وسيم حمدي

Shear Strength [Resistance]

مقاومة القص

ملزمة (9)

Part I

* مقدمة . ص2
* Limit equilibrium . ص3
* أسباب مقدمة الجبة على مقاومة انهيار القص . ص3
* المعادلة العامة لحساب Shear strength . ص4
* Shear parameters . ص5
* العوامل المؤثرة على قيمة Shear resistance :
  (A) Cohesionless soil: (ϕ-soil) ص6
  (B) Cohesive soil (C-soil) ص7
* كيفية تعيين ϕ و C :
  (1) . Shear box test ص8 : ص10
  . example (1) ص11 : ص12
  . example (2) ص13 : ص14

Shear Strength
مقاومة القص

* مقدمة :-

• معنى حدوث (Shear failure) :-

عندما تتأثر الـ soil بقوى خارجية (رأسية) فإنها ستولد بها قوى داخلية بين الحبيبات تقاوم هذه القوى الخارجية وبالتالي ستزلعد أو ستنفصل عند باقي كتلة التربة .

- وحينما يحدث هذا الانزلاق يقال أن التربة قد حدث بها Shear failure ، ويُعرف المستوى الذي حدث عنده الانزلاق بأنه plane of shear failure

- ولكل نوع من أنواع الـ soil قدرة محددة على مقاومة حدوث مثل هذا الانهيار وأقصى شيء لهذه المقاومة هي التي تعرف بـ " shear strength (τ_{max}) " .

- ويحدث الـ shear failure حينما تصل إجهادات القص المتولدة داخل التربة إلى قيمة الـ shear strength (τ_{max}) .

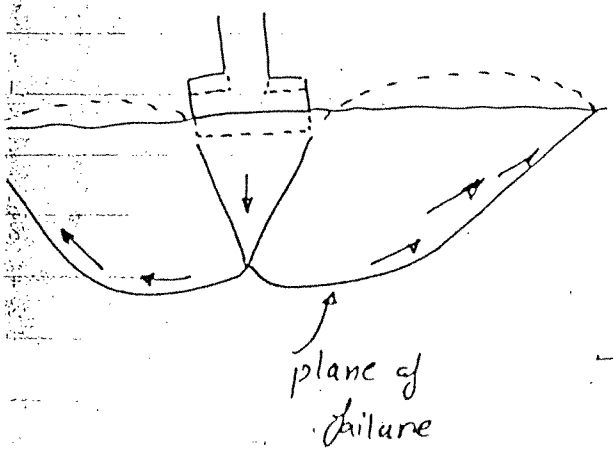
• تعريف (Shear Strength) :-

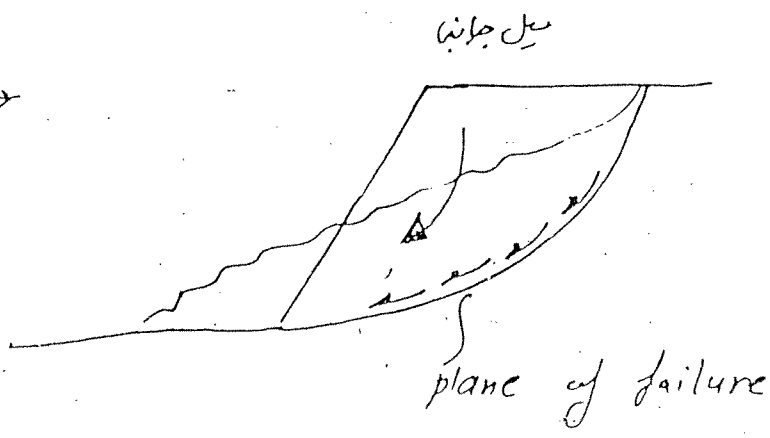
هو أقصى إجهاد مقاومة للتربة لمنع حدوث انهيار بالقص (انزلاق) داخل كتلة التربة .

أو

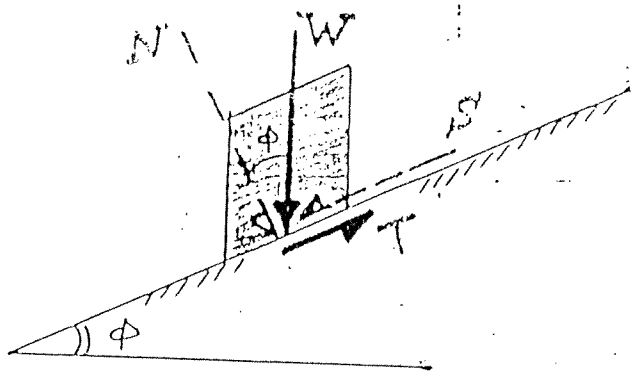
هو أقل إجهاد قص سيتولد داخل التربة وبسببه يحدث انهيار بالقص (انزلاق الأجزاء على بعضها)

• أمثلة لحالات (Shear failure) :-





* Limit Equilibrium against sliding: -
الإتزان الحرج



- بدراسة الجسم المعرض للإنزلاق وهو في حالة إتزان حرج [أي على وشك الإنزلاق] ينتج أن:

$$N = W \cdot \cos\phi \qquad S = W \cdot \sin\phi$$

$$\therefore W = \frac{N}{\cos\phi}$$

at limit equilibrium $S = T$

$$\therefore T = S = W \cdot \sin\phi = N \cdot \tan\phi$$ (في حالة عدم وجود تماسك)

$$\text{or} \quad T = C + N \cdot \tan\phi$$ (في حالة وجود تماسك بين الجسم المنزلق وباقي الكتلة)

T: Shear resistance — C: Cohesion تماسك

* أهم أسباب قدرة التربة على مقاومة حدوث إنقصاف:-

1- التفاعل بين الحبيبات.

2- الإحتكاك بين الحبيبات الخشنة [friction] ← في حالة (Cohesionless soil)

3- التماسك بين الحبيبات الناعمة [Cohesion] ← " " (Cohesive soil)

* المعادلة العامة لحساب : Shear Strength

$$\tau_{max.} = C + \bar{\sigma}_n \cdot \tan\phi$$

- $\tau_{max.}$: shear strength of soil
- C : Cohesion (الجزء الثابت)
- $\bar{\sigma}_n$: normal stress = الإجهاد العمودي المؤثر داخل الكتلة الترابية على مستوى محتمل للانهيار القص
- $\tan\phi$: معامل الاحتكاك = ميل الجزء المستقيم (الجزء المائل)

$\tau_{max.}$

1) Cohesionless soil (sand)
مثل: الرمل
[$C = 0.0$ يكون]

$$\tau_{max.} = \bar{\sigma} \cdot \tan\phi$$

ϕ - soil

2) Cohesive soil
أرض الترابية المتماسكة
مثل: الطين Clay
[$\phi = 0.0$ يكون]

$$\tau_{max.} = C$$

C - soil

3) Sandy clay
مثل: الطين الرملي
[$C \neq 0$, $\phi \neq 0$ يكون]

$$\tau_{max.} = C + \bar{\sigma} \cdot \tan\phi$$

C, ϕ - soil

* Shear Parameters : (معاملات القص) :-

- يرمز لمعامل التماسك بين حبيبات التربة الناعمة بـ C (Cohesion) (التماسك)
- ويرمز لمعامل الإحتكاك بين حبيبات التربة الخشنة بالزاوية ϕ (angle of internal friction) (زاوية الإحتكاك الداخلي)

[حيث: معامل الإحتكاك = $\tan \phi$]

وتسمى C و ϕ بـ معاملات القص (Shear Parameters)

* تجارب إيجاد (C و ϕ) لأي نوع من التربة هي:

حيث تتكون من حساب قدرة التربة على مقاومة القص (τ_{max}) لابد من تحديد قيم معاملات القص الخاصة بالتربة (C و ϕ) وهناك عدة تجارب [بالمعمل و الموقع] عليك بكيفية تحديد هذه المعاملات كالتالي:

	Cohesive Soil C - soil	Cohesoinless Soil ϕ - soil
المعمل (lab.)	(1) triaxial test اختبار الضغط الثلاثي	(1) Shear box test & اختبار صندوق القص
	(2) Unconfined Compression test اختبار الضغط غير المحاط	
الموقع أو الطبيعة (field)	(3) Vane test اختبار المروحة	(2) Standard Penetration test (SPT) اختبار الاختراق القياسي

* ملاحظة هامة:

اختبار triaxial test و shear box كلاهما يصلح لجميع أنواع التربة.

* Factors affecting the shearing resistance of Soil :- العوامل المؤثرة على مقاومة القص للتربة

(A) - Factors affecting the shear strength of cohesionless soil

" " " (ϕ)

العوامل المؤثرة على مقاومة القص للتربة غير المتماسكة :

1- الكثافة (density) :-

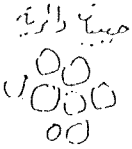
density $\propto \tau_{max}$

$\phi_{loose} < \phi_{dense}$: أي

2- مقاس وشكل الحبيبات (Grain shape, size) :-

حبيبة حادة الزوايا

حبيبة دائرية



$\phi_1 > \phi_2$ & $\phi \propto D$

shape

size

3- التدرج الحبيبي (grading) :-

$\phi_{well\ graded} > \phi_{uniform\ soil}$

↳ poorly graded

$\tau_{max_1} > \tau_{max_2}$

4- كمية الـ normal stress المؤثر على مستوى الانهيار بالقص :-

$\tau_{max} \propto \bar{\sigma}_n$

(B) - Factors affecting the shear strength of cohesive soil
~ ~ ~ cohesion (c)
العوامل المؤثرة على مقاومة القص للتربة المتماسكة

1- نسبة الفراغات (e) (Voids ratio):- تناسب عكسي $C \propto \frac{1}{e}$

2- التنظيم الهيكلي للتربة (Structural pattern):-

(II) dispersed

(I) Flocculated هندي

$C_{II} > C_{I}$

3- المحتوى المائي (water content):- تناسب عكسي $C \propto \frac{1}{w_c}$

4- حالة الإنضغاط (stress history):-

$C_{\text{Pre-Consolidated}} > C_{\text{Normally-Consolidated}}$

Pre-Consolidated: تحت ضغط
Normally-Consolidated: تحت واضح

5- الإجهاد الفعال (effective stress):-

تناسب طردي $\tau_{max} \propto \bar{\sigma}$

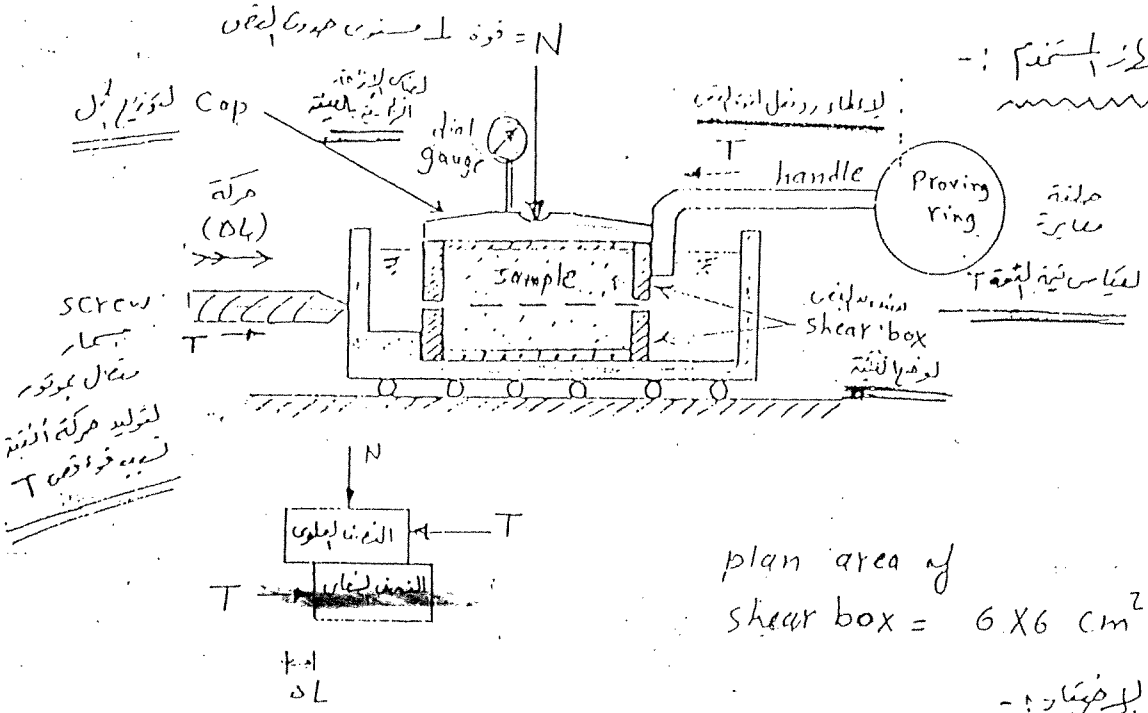
* Determination of Shear Parameters :-
تحديد معاملات القص (C, ϕ)

(1) Shear box test
Dired shear test :

- يجرى فى المعمل (in lab.)

- يستخدم فى تحديد C, ϕ للأى نوع من التربة .

- الجهاز المستخدم :-



plan area of shear box = $6 \times 6\ cm^2$

- خطوات الاختبار :-

1- يتم تجهيز العينة فى الصندوق .

2- يتم التأثير بحمل رأسى (N_1) يسبب إجهاد عمودى $\sigma_{n_1} = \frac{N_1}{6 \times 6\ cm^2}$ وتظل ثابتة طوال التجربة .

3- يتم توليد إزاحة أفقية تسبب قوة قص داخل العينة وهذه الإزاحة (ΔL) لها معدل ثابت يسمى Shear rate

4- مع الزمن [كل فترة زمنية ثابتة ≡ مسافة أفقية ثابتة] نقرأ :

(a) قراءة الـ proving ring ← R [وهى تعطى قوة القص T] :

(b) قراءة الـ dial gauge ← ΔY [وهى تعطى التغير فى الحجم أثناء التجربة] .

إلى أن يحدث إنهيار بالقص للعينة [أى نقسم إلى أنصاف متقابلين] .

5- تكرر الخطوات (1 ← 4) مرتين أخريتين على الأقل ومع كل مرة تغير σ_n تصبح $\sigma_{n_1}, \sigma_{n_3}$

وفى النهاية نحصل على إنهيارات الثلاثة .

- تحليل نتائج الاختبار :-

لكل تجربة من الثلاث تجارب يكون :

(1), (2), (3) ← قراءات بالعمل
(4), (5), (6), (7) ← حسابات

(1) time (t) [min.]	(2) dial gauge reading (Δy)	(3) Proving Ring reading (R)	(4) Shear displacment (ΔL) [mm]	(5) shear force (T) [Force]	(6) Shear stress (τ) [stress]	(7) Vertical displacement (y) [mm]
0	✓	✓				
2	✓	✓				
4	✓	✓				
6	✓	✓				
8	✓	✓				
10	✓	✓				
12	✓	✓				
⋮						

(4) = (time) × (shear rate) ← معطى

(5) = (R) × (Proving Ring Constant) ← معطى

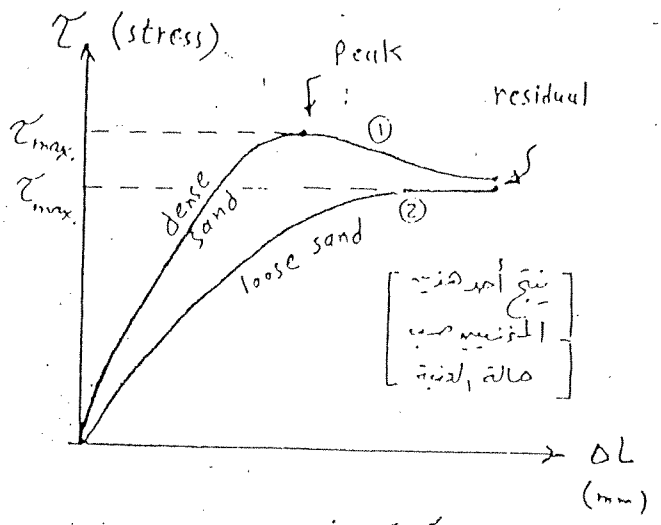
(6) = $\frac{T}{6 \times 6\ cm^2}$

(7) = (Δy) × (dial gauge Constant) ← معطى

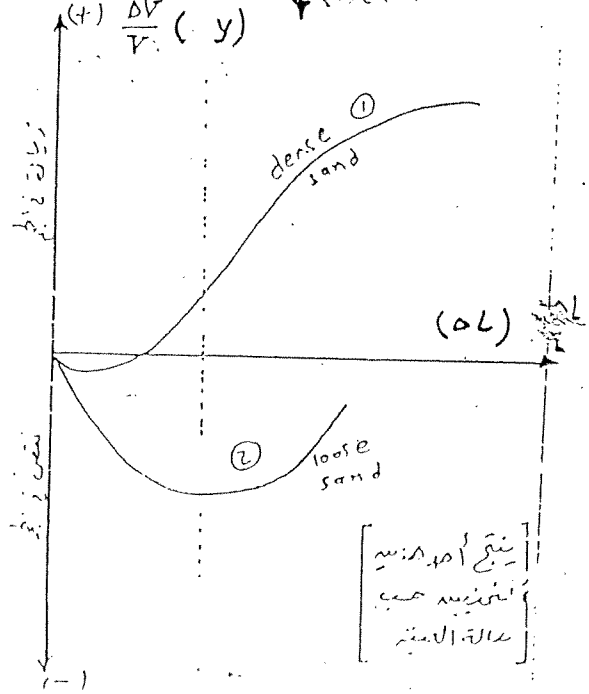
ولكل تجربة نرسم منحنيين :

(4) مع (6)

(7) مع (4)



ينتج أحد هذين المنحنيين حسب حالة التربة



ينتج أحد هذين المنحنيين حسب حالة التربة

ومن كل تجربة نحصل على :

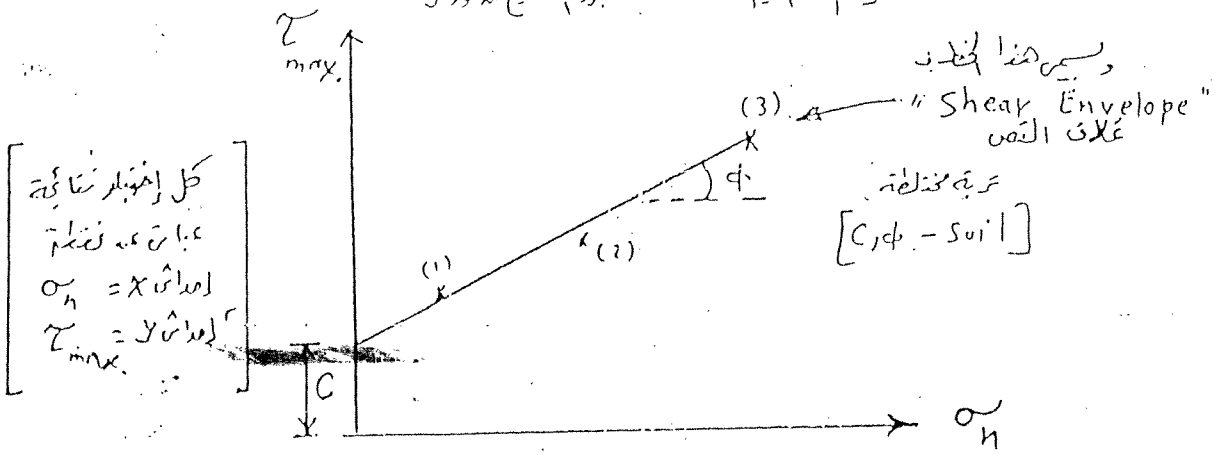
$[\tau_{max.} \xrightarrow{\text{المماسة}} \sigma_n]$

وسنتائج الثلاث تجارب يصبح عندنا

Test	1	2	3
σ_n (stress)	σ_{n1}	σ_{n2}	σ_{n3}
$\tau_{max.}$ (stress)	$\tau_{max,1}$	$\tau_{max,2}$	$\tau_{max,3}$

ويتم رسم علاقة بين τ و σ_n تنتج خط مستقيم معادلته:

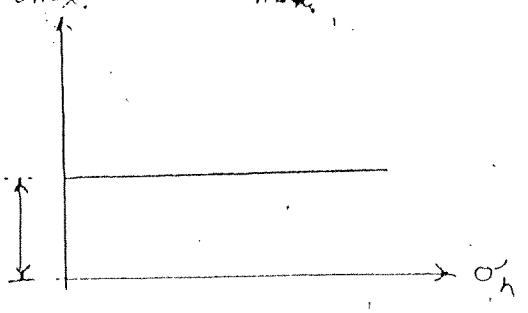
$$\tau_{max.} = \underbrace{c}_{\text{الجزء المقطوع من محور } y} + \sigma_n \cdot \underbrace{\tan\phi}_{\text{ميل الخط المستقيم}}$$



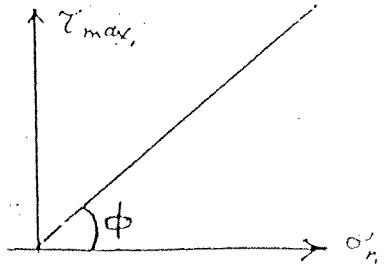
عربة مختلفة
[c, φ - soil]

ملخص خاصة

في حالة (Cohesive) c - soil
$\therefore \phi = 0.0$, $\tan\phi = 0.0$
فينتج الخط المستقيم كالتالي:
$\tau_{max.} = c$



في حالة (Cohesionless) φ - soil
$c = 0.0$
فينتج الخط المستقيم كالتالي:
$\tau_{max.} = \sigma_n \cdot \tan\phi$



* Example (1): [Sheet 7 / (1) مسألة]

[هذه النتائج تمثل تجربة واحدة من تجارب shear box]

(تعطى given) (محسوبة Calculated)

(1) time [min.]	(2) Δy	(3) R	(1) نتائج ΔL [mm]	(3) نتائج T [N]	$\tau = \frac{T}{6 \times 6}$ [N/cm²]	(2) نتائج y [mm]
0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-30	323	1.0	161.5	4.49	-0.03
4	-20	516	2	258	7.17	-0.02
6	140	582	3	291	8.08	0.14
8	348	552	4	276	7.67	0.348
10	437	478	5	239	6.64	0.437
12	462	465	6	232.5	6.46	0.462

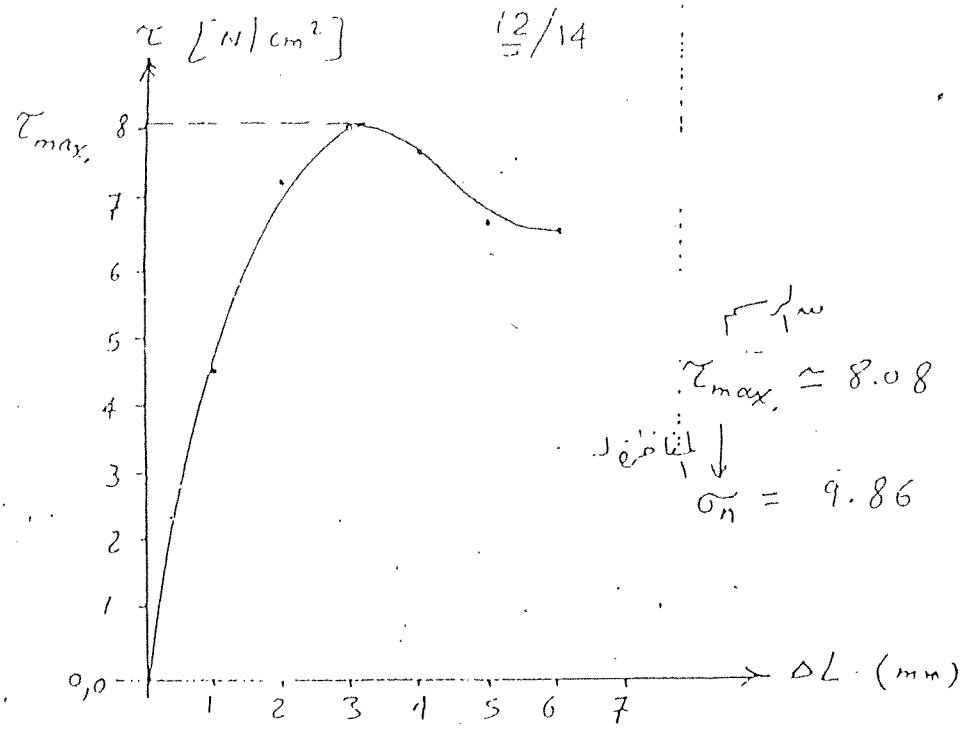
ΔL = (time) X (shear rate = 0.5 mm/min.) (تعطى)

T = (R) X (proving ring constant = 0.5 N/div.) (تعطى)

y = (Δy) X (dial gauge constant = 10^{-3} mm) (تعطى)

القوة العمودية = N = 355 N. (تعطى) $\rightarrow \therefore \sigma_n = \frac{355}{6 \times 6} = 9.86$ N/cm² (normal stress)

ترسم العلاقة: y مع ΔL و τ مع ΔL

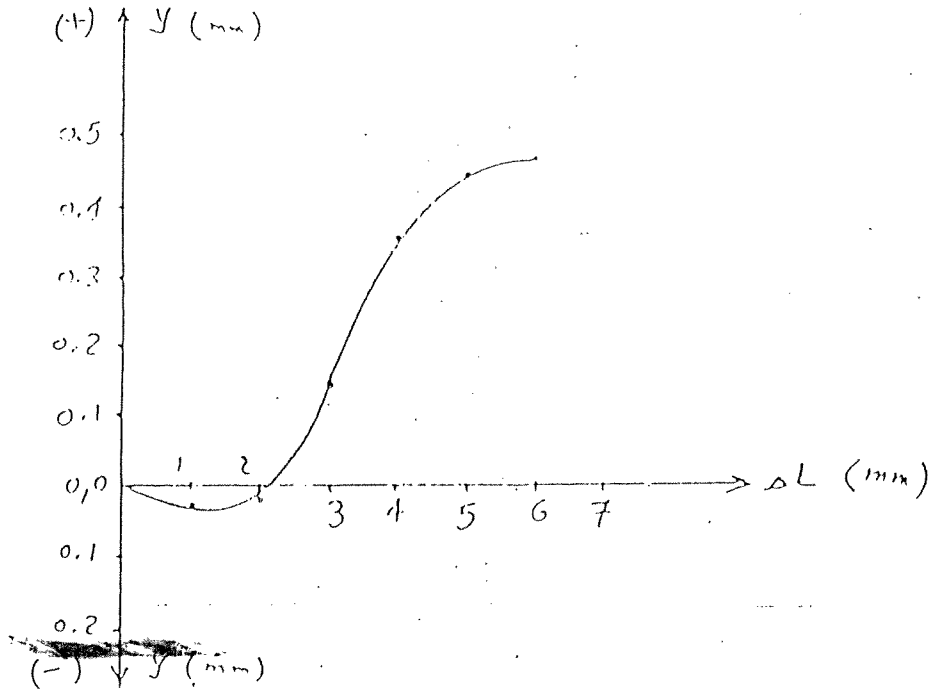


من الرسم

$\tau_{max.} \simeq 8.08 \quad N/cm^2$

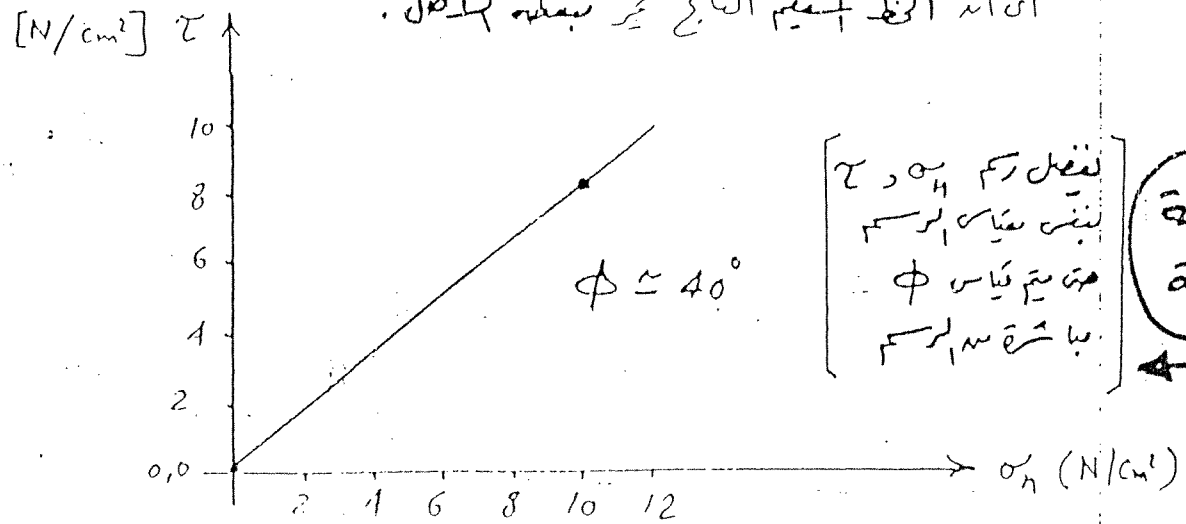
بالتعويض ↓

$\sigma_n = 9.86 \quad N/cm^2$



∴ c = 0.0 ← sand من الرسم العلاقة بين $\tau_{max.}$ ، σ_n نلاحظ أن العينة من

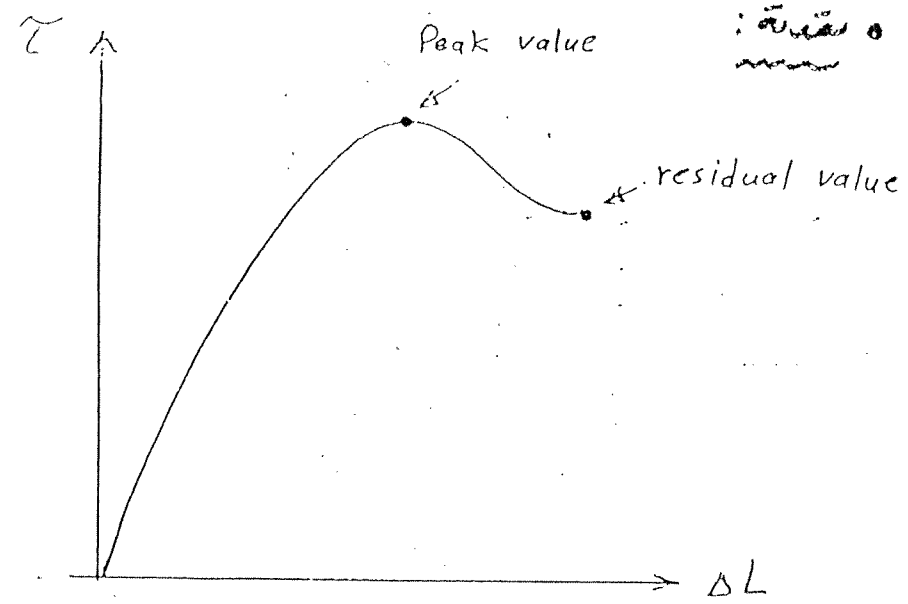
أن الخط المستقيم الناتج غير منطلق من الأصل.



لفصل كل من σ_n و τ
لبنى مقياس الرسم
حتى يتم قياس Φ
مباشرة من الرسم

Example (2): [sheet 7 / (2) مسألة رقم]

ملحوظة:



$\tau_{max.}$ (dense) ⟶ Peak

$\tau_{max.}$ (loose) ⟶ residual

وعلى ذلك يمكن تقسيم البيانات المعطاه الى جزئيه كالتالى

(dense) (loose)

σ_n (kN/m²)	$\tau_{max.}$ (kN/m²)
40	35
80	70
120	105

نرسم لـ τ ، σ_n

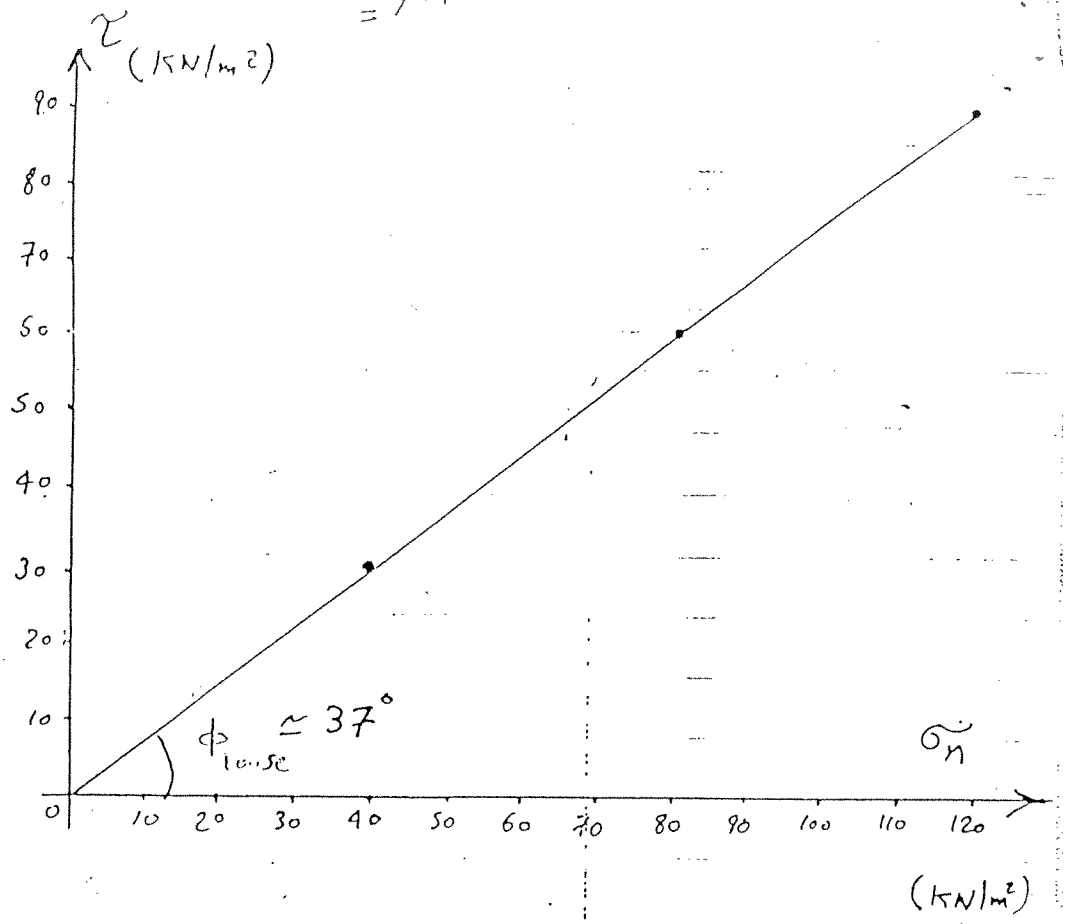
د) توجد

σ_n (kN/m²)	$\tau_{max.}$ (kN/m²)
40	30
80	60
120	90

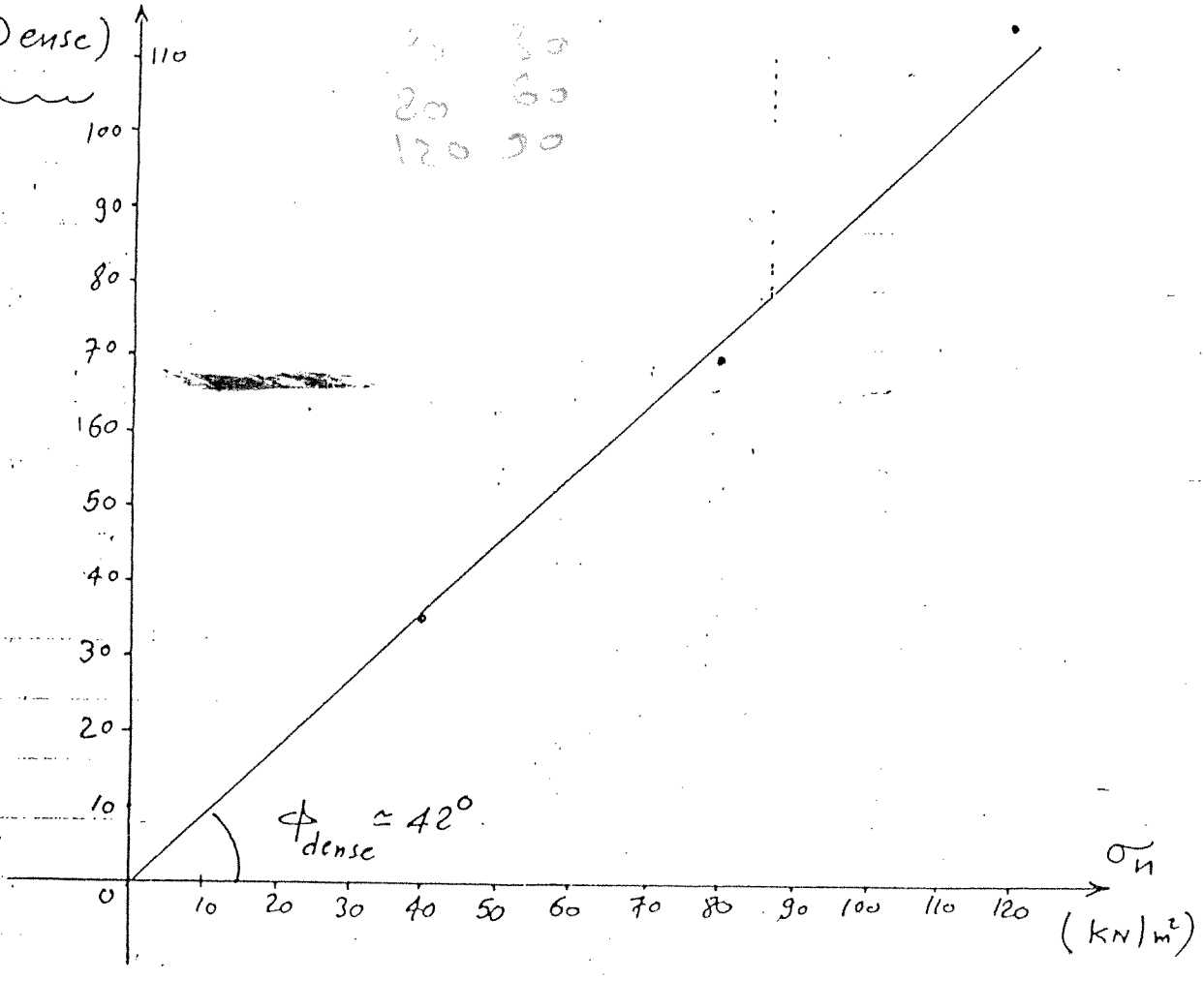
نرسم لـ τ ، σ_n

ب) توجد

(loose)


τ (kN/m²)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
$\phi_{loose} \simeq 37^\circ$
σ_n
(kN/m²)

(Dense)


110
100
90
80
70
160
50
40
30
20
10
0
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
$\phi_{dense} \simeq 42^\circ$
σ_n
(kN/m²)