول التجربة ثابت الحجم أي بعينة ثابت

Constant volume

[وهذا الأسلوب يحاكي حالة الطبيعة]

↓

سلوك طبقة من Cohesive soil داخل الطبيعة بعد التحميل ، حيث :

No Consolidation yet

$\Delta \sigma = \Delta U$

$\Delta \bar{\sigma} = 0.0$

* Example (3): [Sheet 7, (3) حل]

Given undrained → V = Constant

strain rate = 2.0 mm/min.

Constant of P.R. → 1 div. = 8 N.

d = 3.8 cm → A_0 = 11.34 cm^2

σ_3 = 150 kN/m^2 L_0 = 7.6 cm

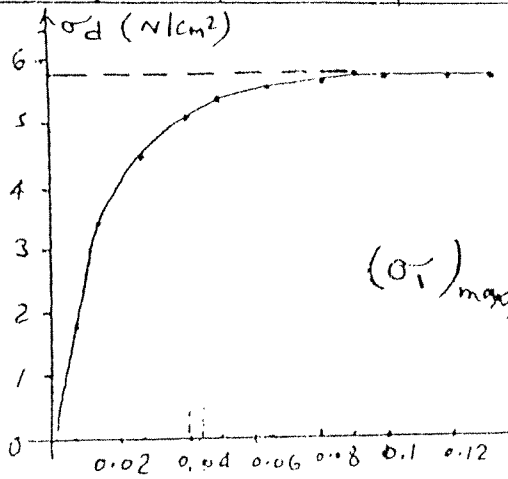
V_0 = 86.18 cm^3

required: $(\sigma_1)_{max.}$ = ?

(strain rate) هنا بدلالة

Case (1) لكل تجربة من الثلاث يتم عمل الجدول التالي:

t	R	ΔL (cm)	L (cm)	$A = \frac{V}{L}$ (cm^2)	R (N.)	$\sigma_d = \frac{P}{A}$	$\frac{\Delta L}{L_0}$
0	0	0	7.60	11.34	0	0	0
0.25	2.5	0.05	7.55	11.41	20	1.75	0.006
0.5	4.75	0.1	7.5	11.49	38	3,31	0.013
1.0	6.4	0.2	7.4	11.65	51.2	4.39	0.026
1.5	7.5	0.3	7.3	11.81	60	5.08	0.039
2.0	8.0	0.4	7.2	11.97	64	5.35	0.052
2.5	8.4	0.5	7.1	12.14	67.2	5.54	0.065
3.0	8.6	0.6	7.0	12.31	68.8	5.59	0.079
3.5	8.9	0.7	6.9	12.49	71.2	5.70	0.092
4.0	9.0	0.8	6.8	12.67	72	5.68	0.105
4.5	9.0	0.9	6.7	12.86	72	5.68	0.118
5.0	9.0	1.0	6.6	13.06	72	5.68	0.132



$(\sigma_d)_{max.} \simeq 5.7$ N/cm^2

$= 57$ kN/m^2

$(\sigma_1)_{max.} = (\sigma_d)_{max.} + \sigma_3$

$\simeq 207$ kN/m^2

$\Delta L = \frac{R * 2}{100}$

$L = L_0 - \Delta L$

$P = \frac{N}{\text{مساحة}} = R * \text{constant P.R (8)}$ $\quad \frac{N}{A}$ $\quad \frac{\Delta L}{L_0}$

ويتم تكرار هذا الجدول لرسم الحالتين الباقيتين Case (2), Case (3)

ومن الأشكال السابقة نحصل على الآتي :

	Case (1)	Case (2)	Case (3)
σ_3 (kN/m²)	150	←	←
$(\sigma_1)_{max}$ [kN/m²]	207	←	←

ومن الشكل نحدد 3 دوائر مور ونرسم المماس المشترك نحصل على (C) = ←

[sheet 7, (5) من الـ]

*** Example (4) :**

Given:

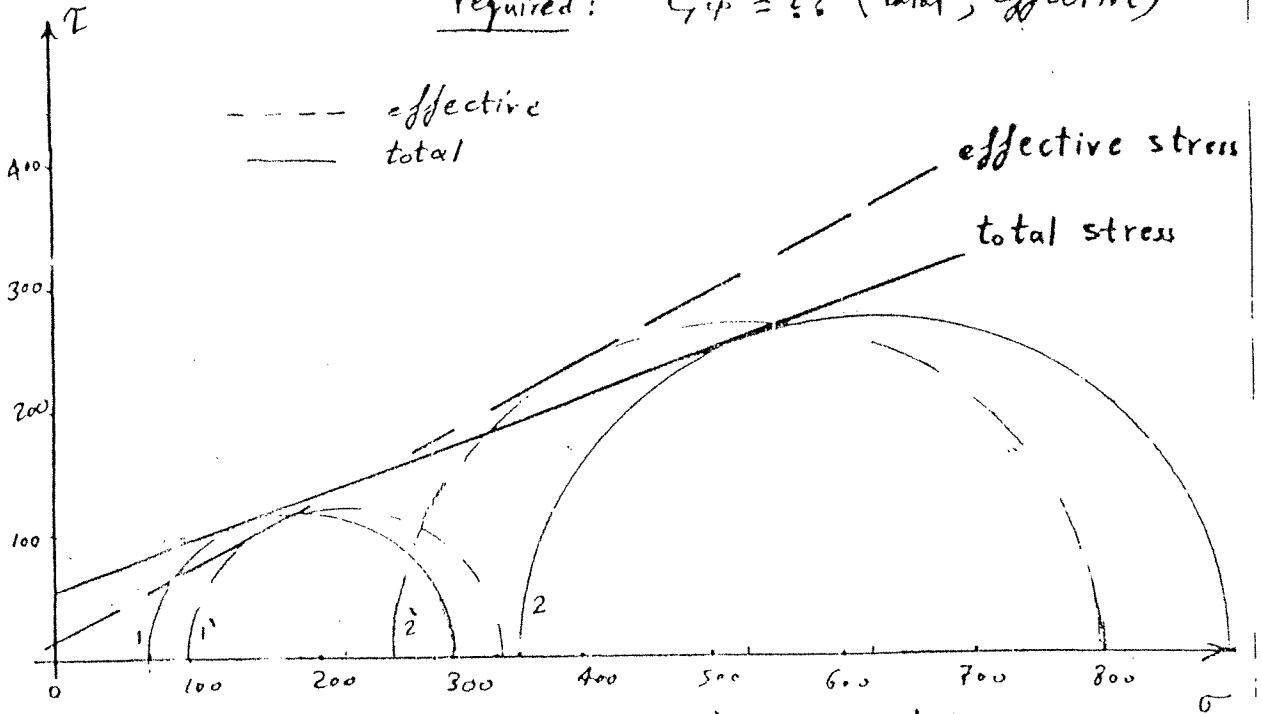
Undrained

σ_3 = ✓ ✓

σ_1 = ✓ ✓

u = ✓ ✓

Required: c, ϕ = ?? (total, effective)



$C \simeq 55$ KN/m² , $C' \simeq 15$ KN/m²

$\phi \simeq 20°$, $\phi' \simeq 29°$

		(1)	(2)	
	σ_3	70	350	} كلي
	σ_1	304	895	
	u	-30	+95	
$(\sigma_3 - u) =$	σ_3'	100	255	} مؤثر
$(\sigma_1 - u) =$	σ_1'	334	800	

(3) Un Confined Compression test:
إختبار إضغط غير المحاط

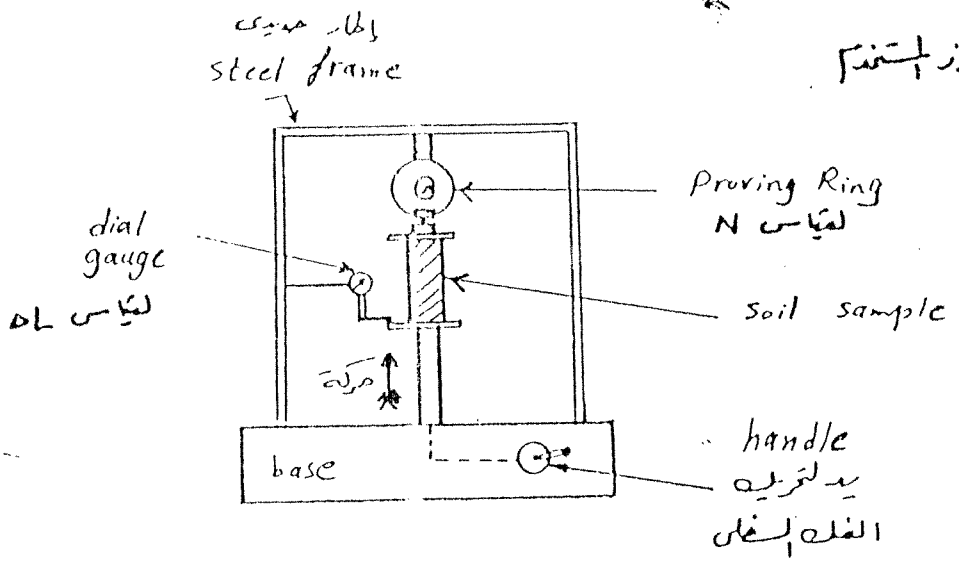
وهو حالة مبسطة لتجربة [triaxial]:

- وهو إختبار يجرى في المعمل (lab.) على التربة المتماسكة (Cohesive) أي (c-soil).

- الغرض من الإختبار

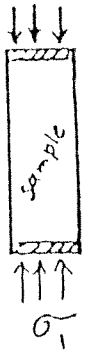
تعيين قيمة (C).

- الجهاز المستخدم



- الإجهادات المؤثرة

$\sigma_1 = \frac{P}{A}$



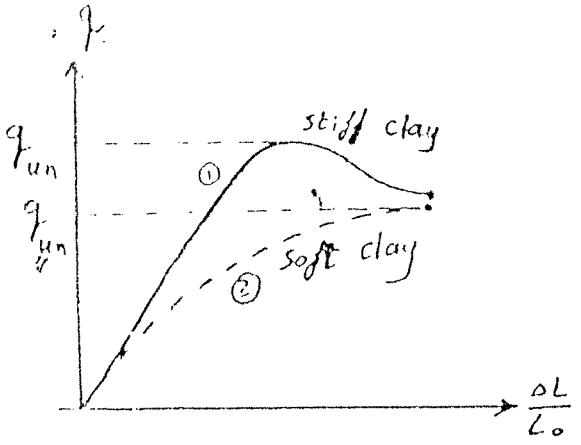
وتسمى أكبر قيمة للإجهاد الرئيسي $(\sigma_1)_{max}$ ← q_{un}

ليتم حسابها عند نتائج تجربة الـ triaxial

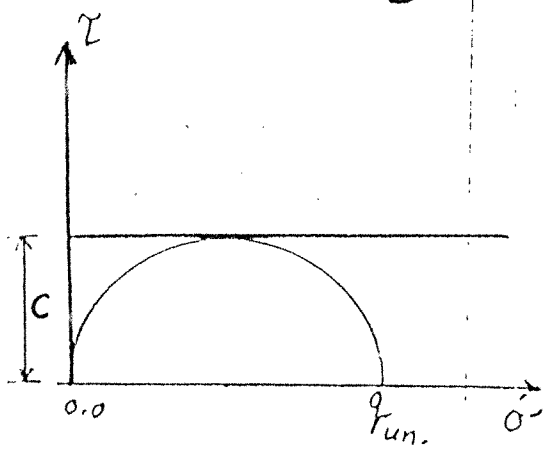
- خطوات التجربة

- يتم التأثير بالإجهاد الرئيسي تدريجياً من لا نهاية الصغر.
- تؤخذ قراءات الـ Proving ring و الـ dial-guage أثناء التجربة.

إجهاد محوري
axial stress



نتائج التجربة



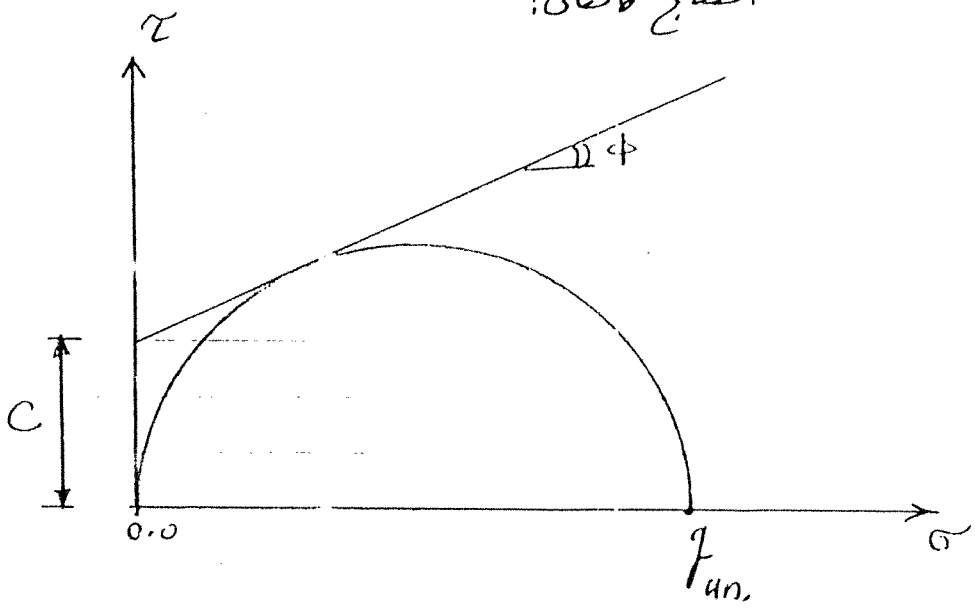
مدرسم دائرة مور لتبدأ :

لحالة (c' - soil)
$[\phi = 0.0]$

$$C = \frac{q_{un}}{2}$$

(pure clay)

• ملحوظة :
تجرى هذه التجربة على (C - soil) ، ولكن حالة إجرائها على (c_u - soil) تكون النتائج كالتالى :

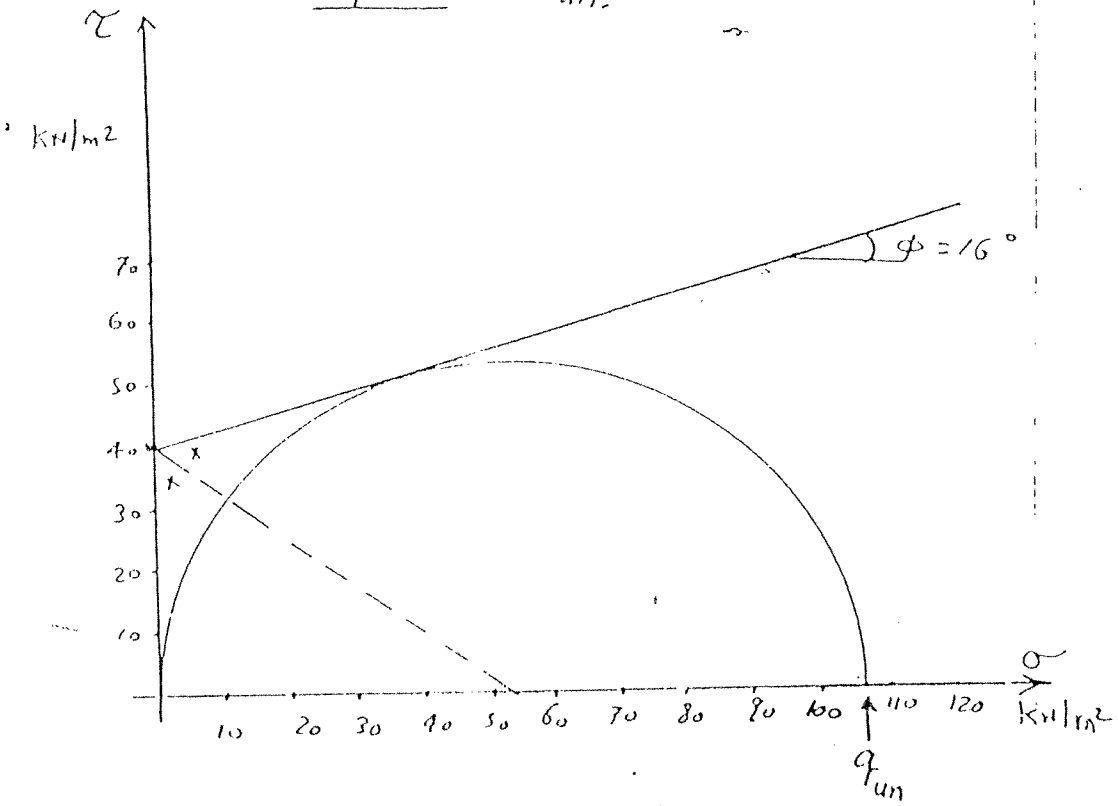


* Example (5): [sheet 7 , (6) مثال]

given: $\phi = 16°$

$C = 40\ KN/m^2$

required: $q_{un} = ??$



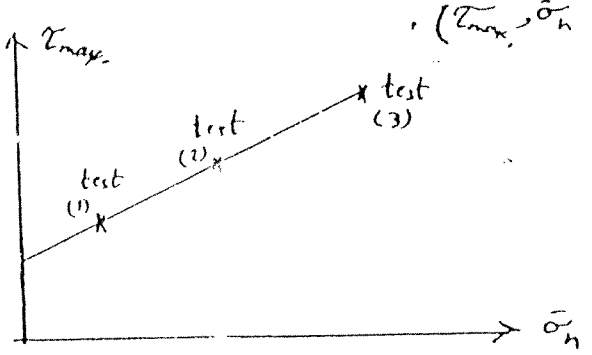
$q_{un} \simeq 106\ KN/m^2$

مفاهيم أساسية بخصوص تداخل
نتائج إختبارات : shear strength

shear box بجربة

1- الخط المستقيم [الذي يمثل البيان للعلاقة $\tau_{max} = c + \bar{\sigma}_n \cdot \tan\phi$] يسمى
المقاطع التي عليه تعتبر [قيم الإجهادات وقت الإنهيار].

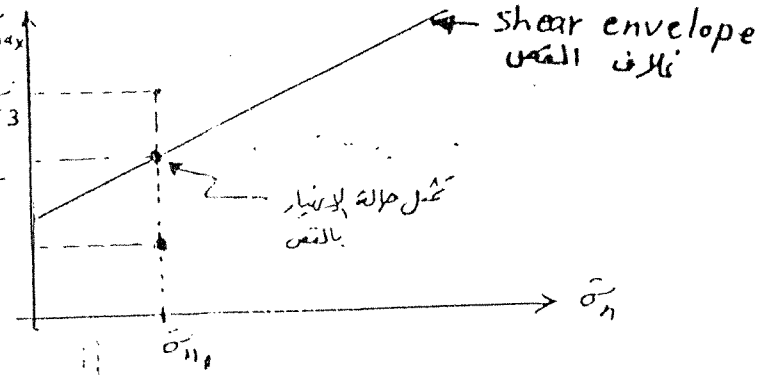
2- كل تجربة سنقارب ← shear box تمثل بيانيا نقطة على الخط المستقيم (العلاقة بين $\bar{\sigma}_n$ و τ_{max}).



المقطع الذي إحداثياته هي
X = قيمة $\bar{\sigma}_n$ أثناء الإختبار
Y = τ_{max} التي أحدثت الإنهيار بالقص

shear envelope

يعتبر الخط المستقيم [علاقة $\bar{\sigma}_n$ بـ τ_{max}] هو غلاف لقيم shear stress التي
عليه أن تتعرض لكل الـ soil عندما تختلف $\bar{\sigma}_n$ بين :



تجربة ال triaxial

1- الخط الماس لدوائر مور [لنتائج سحب تجربة ال triaxial] هو نفسه ال shear envelope هو نفسه الخط المستقيم الذي يمثل معادلة τ_{max} بيانياً لو تم اجراء اختبار ال shear box لنفس عينة ال soil.

2- جميع النقاط التي تقع على المستقيم (الماس) الناتج تمثل قيم الإجهادات وقت الإنهيار.

3- لنفس نوعية التربة تكون ← النقطة التي تمثل إجهادات الإنهيار ($\tau_{max}, \bar{\sigma}_n$)

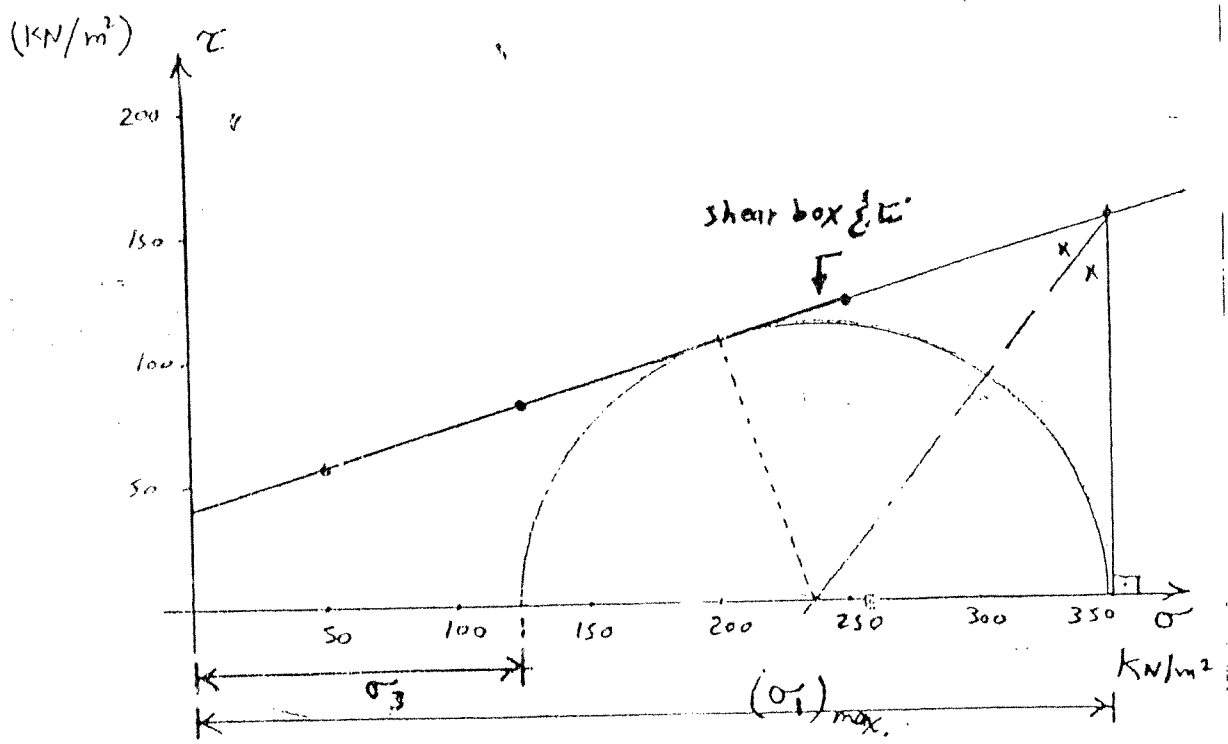
نقطة التماس لنتائج سحب تجربة ال triaxial ═══ نتائج سحب تجربة ال shear box

* Example (6): [Sheet 7, (4) من الشيت]

Given:

σ_n	= 50	125	250
$\tau_{max.}$	= 61	83	119.5

in triaxial $(\sigma_1)_{max.} = 350$ $\sigma_3 = ??$



$\therefore C \simeq 40$ KN/m²

$\phi \simeq 18°$

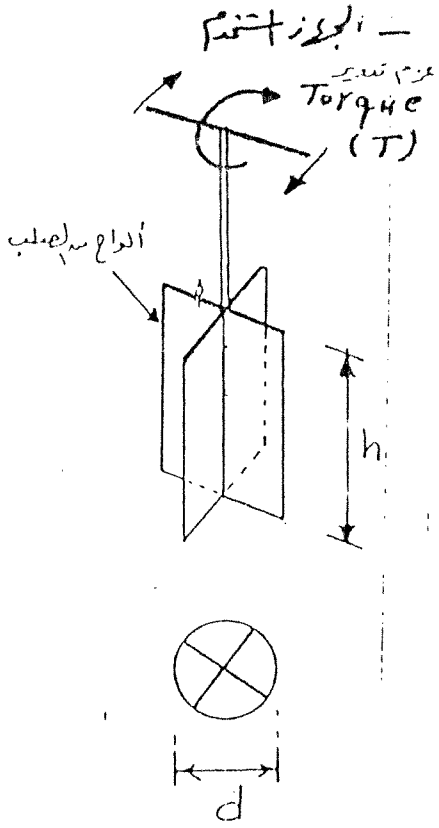
$\sigma_3 \simeq 125$ KN/m²

تجارب بالموقع
Tests in field

(4) Vane Test: إختبار المروحة

- وهو إختبار يجرى في الموقع (in-situ / in field) لتعيين C (cohesion)

- الجهاز المستخدم



- خطوات الإختبار

1- يتم إنزال المروحة في التربة المراد تعيين C لها.

2- يتم تدوير العزم (T) تدريجياً حتى الوصول لمرحلة إنفصال أسطوانة من التربة (تكون داخل المروحة بقطر d وارتفاع h)

- عند الإنفصال يكون:

$(T)_{max.}$ = العزم الناتج عند مماسة القوة (r) على المسافة المعينة للأسطوانة التي إنفصلت

↓

[مقاومة القاع السفلي الجانبي + مقاومة السطح الجانبي]

$$C = \frac{T_{max.}}{\pi \left[\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6} \right]}$$

* **Example (7):** [Sheet 7, (7) من الورقة]

Given: $d = 7.62$ cm, $h = 11.43$ cm

$T_{max.} = 45$ N.m

Required: $C = ??$

$T_{max.} = 45$ N.m $= 4500$ N.cm

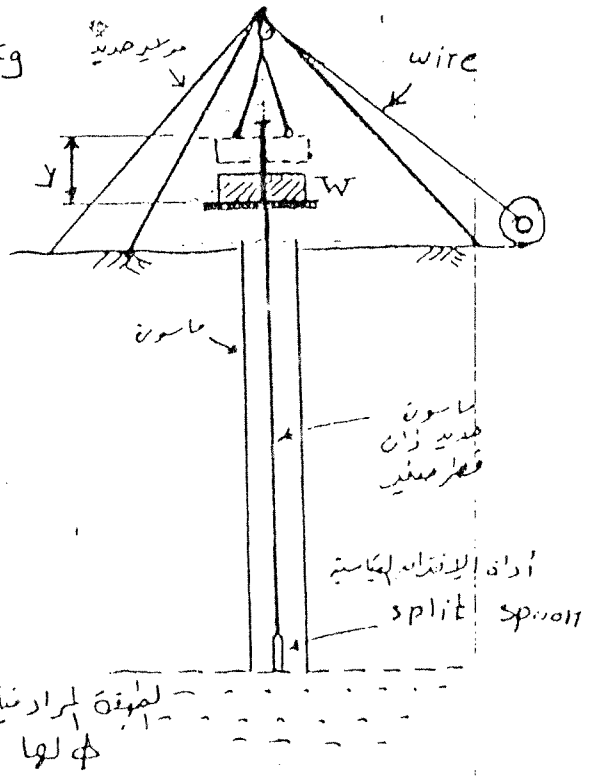
$$\left[\begin{matrix}\text{كل}\\ N, cm\end{matrix}\right] \quad C = \frac{T_{max.}}{\pi\left[\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6}\right]} = \frac{4500}{3.14\left[\frac{(7.62)^2(11.43)}{2} + \frac{(7.62)^3}{6}\right]}$$

$$\simeq \boxed{3.53 \quad N/cm^2}$$

(5) Standard Penetration Test (SPT):
اختبار الاختراق القياسي

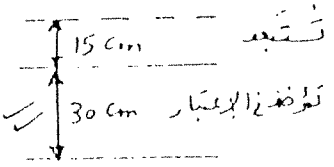
- وهو يستخدم في field لتحديد ϕ للتربة غير المتماسكة (Cohesionless soil - ϕ soil)

- الجهاز المستخدم:



- $W = 140$ lb. (باوند) $\simeq 63$ kg
- $y = 75$ cm

مسافة الاختراق الطولية



... الخطوات:

1- ننزل split spoon الى سطح التربة المراد اختبارها.

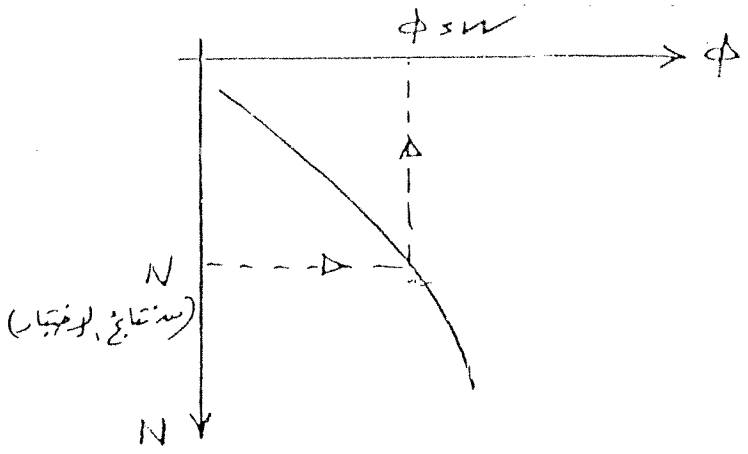
2- يتم الدق عليها بواسطة ثقل W وكل ضربة يتم رصد مسافة y وننزل تحت تأثير وزنه.

3- نوجد عدد الضربات اللازمة لكي تخترق المسافة 30^{cm} (بعد 15^{cm} الأولى).

$N =$ عدد الضربات ← SPT "N" value

4- عند طرحه جداول أو chart نوجد ϕ (بمعرفة N).

- نتائج الاختبار



- تصحيح N :

في حالة اختبار طبقة من fine sand أو silty sand تحت منسوب المياه الجوفية (G.W.T.)

لابد من تصحيح قيمة N الناتجة كالتالي

$$N_{Corr.} = 15 + \frac{1}{2}(N - 15)$$

N الناتجة

والتي بدورها تستخدم في إيجاد قيمة ϕ من الرسم ونحصل على $N_{Corr.}$

---

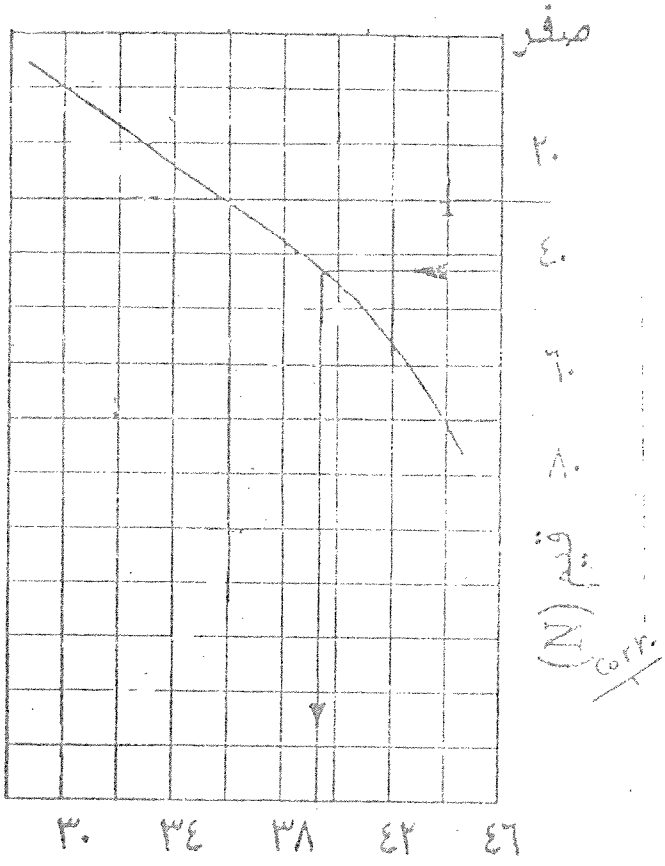
* نكمل مسألة رقم (8) من sheet 7 :

- الطبقة الـ medium sand ← N = 25 فيكون ϕ_1 المقابلة لها $(\phi_1 = 35°)$

- الطبقة fine sand (تحت G.W.T) ← $N_{cor.}$ المقابلة لها

$N_{cor.} = 15 + \frac{1}{2}(19 - 15) = \frac{17}{5}$ ← ومنها نوجد ϕ_2 المقابلة لها $(\phi_2 \cong 33°)$

- بمعلومية ϕ و c (لأنه c = 0 pure sand) نرسم الدائرة التي تمثل المقاومة τ_{max} وبمعلومية σ_3 ← نوجد دائرة مور التي تمثل اختبار الـ triaxial (σ_1 = ؟)



زاوية الاحتكاك بالدرجات (ϕ)

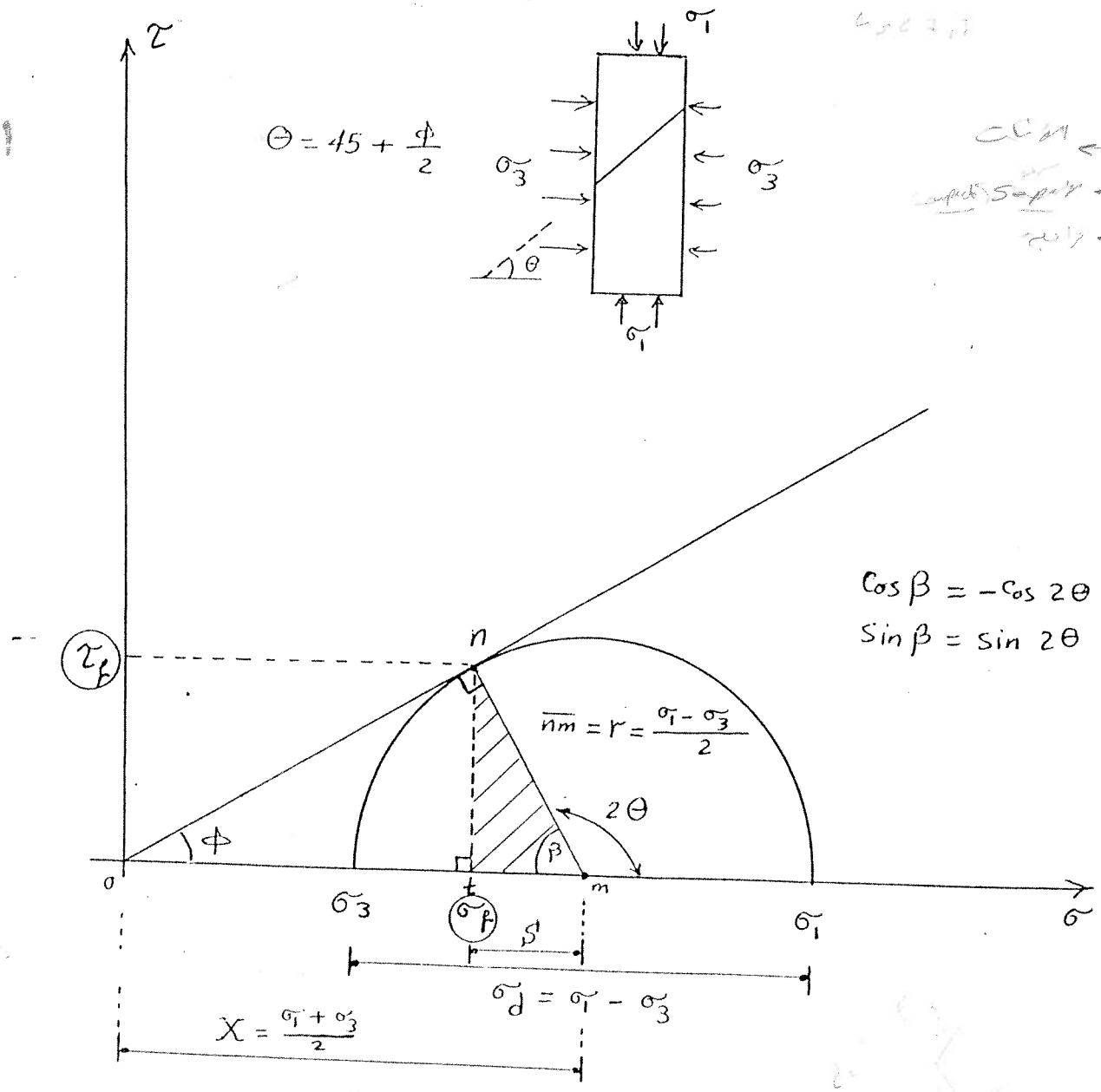
(أ) طبقا لنظرية ترزاكى الكلاسيكية

Eng°. Amir ABOZID

إثبات قوانين

Shear Strength

① Values of ϕ, τ_f, σ_f in terms of σ_1, σ_3 (pricipal stresses) in case of (ϕ - soil) :-



- $\Delta nmt \rightarrow \sin\beta = \dfrac{\overline{nt}}{\overline{nm}} = \dfrac{\tau_f}{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)}$

$\therefore \tau_f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin\beta$, $\sin\beta = \sin 2\theta$

$$\therefore \tau_f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\theta$$

- $X = \sigma_3 + \dfrac{\sigma_d}{2} = \sigma_3 + \dfrac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$

$X = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$. $\longrightarrow$ (1)

- $\Delta nmt \rightarrow \cos\beta = \dfrac{\overline{tm}}{\overline{nm}} = \dfrac{S}{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)}$

$\therefore S = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\cos\beta$, $\cos\beta = -\cos 2\theta$

$\therefore S = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)(-\cos 2\theta)$. $\longrightarrow$ (2)

$\sigma_f = \overline{ot} = X - S$

(2) , (1) من

$= \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)(-\cos 2\theta)$

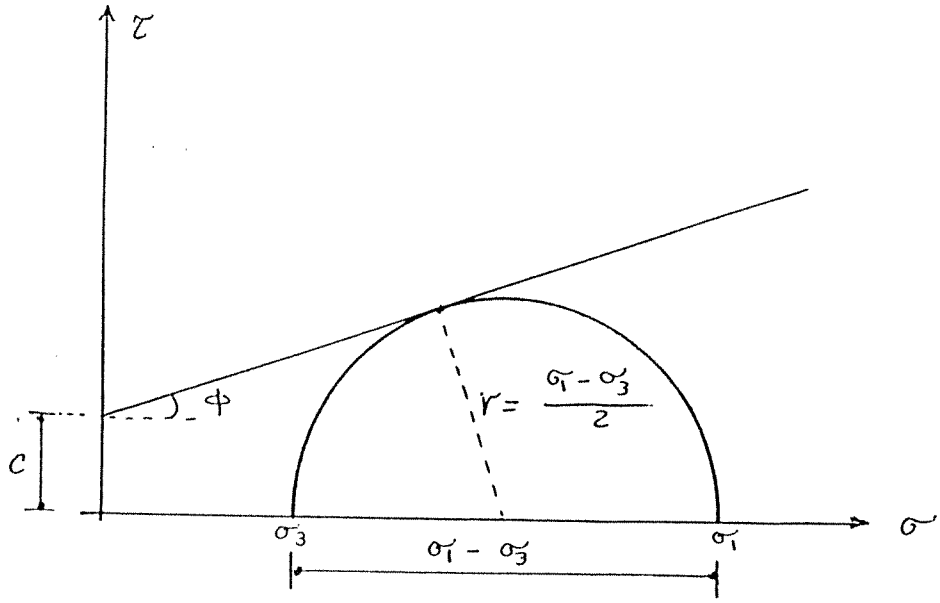
$$\therefore \sigma_f = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \cos 2\theta\right)$$

- $\Delta ont \rightarrow$ $$\tan\phi = \frac{\tau_f}{\sigma_f}$$

- $\Delta onm \rightarrow$ $$\sin\phi = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)}{\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)}$$

(2) Values of c, ϕ in terms of pricipal stresses (σ_1, σ_3):

in general Case (c, ϕ - soil)



from geometry → $\sigma_d = \{(\sigma_1 - \sigma_3) = 2\,C.\cos\phi + (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\phi\}$

بقسمة المعادلة على 2

$$\therefore \quad \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = C.\cos\phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\sin\phi$$

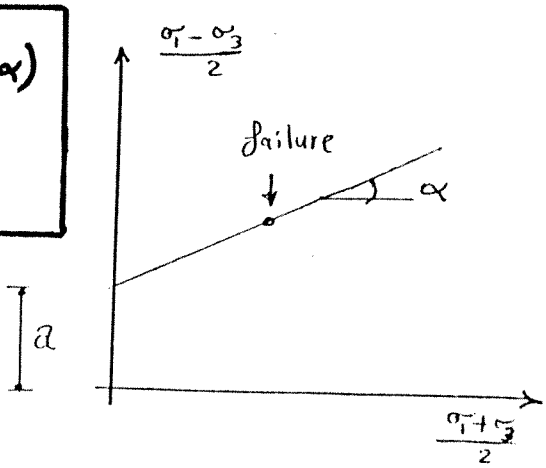
وبتعويض متغيرات جديدة لوضعها في صورة معادلة خط مستقيم

$$y = a + x.\tan\alpha$$

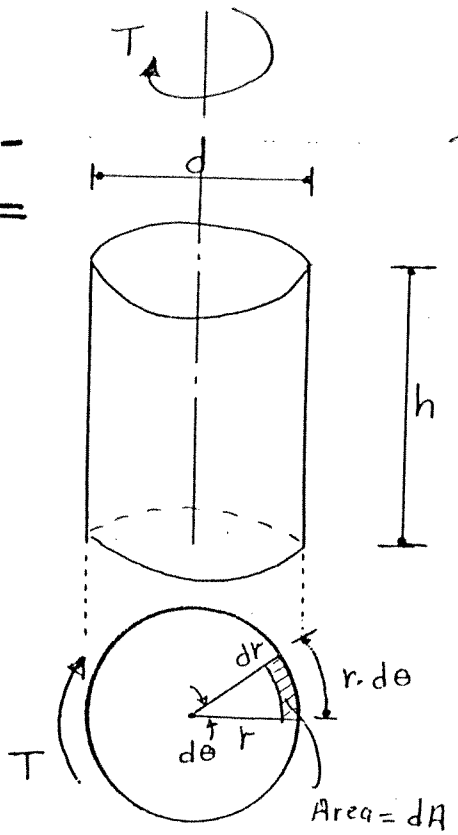
$$\therefore \sin\phi = \tan\alpha \qquad \therefore \phi = \sin^{-1}(\tan\alpha)$$

$$C.\cos\phi = a \qquad \therefore C = \frac{a}{\cos\phi}$$

where: a, α → as in fig.



* (C_u) from Vane test :-



$dA = r \cdot d\theta \cdot dr$

$C_u = C_{undrained}$

عند حدوث انفصال الجزء الاسطواني سوف يتم مقاومة التربة عند باقي الأوجه المتبقية كون :

العزم الناتج عن المقاومة القاصة على الساق = العزم الخارجي
الصلبة للاسطوانة حول المحور حول المحور

$$T = \underbrace{R_1}_{\text{العزم الناتج عن المقاومة على الساق الجانبية}} + \underbrace{R_2}_{\text{العزم الناتج عن المقاومة على قاعدتي الاسطوانة}}$$

where:

$$R_1 = \underbrace{(\pi \cdot d \cdot h)}_{\text{الساق الجانبية}}(C_u)\underbrace{\left[\frac{d}{2}\right]}_{arm} = \pi \frac{d^2}{2} \cdot h \cdot C_u \quad \rightarrow (1)$$

force

$$R_2 = \underbrace{2}_{\text{قاعدتان}} \iint \underbrace{(dA)}_{\text{ساق}}(C_u)\underbrace{[r]}_{arm} = 2 \int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{d}{2}} (C_u)(r)(r \cdot dr \cdot d\theta)$$

force

$$= 2 \int_0^{2\pi} \left[C_u \cdot \frac{r^3}{3} \right]_0^{d/2} \cdot d\theta$$

$$= 2 \int_0^{2\pi} C_u \cdot \frac{d^3}{24} \cdot d\theta$$

$$= 2 \left[C_u \cdot \frac{d^3}{24} (2\pi) \right]$$

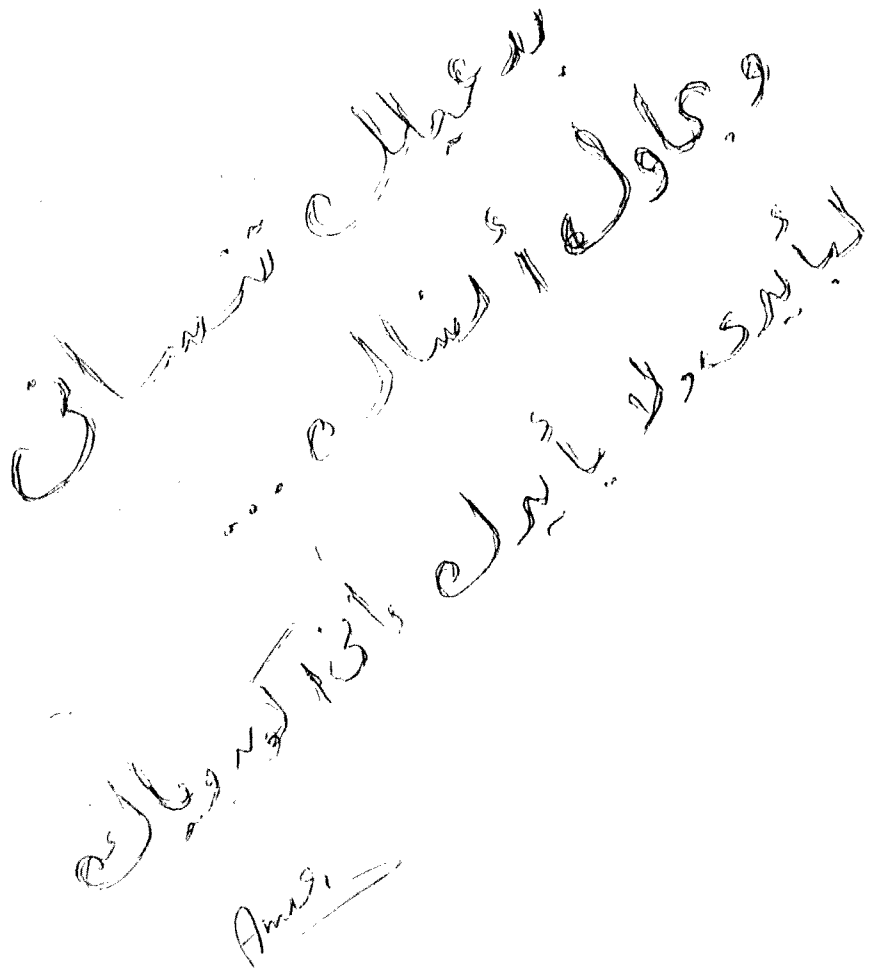
$$= C_u \cdot \frac{d^3}{6} \cdot \pi \quad \rightarrow (2)$$

(2) + (1) بجمع

$$\therefore \quad T = R_1 + R_2$$

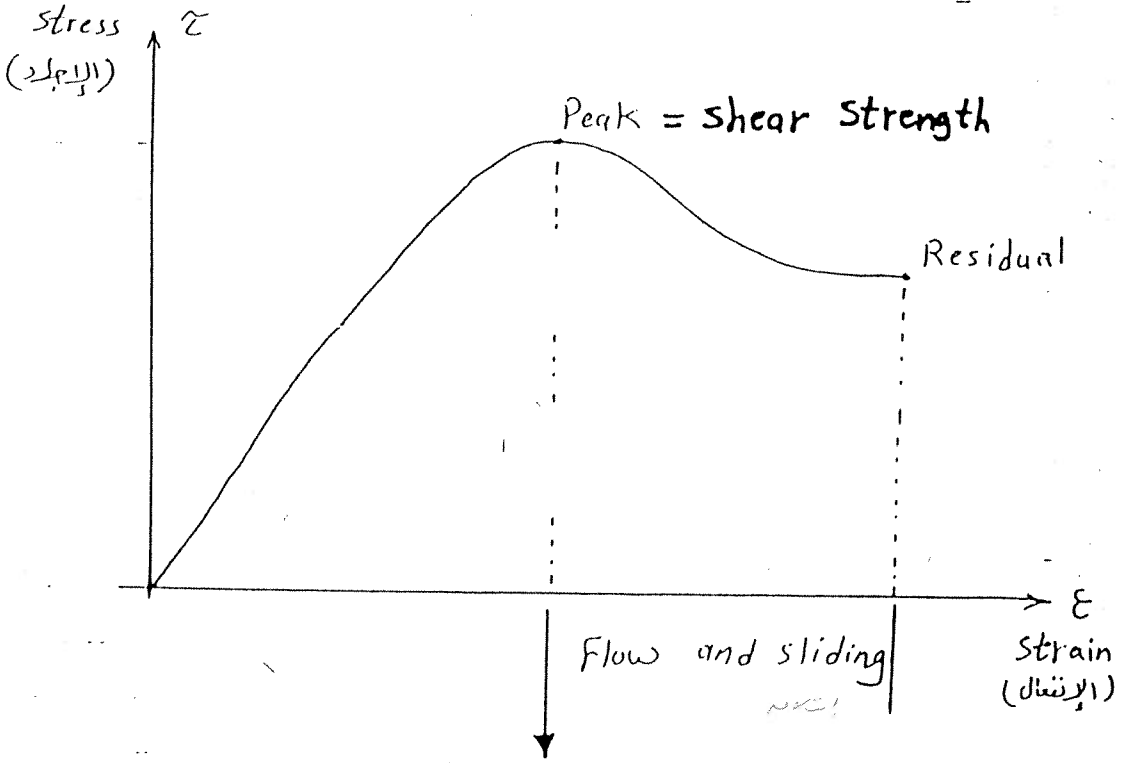
$$T = c_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2 h}{2} + c_u \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{6}$$

$$\therefore \boxed{T = c_u \cdot \pi \left[\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6} \right]}$$



* Stress - strain relationship :-

بإجراء تجارب على تربة رملية كثيفة (dense sand) تنتج العلاقة بين stress , strain كالتالي :



loosing (تفكك حبيبات التربة عند بعضها لتتحول إلى الحالة loose).

---

* Advantages and disadvantages of (Shear box test):-

- Advantages (المميزات)

1- سريع. 2- دقته مقبولة. 3- لسهولة ميكانيكه.

- Disadvantages (العيوب)

1- لا يعبر عن حالة الإجهادات الحقيقية المؤثرة على التربة في الطبيعة.
2- مستوى الانهيار مُحدد [دائماً أفقي].
3- يستخدم (غالباً) المستطيل في حساب area (= 6 cm x 6 cm) رغم أنه يتغير أثناء التجربة.