

● الفصل الثامن

مقاومة التربة للقص

Soil Shear Stress

- نتيجة تعرض التربة لأحمال المنشآت المقاومة فوقها يحدث للتربة تشكيلات أو إزاحات . مثل تحرك جزء من التربة أو أزاجات . مثل تحرك جزء من التربة أو انهيار جزء منها مما تؤثر مباشرة على سلامة المنشأ المقام عليها . وقد يكون تشكيل التربة مقبولا إذا لم يتعدى مقاديرا معينة

- **ودراسة اتران التربة تحت تأثير وزنها أو ما فوقها من أجمال يستلزم تعيين مقاومة التربة للقص وكذلك علاقة الإجهاد بالانتقال للتربة ، شكل (١-٨)**

- **وتعريف مقاومة القص للتربة بأقصى إجهاد مقاوم لتشكيل القص مؤثر كتلة أو حبيبات التربة، أو هي قيمة إجهاد القص المؤثر على طول مستوى الانهيار وقت حدوث الانهيار.**

● وتتكون مقاومة القص من مركبتين :

● الاحتكاك الداخلي وهو مقاومة الحركة بين حبيبات التربة عند أسطح تلامسها معا، وهذا الاحتكاك الداخلي Internal Friction يكون كبيرا في الرمل والزلط ولا يوجد في الطين .

● القوة بين جسمين عند السطح تلامسهما تحل إلى مركبتين :

مركبة عمودية N على سطح الانزلاق ومركبة مماسية T موازية لسطح الانزلاق.

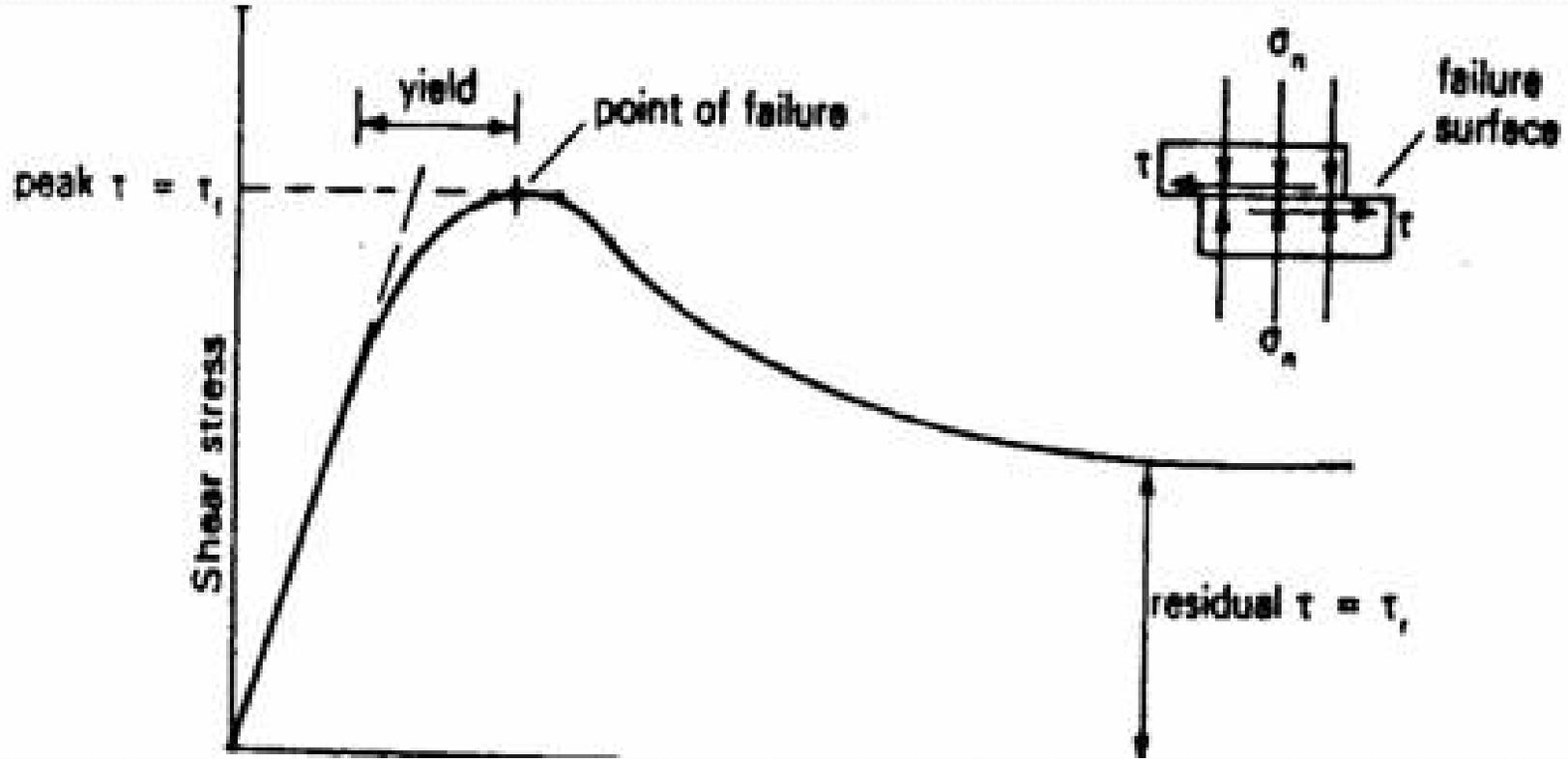
والنسبة بين المركبتين T/N تساوى قيمة محدودة تسمى معامل الاحتكاك **Friction Coefficient** حيث:

$$T_{\max} = \mu N$$

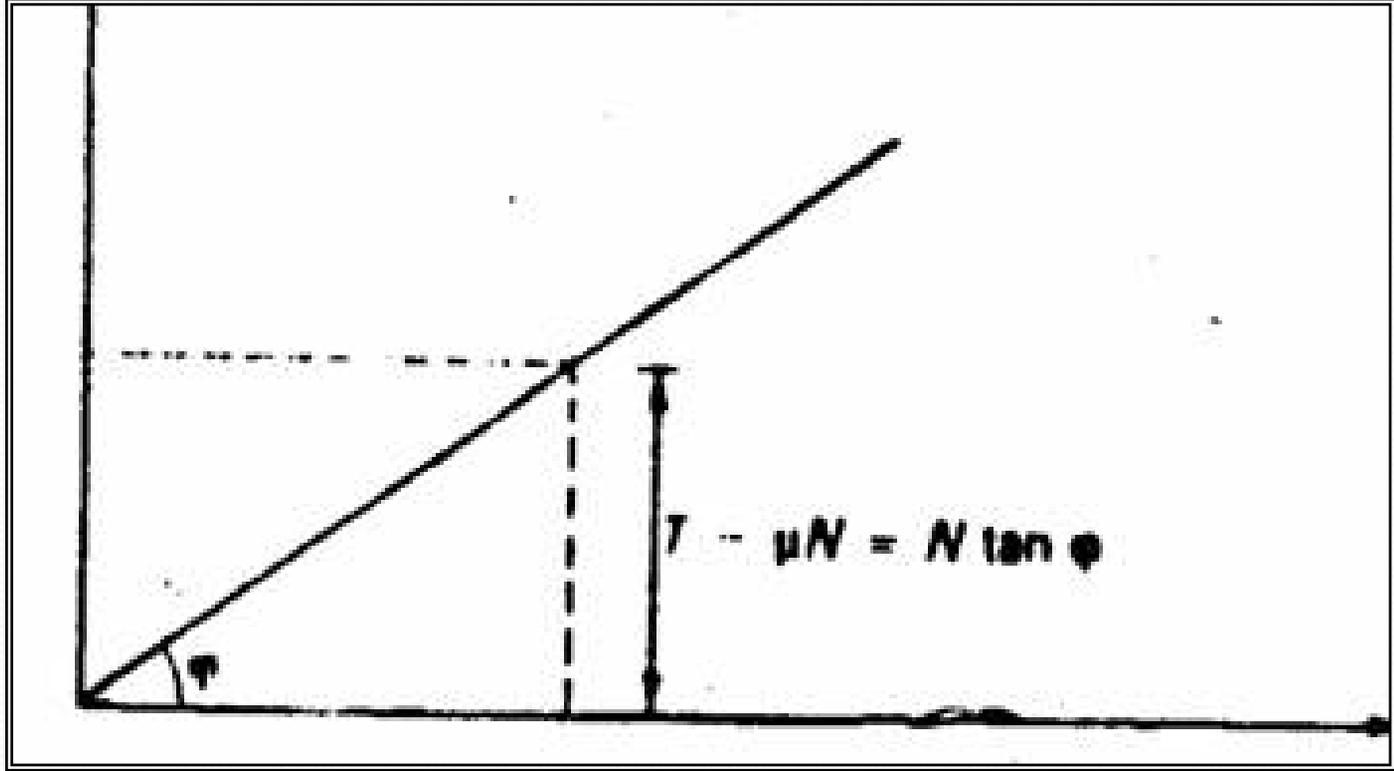
• وفي مجال التربة تعريف μ كما يلي :

$$\mu = \tan\varphi$$

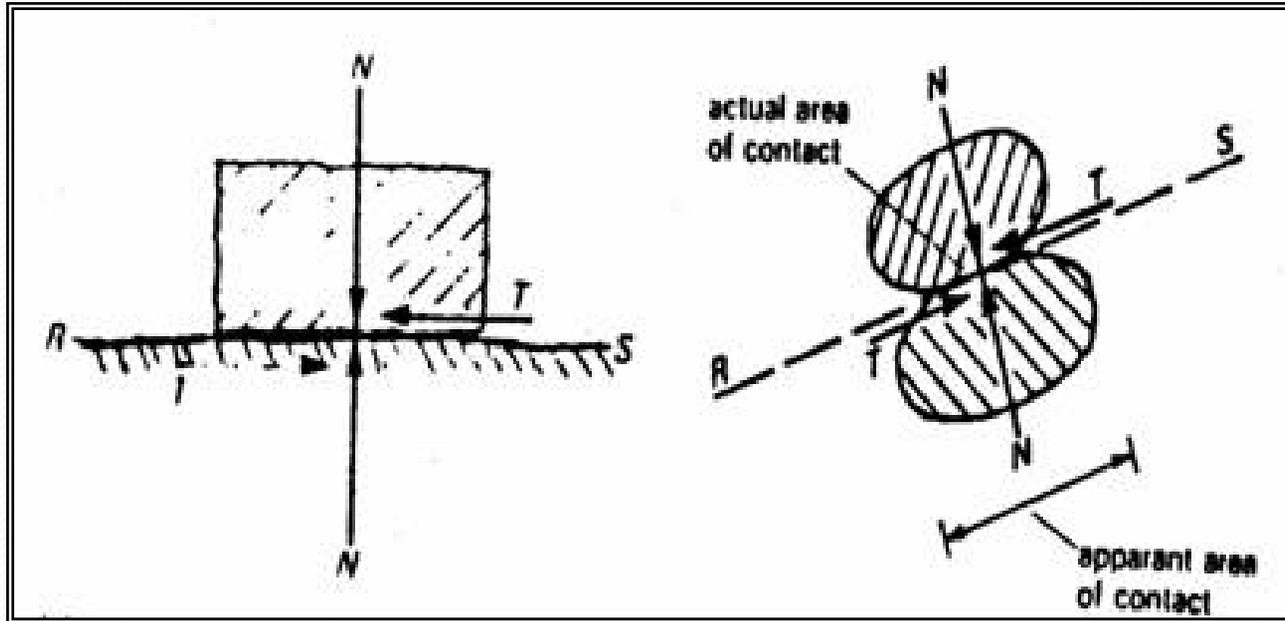
حيث φ هي زاوية الاحتكاك الداخلي لحبيبات التربة
Internal Friction شكل (٢-٨) شكل (٣-٨)



شكل (٨-١) منحنى الإجهاد - الانفعال ويبين الانهيار بالقص



شكل (٨-٢) بين الاحتكاك



شكل (٨-٢) بين زاوية الاحتكاك

- ٢- التلاصق (التماسك) وهو مقاومة القص الظاهرة في التربة حينما يكون الإجهاد العمودي مساويا للصفر . والتلاصق هذا Cohesion يكون ظاهرا وبصورة رئيسية في الطمي silt والطين clay ولا يوجد في الرمل والزلط Sand and Gravel .

● ومقاومة القص لنقطة في التربة في حالة الانهيار عبر عنها
كولوم Coulomb بالمعادلة الآتية :

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \varphi$$

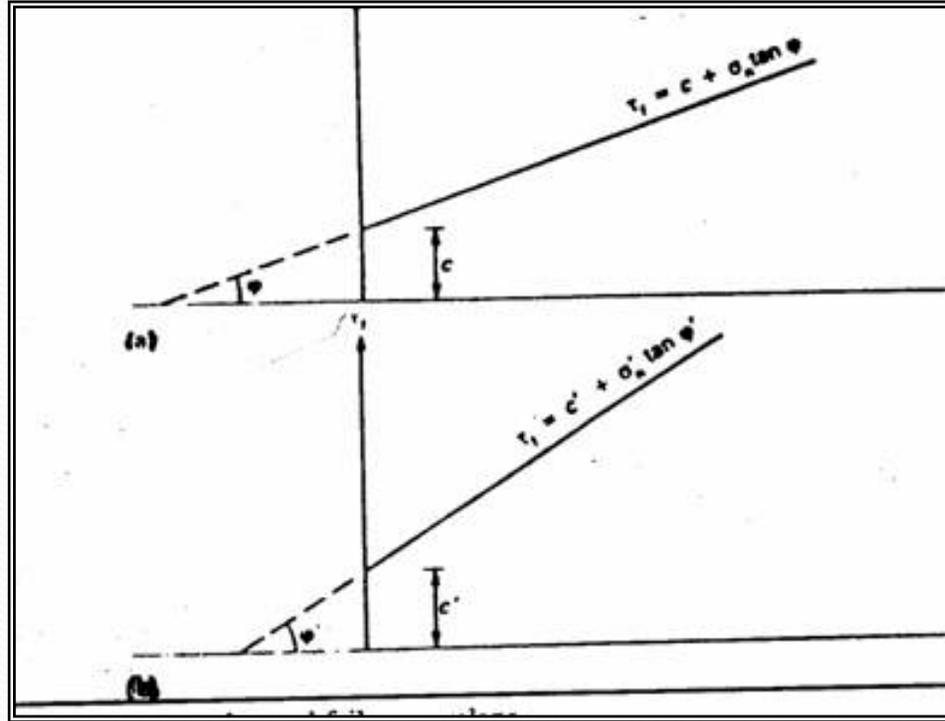
- where : τ = shearing stress at failure along the
plane of rupture,

c = apparent cohesion,

σ_n = normal stress acting on the plane of
rupture,

φ = angle of internal soil friction.

- ومعادلة كولوم ممثلة بيانيا في شكل (٤-٨). حيث قيمة التلاصق c هي مقدار التقاطع مع محور τ و ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي هي ميل خط العلاقة . ومعادلة كولوم تمثل حالة الاجهادات الكلية **Total Stress** ولكن مقاومة القص في الواقع ترتبط بالاجهاد **effective Stress** المؤثر حيث تؤخذ ϕ' , c' مما دعي إلى تطور وتعديل لمعادلة كولوم السابقة وتعطى المعادلة التالية التعديل:



- Coulomb's equation and failure envelope,
 (a) Original Coulomb envelope in terms of total stress,
 (b) Modified Coulomb envelope in terms of effective stress.

شكل (٤-٨) معادلة كولوم

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \alpha'$$

or.....since..... $\sigma'_n - \eta$

$$\tau_f = c' + (\sigma - \eta) \tan \alpha'$$

- where : c' = apparent cohesion referred to effective stress;

σ'_n = effective normal stress on the plane of rupture;

η = pore pressure on the plane of rupture failure;

α' = angle of internal friction referred to effective stress.

- كما أن مقاومة القص يمكن التعبير عنها بدلالة الاجهادات الرئيسية القصوى والدنيا σ'_1, σ'_3 المؤثرة في مرحلة الانهيار .

$$\tau_f = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\sin 2\theta$$

$$\sigma'_{ff} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\cos 2\theta$$

- حيث θ هي زاوية ميل المحاور الرئيسية .

● قياس مقاومة القص ومعاملاتها ϕ , C :

● في اختبارات قياس مقاومة القص يكون لحالة تصريف المياه أثناء الاختبار أهمية كبيرة وتأثير فعال في القيم المقاسة .
وحالات التصرف هذه تكون ثلاث حالات كما يلي :

• (١) حالة عدم التصريف Undrained :

• في اختبار عدم التصريف لا يسمح بتصريف المياه . ولذا فأي زيادة في الإجهاد الكلي يقابلها زيادة في ضغط المياه pore pressure . وفي التربة المشبعة تكون الزيادة في الضغط المياه مساوية للضغط الكلي وليجد أي زيادة في الضغط الفعال المؤثر.

• وفي هذه الحالة وعلى سطح الانهيار يكون :

If, at the failure surface, $\Delta \eta = \Delta \sigma n$; then $\Delta \sigma' = 0$

Giving $\tau_f = c + 0$

- **وحيثما يكون ضغط المياه غير مأخوذ في الاعتبار فإن المعاملات المقاسة ترجع فقط إلى الإجهاد الكلي. C_u φ_u .**

C_u = undrained apparent cohesion

φ_u = ungrained angle of shearing resistance
(in a fully unsaturated soil $\varphi_u = 0$)

- (ب) حالة التصلب - عدم التصرف :

Consolidated - undrained :

- يسمح للعينة أولاً بالتصلب تحت بالإجهاد وبتصرف كامل ثم تعرض للعينة للقص مع إغلاق التصرف ومنعة .
- والغرض من اختيار التصلب - عدم التصرف هو قياس معاملات القص المؤثرة (الفعالة)
 $C_{cu}, \varphi_{cu}, C', \varphi'$ effective

● (ج) حالة التصريف Drained :

● في اختيار التصليب - عدم التصريف يسمح للعينة أولاً بالتصليب مع التصريف الكامل وحينما تكتمل مرحلة التصليب تعرض العينة بعد ذلك للقص مع ضغط مياه ثابت ويتم التحكم في الحمل بحيث يتوافق التصريف مع الزيادة في ضغط الماء الحر.

● وعندما لا يوجد زيادة في الضغط الماء الحر تتساوى الزيادة في الضغط الفعال المؤثر مع الزيادة في الإجهاد الكلى

• $\Delta \sigma'_n = \Delta \sigma_n$ وتكون معاملات القص هنا هي ϕ'_d, C'_d .

● اختيارات القص Shear Stress :

● هناك تجارب للقص تجرى في المعمل وأخرى يمكن إجراؤها في الموقع . ومن تجارب المعمل.

● (أ) تجربة القص المباشر Direct shear (shear box) test

● (ب) اختيار الضغط الثلاثي Triaxial compression test

● (ج) اختيار الضغط الغير محصور

Unconfined compression test

• ومن التجارب الموقعة :

• (أ) اختبار المروحة Vane shear test

• (ب) اختبار الاحتراق Penetration test

● أولاً : الاختبارات المعملية :

● (أ) اختيار صندوق القص (القص المباشر)

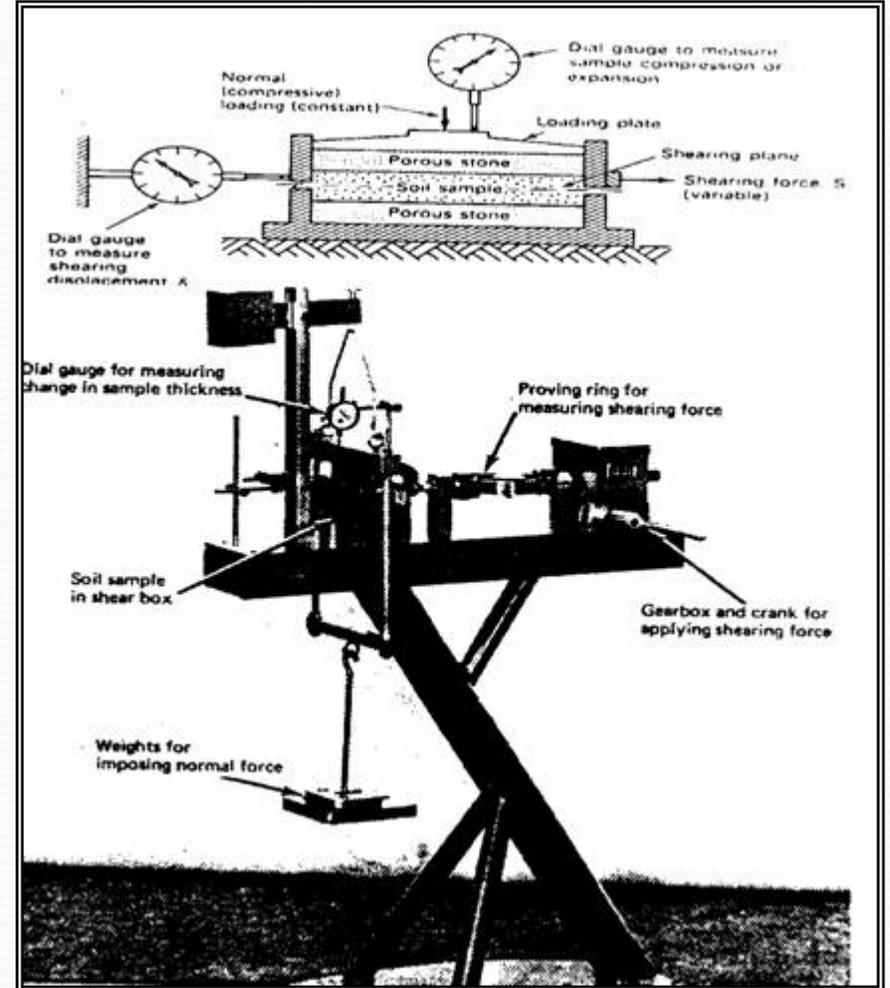
Direct shear (shear box)

● (ب) اختيارات صندوق القص يسمى أحيانا القص المباشر لأن الاجهادات العمومية واجهادات القص على مستوى الانهيار تقاس مباشرة جهاز القص المباشر يتكون من صندوق مستقبل ٦٠-٦٠ مم مكون من جزئين مما يولد في عينة التربة داخله قص أحادي شكل (٧-٥).

شكل (٥-٧) جهاز القص
المباشر

a) schematic diagram of direct shear apparatus;

b) laboratory direct shear equation
(manually operated); (courtesy of Soil test Inc.)

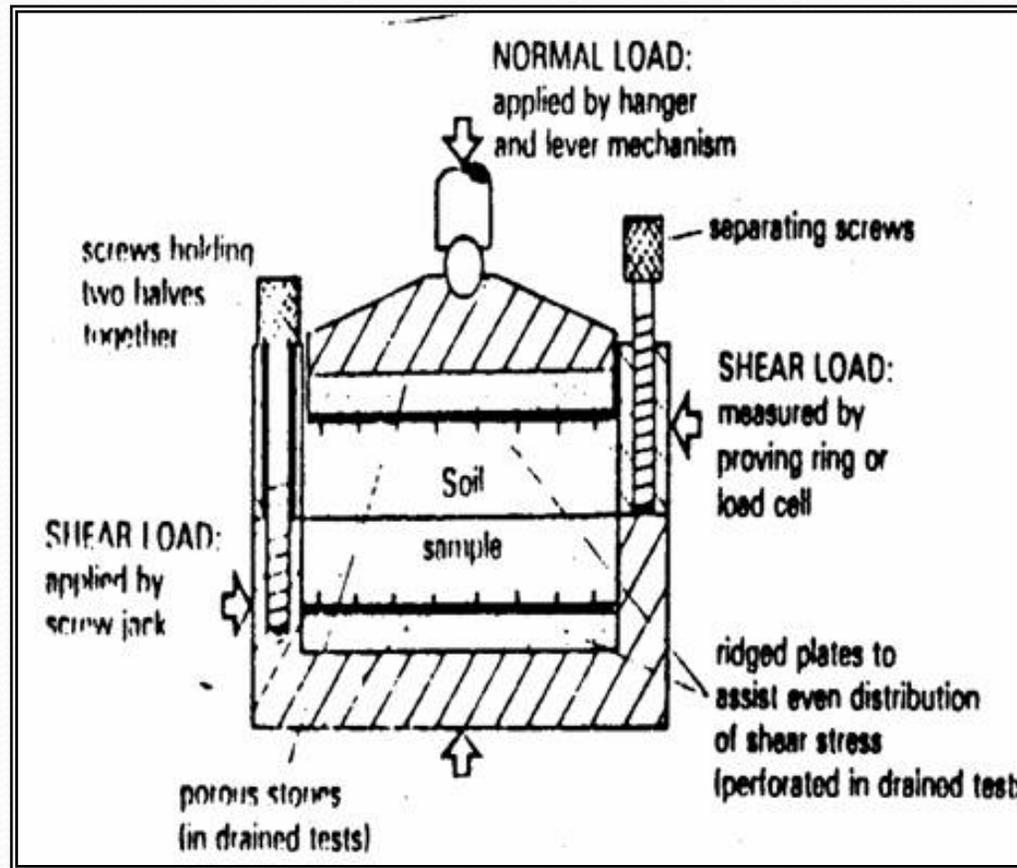


- وبعد وضع عينة التربة المراد اختيارها في الجهاز تعرض لضغط عمودي مع السماح للنصف العلوي بالتحرك عرضيا بتأثير قوى عرضية (قوى قص) . والقوى العمودية تكون ثابتة القيمة طول ثابتة القيمة طول التجربة وقوى القص تبد من الصفر وتزداد إلى أن تنهار العينة بالقص . ويتم أثناء الاختيار تسجيل قراءات قوى القص والإزاحة الأفقية ، والإزاحة الرأسية لكل قوة عمودية ثابتة .

وتكرر خطوات الاختبار أربع أو خمس مرات لقوى عمودية مختلفة ثم تمثل العلاقة بين الإجهاد الرأسي σ وإجهاد القص عند الانتهاء لكل مراحل الاختبار ومنها تعين C, ϕ

• ويبين شكل (٦-٧) صندوق القص وكيفية ربط جزئية أثناء وضع العينة ثم فكهما في بداية الاختبار لإحداث القص .

• ويبين المثال (١-٧) كيفية التعامل مع القياسات لإيجاد C, ϕ .



شكل (٦-٧) صندوق القص

- **Example 1:** A shear box test was carried out on a sandy clay yielding the following results:

Normal load, N	108	202	295	390	484	576
Shear load at failure, N	172	227	266	323	374	425

- Area of shear plane = 60x60 mm
- Define the apparent cohesion and angle of shearing resistance for the soil
- The stresses on the shear plane are obtained by dividing the corresponding load by the area.

- Area of shear plane = $60 \times 10 \times 10^{-6} = 3.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

- So for the first specimen :

Normal stress, $\sigma_n = \frac{108 \times 10^{-3}}{3.6 \times 10^{-3}} = 30.00 \text{ kN/m}^2$

Shearing stress at failure $\sigma_n = \frac{172 \times 10^{-3}}{3.6 \times 10^{-3}} = 47.80 \text{ kN/10}^{-3}$

- Similarly the other values will be :

Normal load, σ'_n =(kN/m²)	30.0	56.1	81.9	108.3	134.4	160.0
Shear load at failure, σ_f =(kN/m²)	47.8	63.1	73.9	89.7	103.9	118.1

- **Figure (2)** shows the shear stress plotted against normal stress, and the best straight line drawn through the points to give Coulomb's shear strength envelope. The shear strength parameters measured from the graph are :

Apparent cohesion, $c' = 33. \text{kN/ m}^2$

Angle of shearing resistance, $\phi' = 28^\circ$

(Figure 7.7)

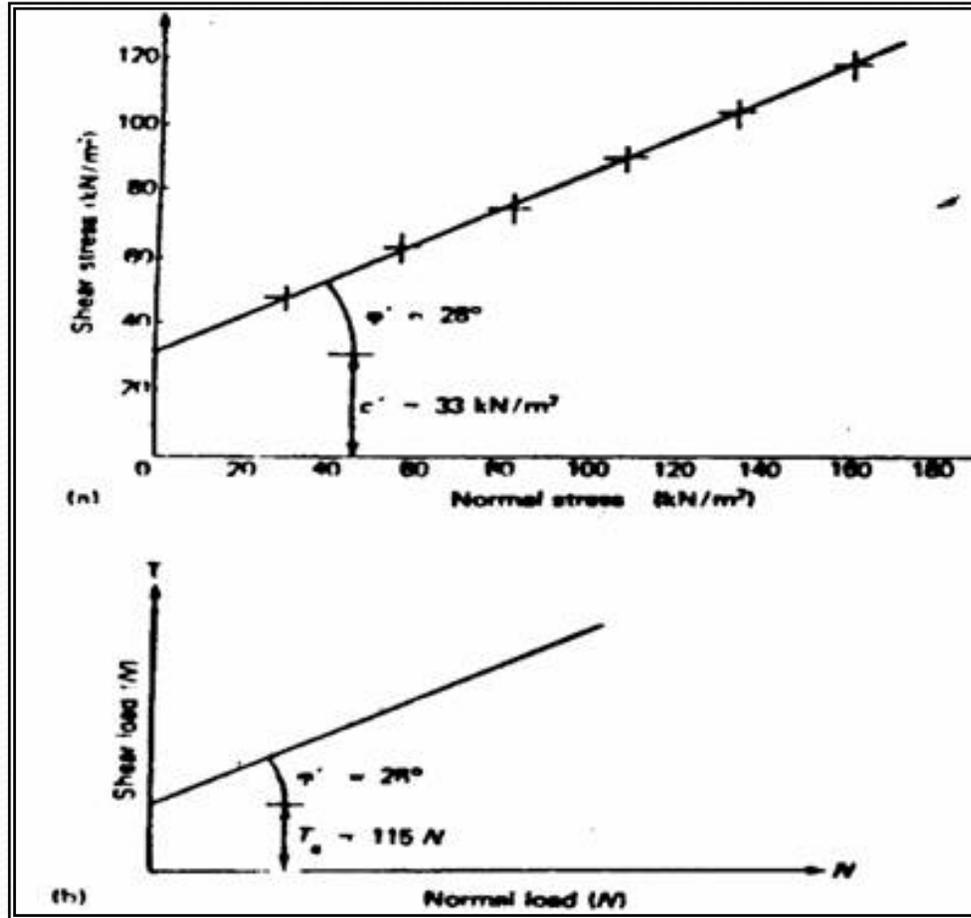
- أنواع بالتربة طبقا لمقاومة القص :

Soil types according to Shear stress :

- مقاومة القص تحتوى على معاملين هما ϕ , C . ويمكن تقسيم التربة طبقا لقيم هذين المعاملين كما يلى :
- (أ) تربة غير متماسكة حيث $C = 0$ (Cohesionless soil) ، وهذه التربة مثالها الرمل والزلط .

• (ب) تربة بدون احتكاك (متماسكة) حيث $\phi=0$ (Frictionless soil) ومثال هذه التربة الطمي والطين المشبعين في حالة عدم التصرف .

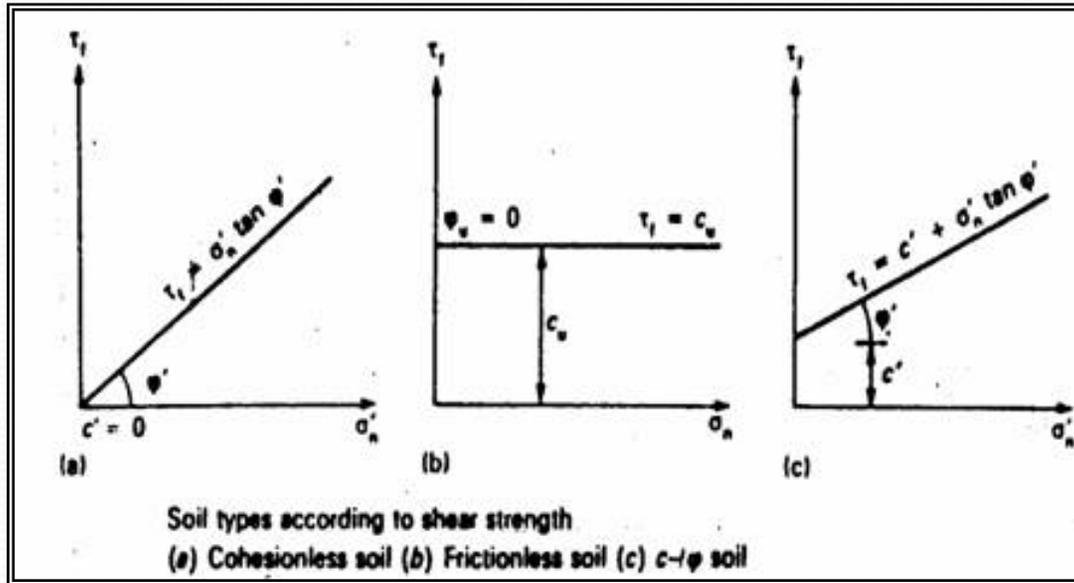
• (ج) تربة مختلطة (C- ϕ soil) وهي خليط من الترتبتين السابقتين مثل الرمل الطيني والرمل الطمي والطين الرملي الخ. ويبين الشكل (٨-٨) هذا التصنيف للتربة .



شكل (٧-٧)

- ويمكن الحصول على نفس النتائج من تمثيل العلاقة بين قوى القص والقوى العمودية .

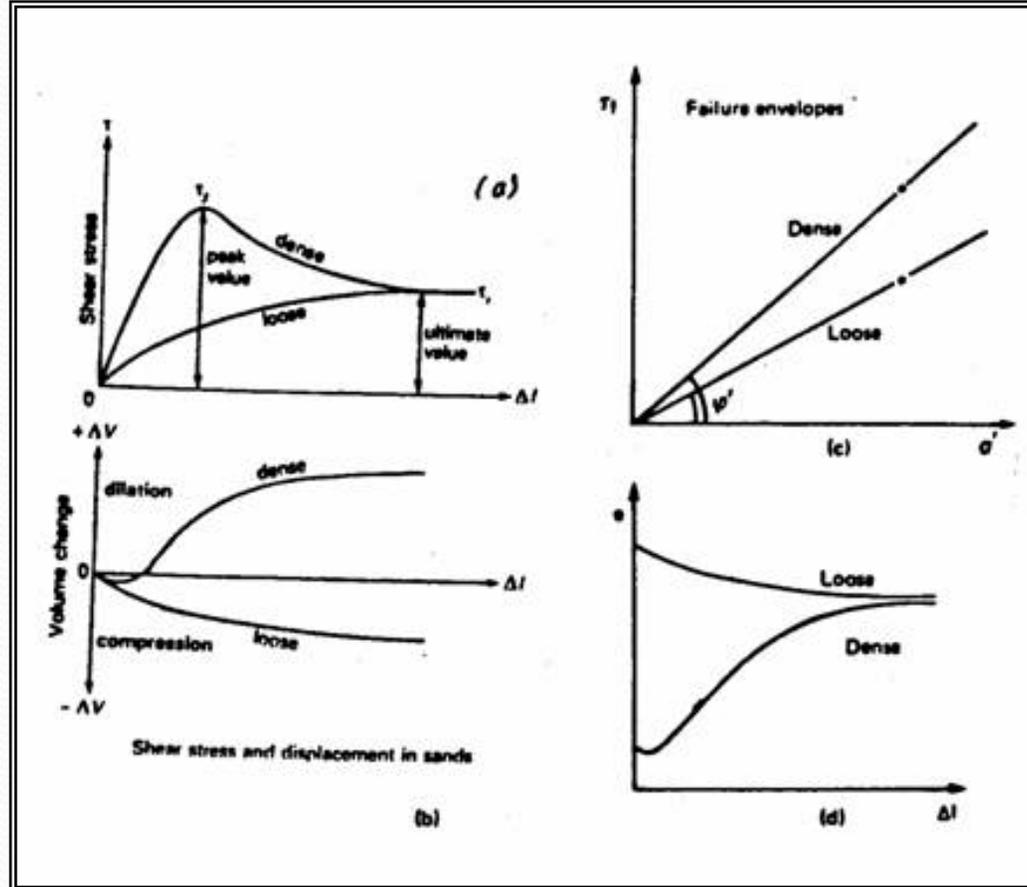
$$C' = \frac{115 \times 10^{-3}}{3.6 \times 10^{-3}} = 32 \text{ kN/m}^2$$



شكل (٨-٨) نوع التربة حسب مقاومة القص

● مقاومة القص والتشوه في الرمل :

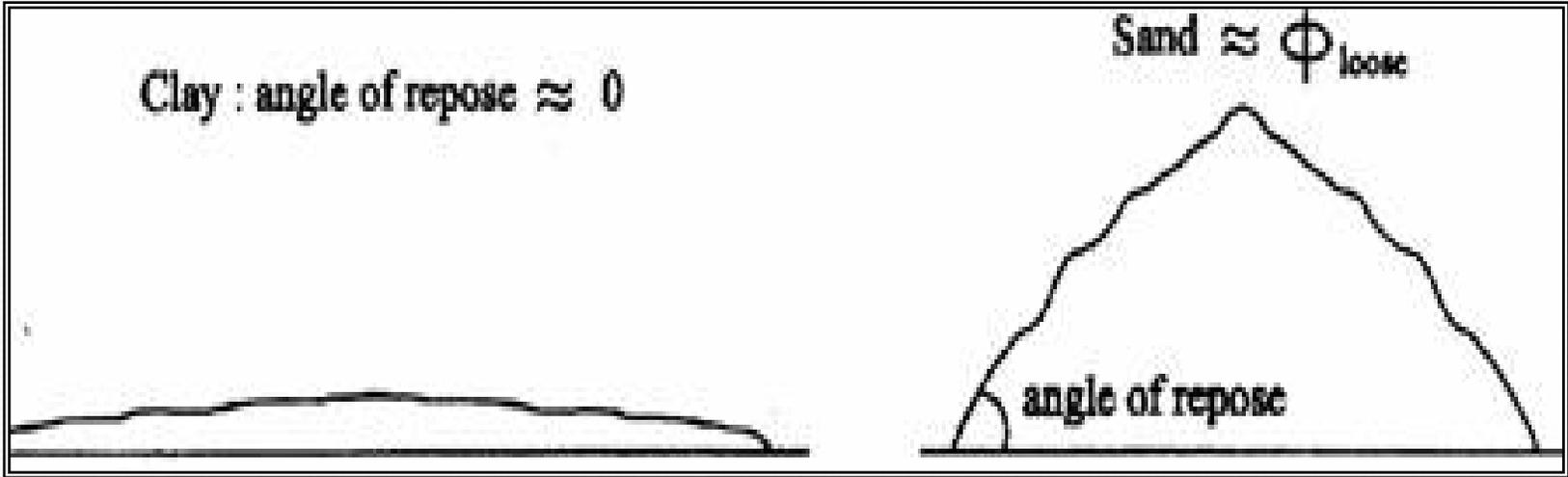
● في اختيار القص المباشر يسجل التشوه الذي يحدث في العينة في الاتجاهين الرأسي والأفقي والذي يعبر عن التغير الحجمي للعينة شكل (٩-٧) علاقات التشوه المختلف للرمل بحالتيه.



شكل (٩-٧) نتائج اختبار القص

● زاوية الاستقرار : Angle of repose

- زاوية الاستقرار لتربة الزاوية المقاسة على الأفقي والتي عندها تأخذ كمية من التربة الجافة وضعها الطبيعي دون أي سند أو تدعيم . وفي حالة الرمل والزلط حيث $C = 0$ فإن زاوية يمكن أن تؤخذ مساوية Cloose أما للطين فهذه الزاوية تقريبا مساوية للصفر .



شكل (٧-١٠) زاوية الاستقرار

- عيوب ومزايا اختبار صندوق القص :

Advantages and Disadvantages of the Shear Box test :

- تتميز هذه التجربة بالمزايا الآتية :
- ١- واجهادات القص والضغط العمودي على مستوى الانهيار تقاس مباشرة ومعاملات القص تعيين مباشرة من العلاقة بين هذه الاجهادات.
- ٢- يمكن الحفاظ على الإجهاد العمودي ثابتا طول التجربة .

● ٣- من الأسهل اختبار التربة الغير متماسكة مثل الرمل والزلط
وحالة عدم التصرف تنفذ فى وقت قصير .

● ٤- من السهل قياس التعبير الحجمي طوال التجربة . وعيوب
هذه التجربة ما يلي :

(١) توزيع إجهاد القص يفترض أنه منتظم التوزيع على
مستوى الانهيار والواقع فى التجربة غير ذلك لنقص المساحة
المعرضة للقص .

(٢) لا يمكن التحكم فى تصريف المياه من العينة وكذلك قياس تصرفها.

(٣) تغير المحتوى المائي مع استمرار الضغط مما يؤثر على النتائج .

(٤) الإجهاد العمودي لا يتغير بسهولة .

(٥) جوانب صندوق القص وما يمثله من عائق لعملية القص لا تتطابق مع الوضع الطبيعي للتربة .

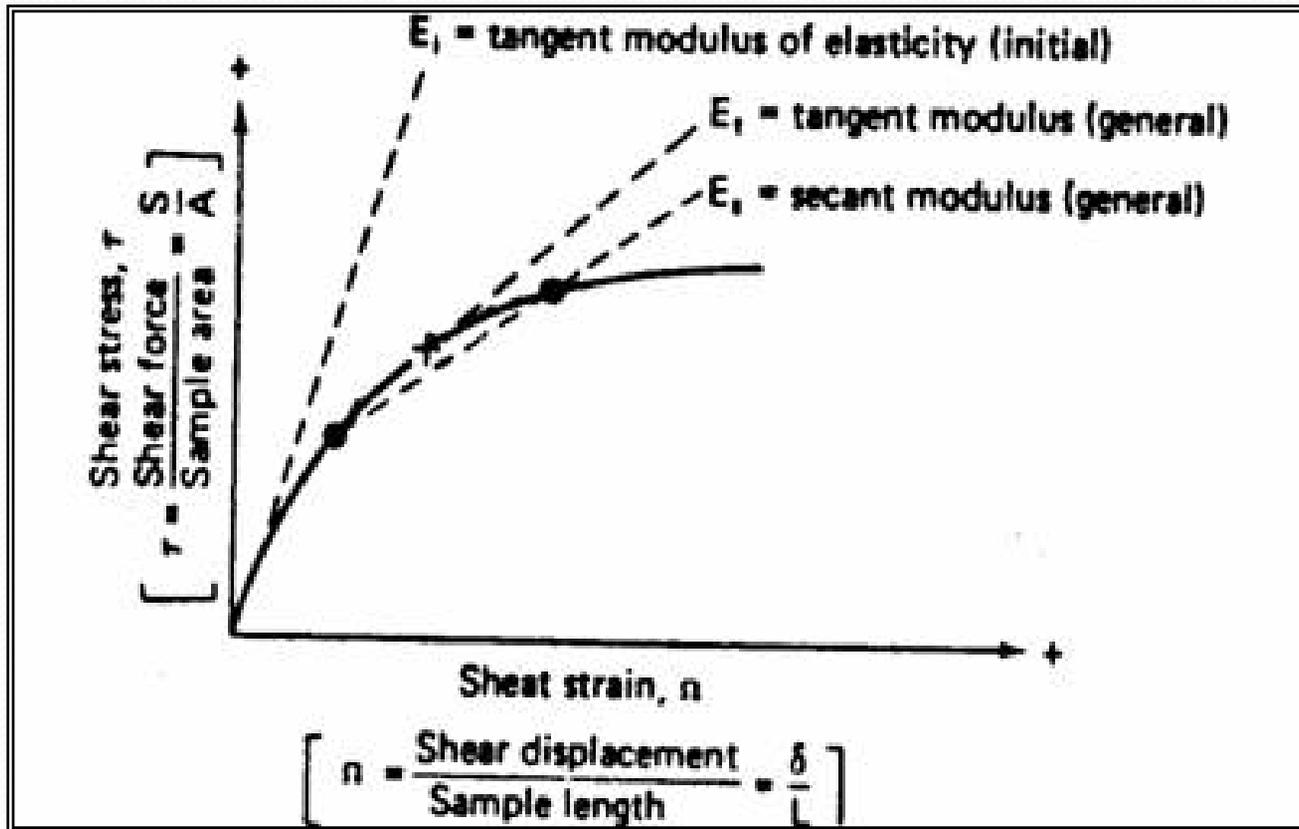
● ملاحظات أخرى على تجربة القص المباشر :

● ١- من علاقة إجهاد القص وانفعال يمكن تعيين معامل المرونة للتربة شكل (٨-١١).

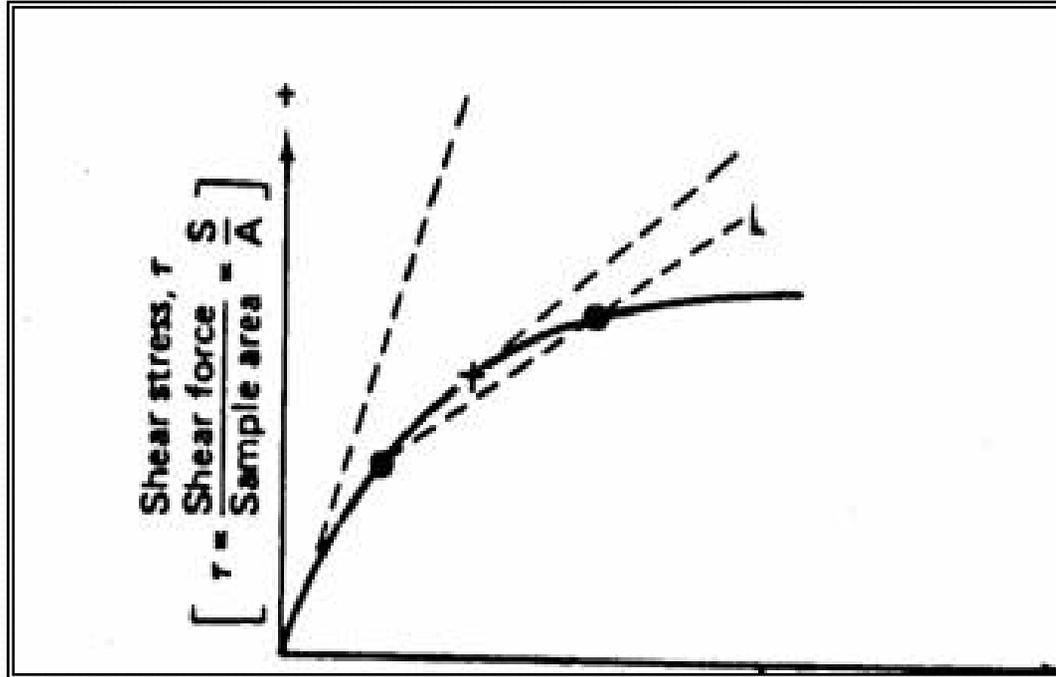
● ٢- الإجهاد العمودي يعين من قسمة قوى لإجهاد على مساحة مقطع العينة ، وكذلك إجهاد القص يعين من قسمة قوى القص على مساحة مقطع العينة شكل (٨-١٢).

- ٣- العلاقة بين واجهادات القص والضغط العمودي للتربة الغير متماسكة تمر بنقطة الأصل أما للتربة المختلطة (C- ϕ soil) فإنها تقطع محور إجهاد القص شكل (١٣-٨)، (١٤-٨)، (١٥-٨)

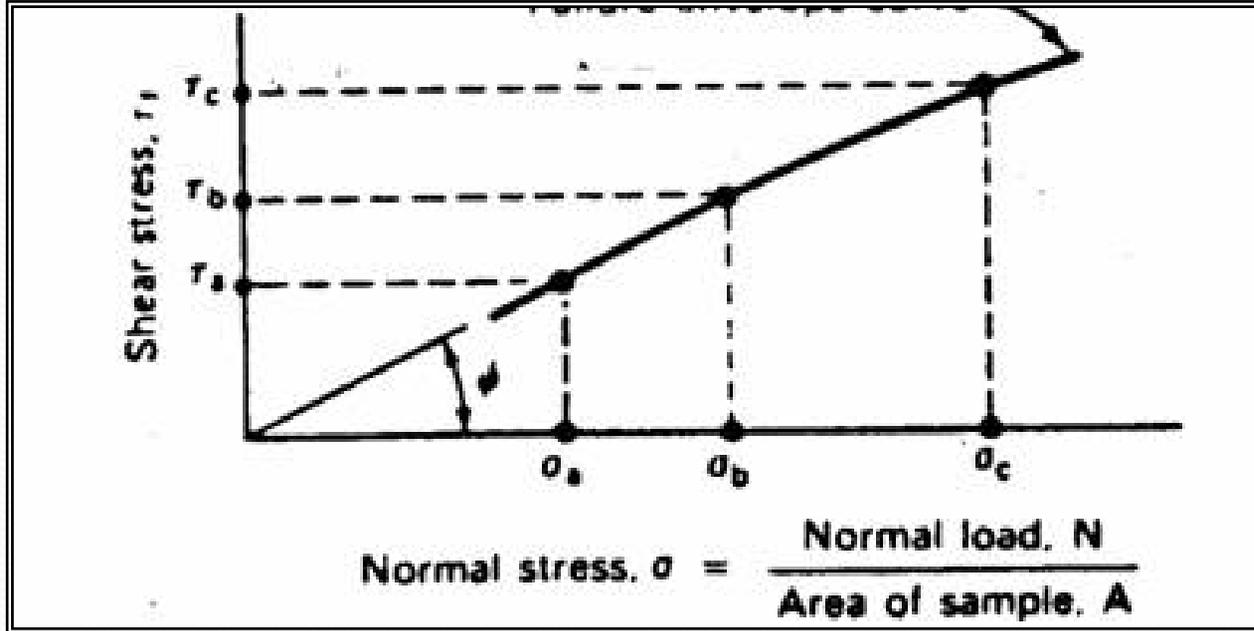
- ٤- يبين جدول (١-٨) بعض القيم الاسترشادية لزاوية الاحتكاك الداخلي لبعض أنواع التربة .



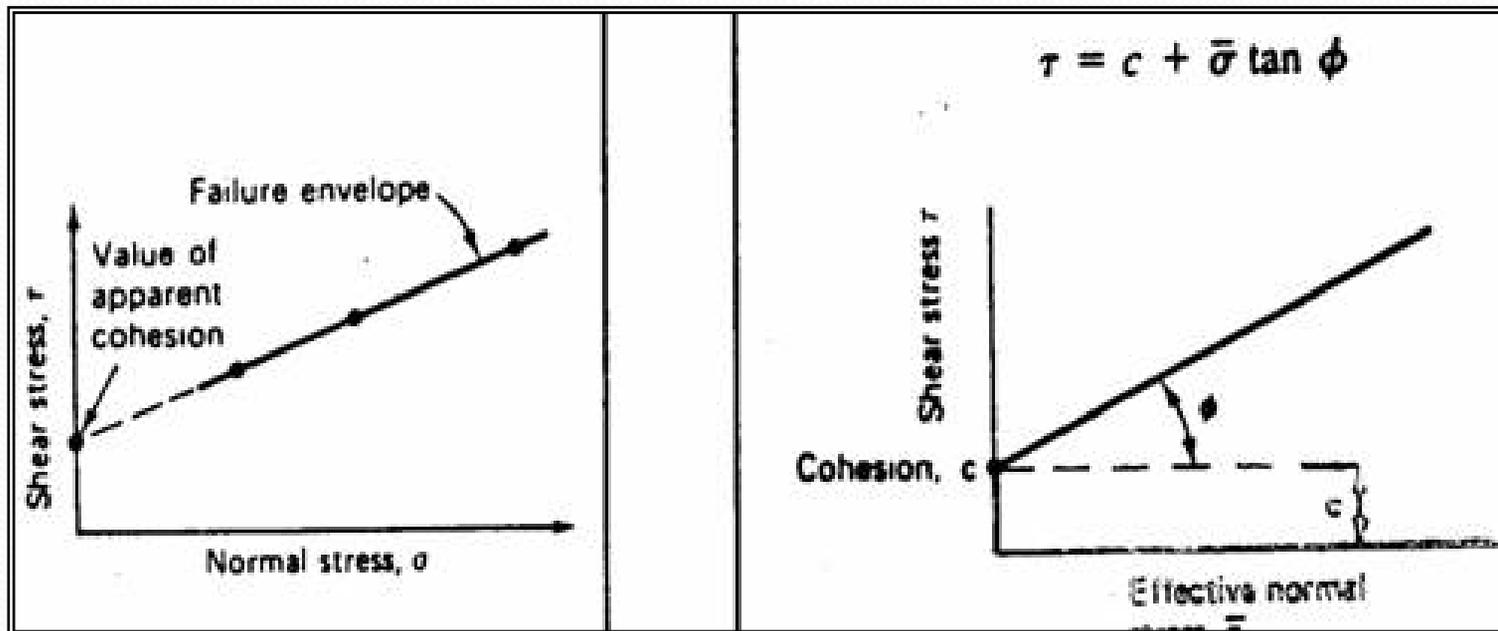
شكل (٧-١١) تعيين معامل المرونة للتربة



شكل (١٢-٧) تمثيل إجهاد القص - انفعال القص



شكل (٨-١٣) نتائج اختبار القص لتربة خشنة



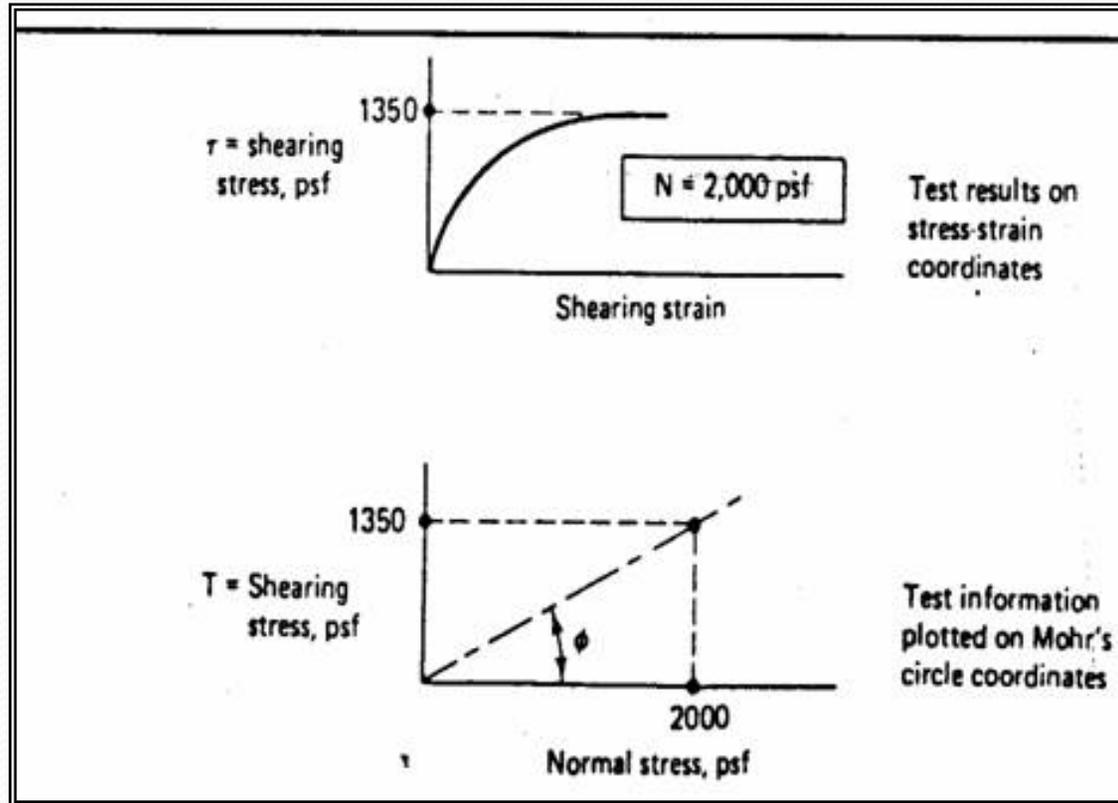
شكل (١٥-٨) تمثل $\sigma - \tau$ اتربة مختلطة شكل (١٥-٨) نتائج إختبار القص

جدول (٨-١) قيم ϕ لتربة خشنة

Soil type	Angle ϕ , degrees	
	Ultimate	Peak
Sand and gravel mixture	33-36	40-50
Well-graded sand	32-35	40-50
Fine to medium sand	29-32	32-35
Silty sand	27-32	30-33
Silt (nonplastic)	26-30	30-35

- ٥- تبين الأمثلة الآتية نتائج اختيار القص المباشر وكيفية التعامل لرسم العلاقات المختلفة للاختبار وتعيين القيم المطلوبة .

- **Example 2** : A sample of dry sand is tested in direct shear . A normal load equivalent to 2 ksf is imposed for the test. The shearing force applied to fail the sample is increased until shearing does occur . The shear stress at failure is 1350 psf . What is the angle of internal friction ϕ for the sand ?



$$\tan\phi = \frac{1350}{2000} = 0.675$$

$$\phi \dots = 34.\text{deg} \pm$$

- **Example 3** : During a shear box test on a compacted sand the following results were recorded .

Normal load (N)	110	216	324	432
Ultimate shear load (N)	66	131	195	261
Peak shear load (N)	85	170	253	340

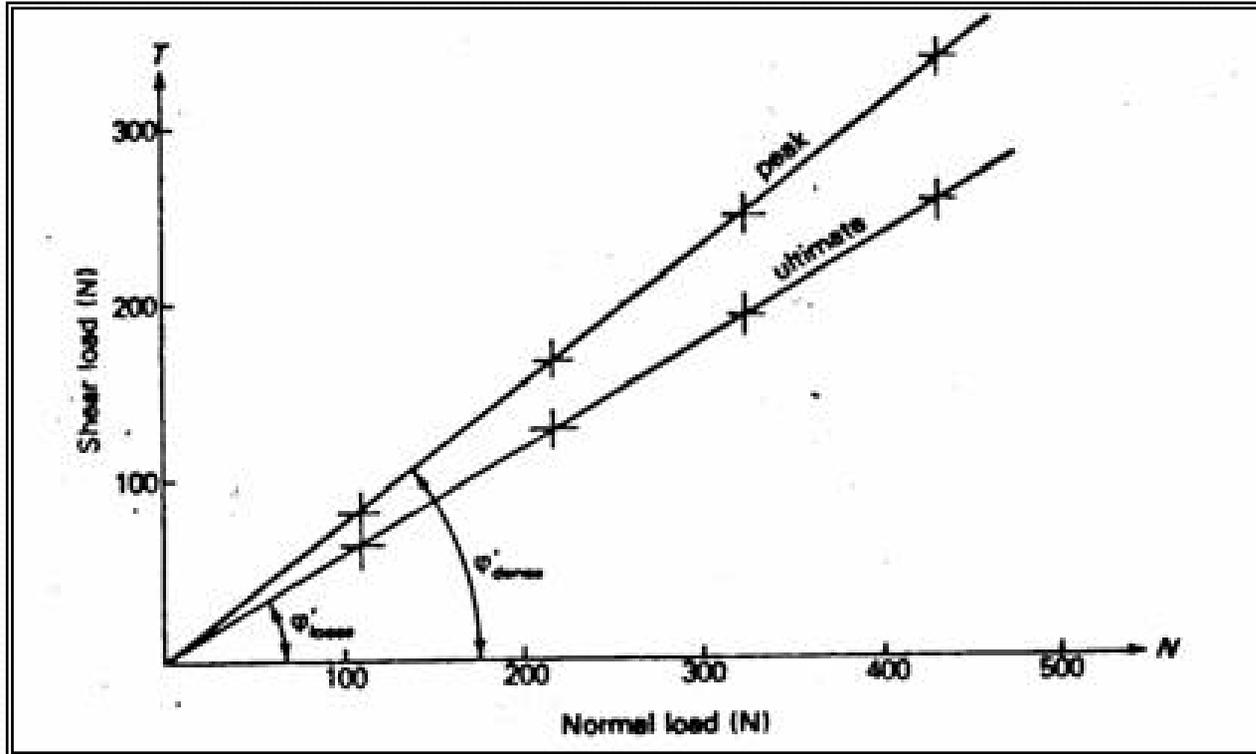
- Determine the angle of shearing resistance for the soil :
- (a) in a loose state, and
- (b) is a dense compacted state.

- Figure 8-16 shows the plot of these figures. Two envelopes are drawn:
- (a) Using the peak shear load values to represent the compacted or dense state .
- (b) Using the ultimate shear load values to represent the loose state.

From the graph : $\varphi'_{\text{dense}} = 38^\circ \dots\dots\dots \varphi'_{\text{dense}} = 31^\circ$

- Since both envelopes pass through the origin, the apparent cohesion of the soil = 0.

- **Example 4** : The readings given below were taken during two shear box tests carried out on samples of the same sand. In both cases the constant normal stress was 210 kN/m^2 .
- In Test 1, the sand was in a loose state; in Test 2, it was compacted into a dense state.
- Draw the shear stress/displacement graphs for the two tests and determine the angle of shearing resistance for the loose and dense states.



شكل (٧-١٦)

- **Test 1 - Loose state :**

- Horizontal

displacement

(10^{-2} mm) 0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550

- Vertical

displacement

(10^{-2} mm)

(+ ve=up) 0 -6 -12 -15 -17 -18 -19.0 -19.5 -20.0 -20.5 -20.5 -20.5

- Shear stress

(kNm²) 0 59 78 91 99 106 111 113 114 116 116 116

- **Test 2 - Dense state :**

- Horizontal

displacement

(10^{-2} mm) 0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550

- Vertical

displacement

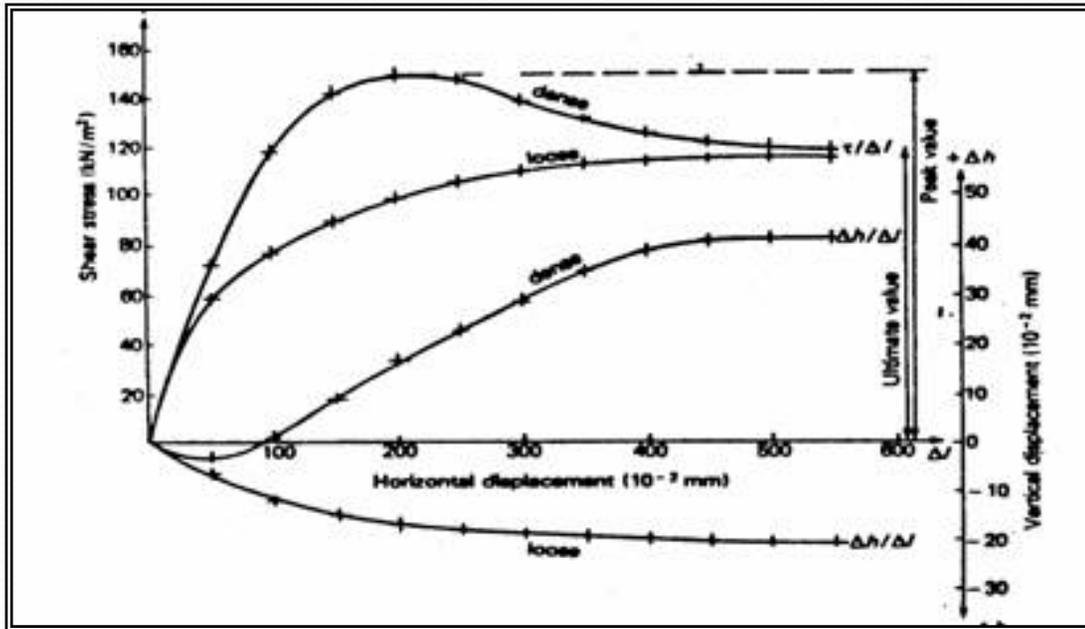
(10^{-2} mm)

(+ve = up) 0 -3 1 9 17 23 29 35 39 41 41 14

- Shear stress

(kN/m²) 0 73 118 143 150 149 139 133 126 122 120 119

- النتائج موقعة على شكل (٧-١٧) ، ويلاحظ في كلا الاختبارين أن الرمل يصل إلى حالة الحرجة Critical state على إزاحة حوالي ٥ مم بعدها يظل الحجم ثابتا.



شكل (٨-١٧)

Loose..state.. $\tau_r = \sigma'_n \tan \phi'_{\text{loose}}$

Then..... $116 = 210 \tan \phi'_{\text{loose}}$

Giving..... $\phi'_{\text{loose}} = \arctan \frac{116}{210} = 29^\circ$

Dense... $\tau_r = \sigma'_n \tan \phi'_{\text{loose}}$

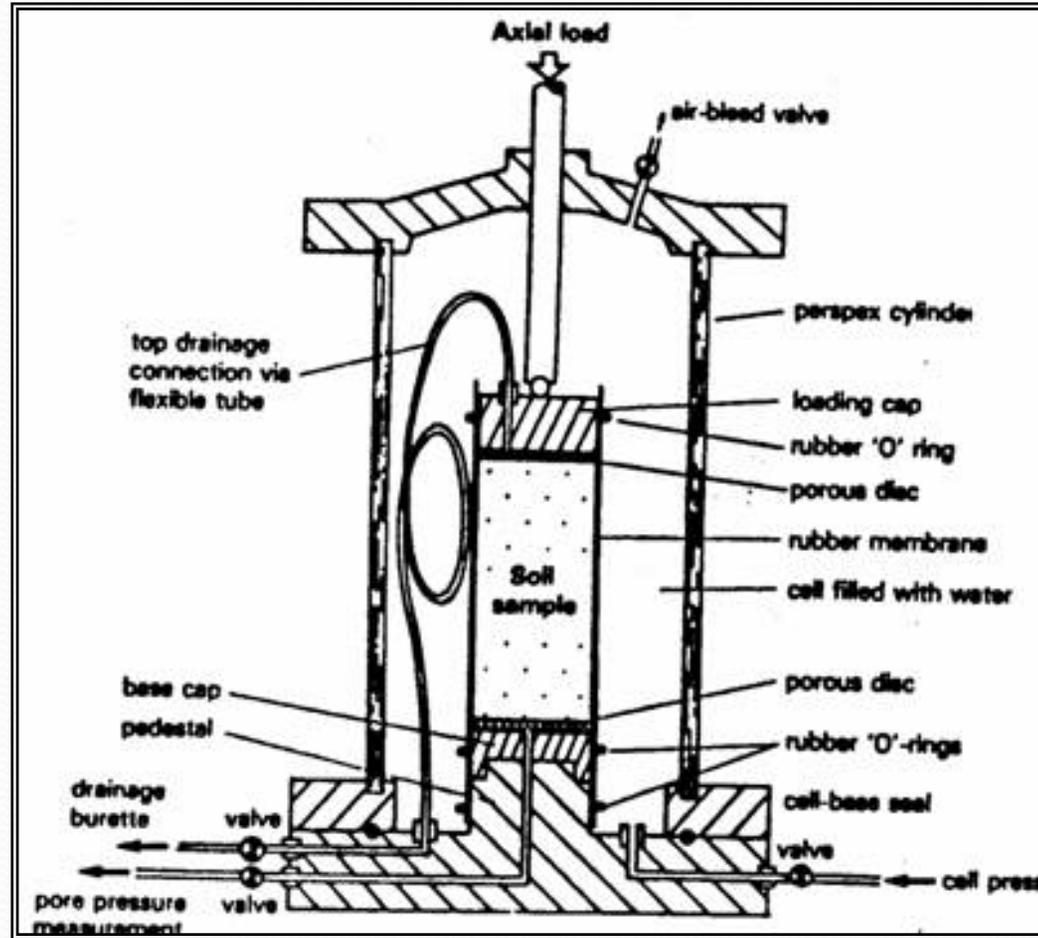
Then..... $125 = 210 \tan \phi'_{\text{dense}}$

..... $\arctan \frac{152}{210} = 36^\circ$

• (ب) اختبار الضغط الثلاثي :

The Triaxial compression test :

- اختبار الضغط الثلاثي هو أكثر اختبارات القص استخداما لأنه مناسب لكل أنواع التربة ولكل الحالات المختلفة للتجارب . وينفذ هذا اختبار على عينات اسطوانية من التربة بارتفاع ضعف القطر . على أن الأبعاد المعتادة هي 38×76 و 50×100 . والجهاز مبين في شكل (٧-١٨) .



شكل (١٨-٧) حلبة الضغط الثلاثي

● اختبارات عدم التصرف :Undrainained Tests

- توضع العينة فى غشاء مطاط بين الفكيين العلوي والسفلى مع الربط بحلقات مطاطية أسفل وأعلى العينة ، كما هو مبين بالشكل (٧-١٨) . ثم بعد وضع العينة داخل خلية الجهاز وتثبت فى مكانها تعرض العينة من جميع اتجاهاتها إلى الضغط وذلك بملأ الخلية بالمياه المضغوطة بضغط ثابت مع زيادة الحمل المحوري من أعلى إلى أن تتعرض العينة إلى أقصى واجهادات (مرحلة انهيار بالقص)

• وأثناء الاختبار تؤخذ قراءات :

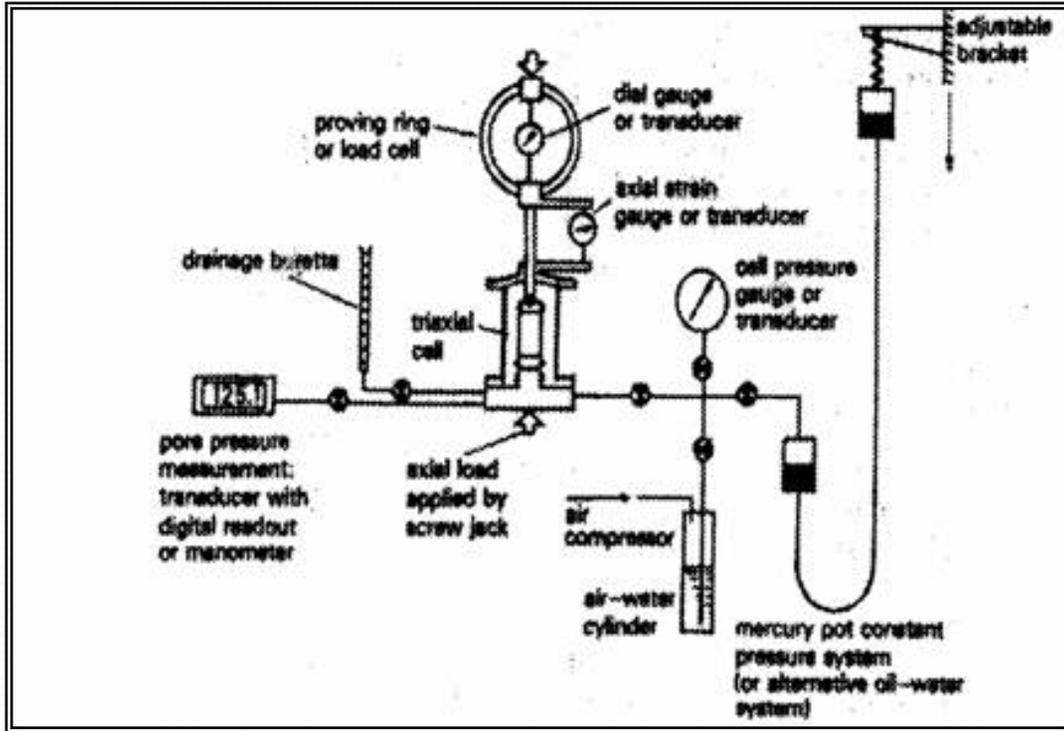
• ١- التغير في ارتفاع العينة باستخدام مقياس انفعال dial
• gauge

• ٢- الحمل المحوري باستخدام مقياس حمل Proving Ring

● قياس ضغط المياه الحرة :

Pore pressure measurement :

● قياس ضغط المياه الحرة يكونا في بعض الحالات ولذلك يلزم تركيب فكي النهاية والحجر النفاذ عند نهايتي العينة ، قاعدة الخلية تلغى لتسهيل انتقال الضغط إلى المانومتر **manometer** - شكل (٨-١٩).



شكل (٨-١٩) جهاز الضغط الثلاثي

- اختبارات التصريف **Drained Tests**:
- في اختبارات التصريف يسمح للمياه الحرة بالتصريف من داخل العينة خلال مخرج آخر لقاعدة الخلية.

- التغير الحجمي **Volume change**:
- حينما يسمح للعينة بالتصريف أثناء اختبار الضغط الثلاثي يحدث تغير حجمي في العينة وف حالة العينات المشبعة وقت إجراء التجربة يجب قياس التغير في الطول والقطر .

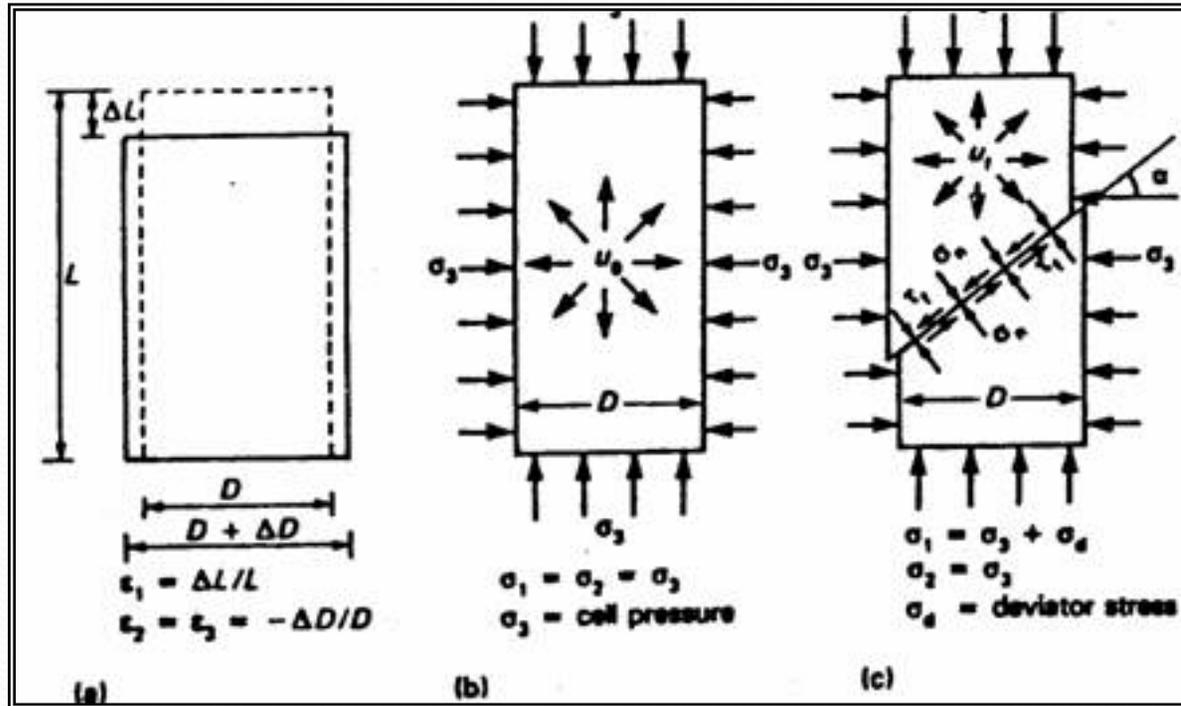
● نتائج اختبار الضغط الثلاثي :

● الاجهادات الرئيسية والمستويات الرئيسية

Principal Planes and principal stresses

● تتعرض العينات في اختبار الضغط الثلاثي إلى اجهادات ضغط على محاورها الثلاثي . وتؤثر أولاً هذه الاجهادات باستخدام ضغط مياه الخلية في جميع الاتجاهات وليكن σ_3 حيث هنا $\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_3$ تساوى ضغط المياه في الخلية .

وضغط المياه الحرة يزداد (في حالة عدم التصرف) إلى u_0 . ثم مع استمرار الاختبار تزداد قيمة الحمل المحوري بقيمة $\Delta\sigma_1$ أي أن $\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_1$ ويبقى الاجهادات العرضيان متساويان : ضغط المياه في الخلية $\sigma_2 = \sigma_3$ وعند يحدث الانهيار بالقص يكون الإجهاد الرأسي قد زاد بقيمة تساوى والتي تسمى deviator stress وضغط المياه يصبح شكل (٨-٢٠).



Strains and stresses in the triaxial test

- a) Principle strain,
- b) Cell pressure only, C) Principal Stresses at shear failure

شكل (٨-٢٠) الاجتهادات والانفعالات في تجربة الضغط الثلاثي

- ومعروف أن المستويات الرئيسية **principal planes** هي المستويات التي يكون عنده إجهاد القص مساويا للصفر الاجهادات الرئيسية **principal stress** هي الاجهادات العمودية على هذه المستويات الرئيسية وفي اختبار الضغط الثلاثي تكون مستويات القاع والقمة والجوانب للعينة مستويات رئيسية الاجهادات العمودية والعرضية هي اجهادات رئيسية:

● الإجهاد الرأسي σ_1 (أقصى إجهاد رئيسي)

- Vertical axial stress, $\sigma_1 =$ major total principal stress

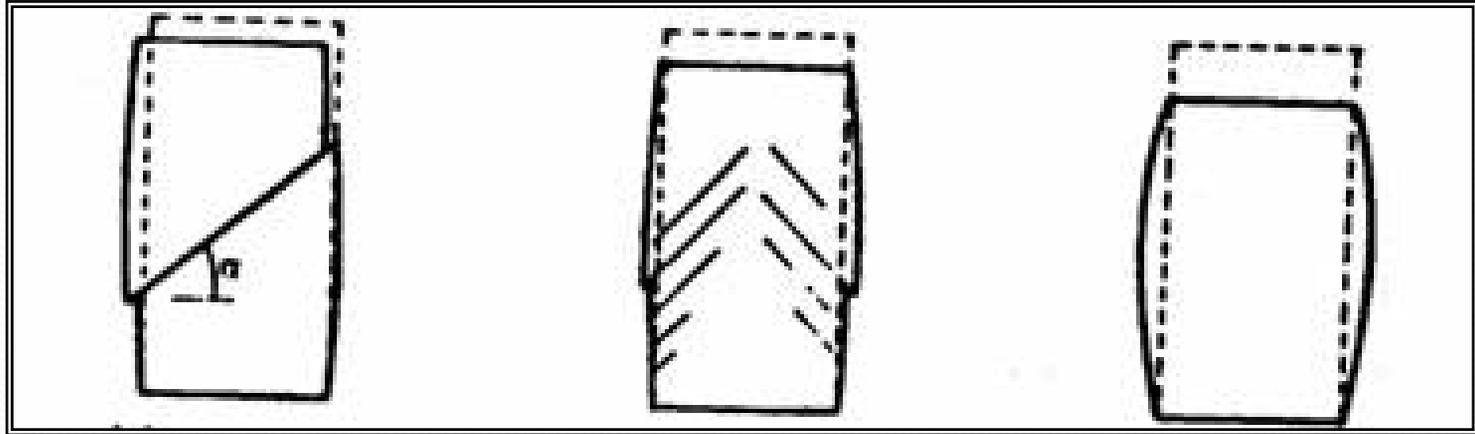
● الإجهاد العرضي σ_3 (أدنى إجهاد رئيسي)

- Lateral stress, $\sigma_3 =$ minor total principal stresses

● ويلاحظ عند الانهيار أن : $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$

• أشكال الانهيار : Types of Failure

- العينات أثناء الاختبار يقصر طولها ويزيد قطرها مما ينتج انشقاق في العينة وف بعض الحالات تنهار العينة على مستوى مثالي للقصر . وأحيانا يظهر في العينة مستويات قص متعددة . وفي أنواع التربة المشبعة منخفضة المقاومة للقصر لا تظهر مستويات القصر فيها ولكن تتبع العينة وهنا لا تؤخذ أقصى قيمة للإجهاد الرأسي ولكن تؤخذ القيمة المقابلة لـ ٢٠ % انفعال شكل (٨-٢١)



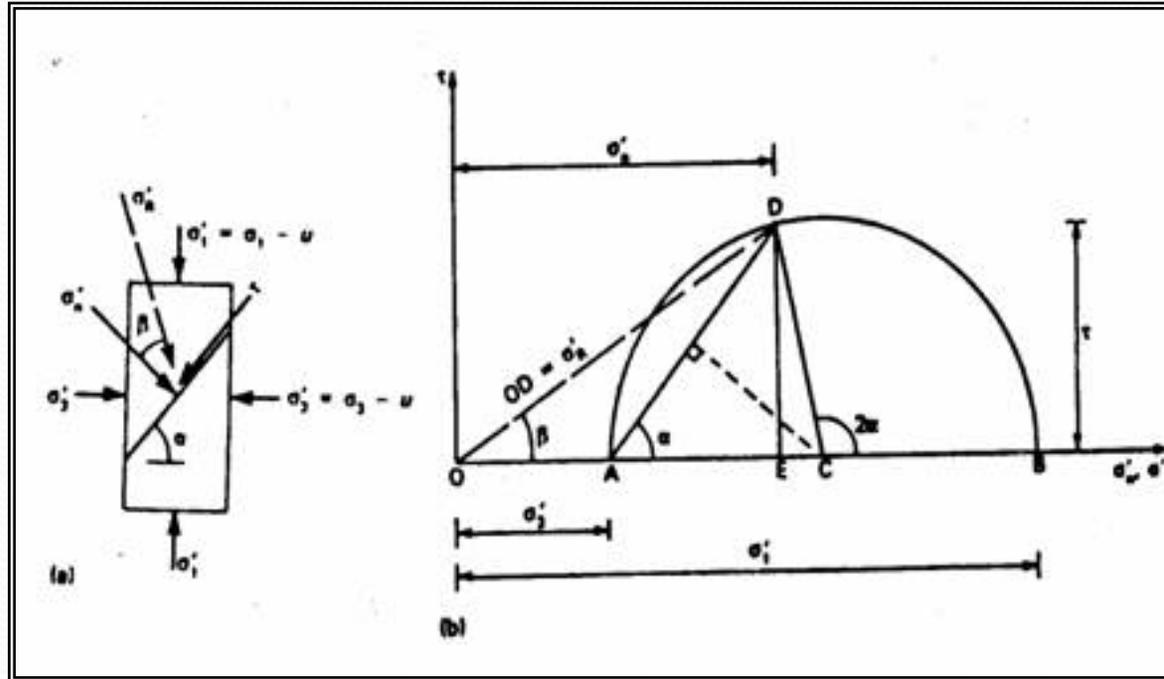
Types of failure in the Triaxial test .

(a) Clean shear failure, (b) Partial shear failure, (c) Barreled or plastic failure.

شكل (٢١-٧) أنواع الانهيار في اختبار الضغط الثلاثي

● دائرة مود للإجهاد Mohr's circle of stress :

- في اختبار صندوق القص وقعت النتائج مباشرة على منحنى كولوم . أما في اختبار الضغط الثلاثي فإن الاجهادات المسجلة هي الاجهادات الرئيسية على مستوى الانهيار . ولذلك يجب تحويل هذه الاجهادات إلى منحنى كولوم . وهذا يتم برسم دائر مور الاجهادات الرئيسية كما في الشكل (٨-٢٢) (يمكن الرجوع إلى نظرية الإنشاءات)



شكل (٨-٢٢) دائرة مور الاجهادات

• ومن خصائص دائرة مور الرياضية نجد أن :

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\alpha$$

$$\sigma_n' = \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3') + \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3') \cos 2\alpha$$

• نظرية مور - كولوم للانهيار :

- **Mohr – Coulomb Failure theory :**

• العينة تنهار على طول مستوى يميل بزاوية ولذلك فنقطة D على محيط دائرة مور تمثل نقطة الانهيار .

- ونقطة Δ يجب تقع على خط كولوم عند الانهيار الذي معادلة :

$$\sigma_f = C' + \sigma'_n \tan \varphi'$$

- وبالرجوع إلى شكل (٢٢-٨) نجد أن

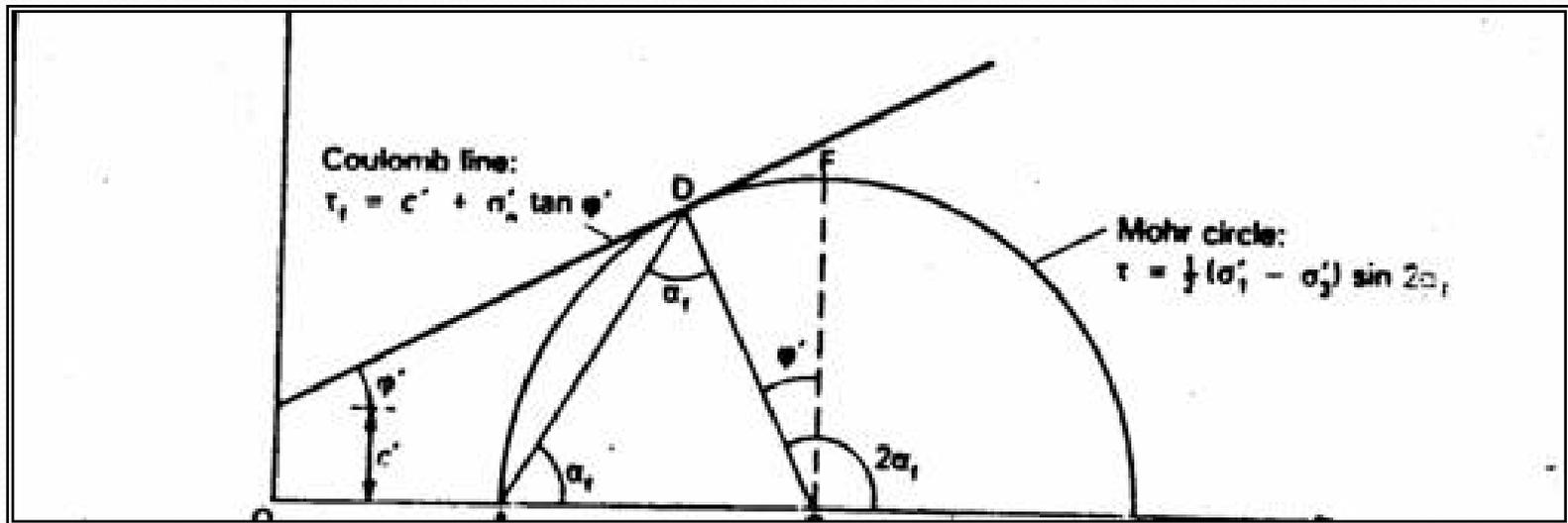
$$DCB = 2\alpha = 90 + \varphi'$$

- حيث α_1 ميل مستوى الانهيار .
- $$\alpha_f = 45 + \frac{\varphi'}{2}$$

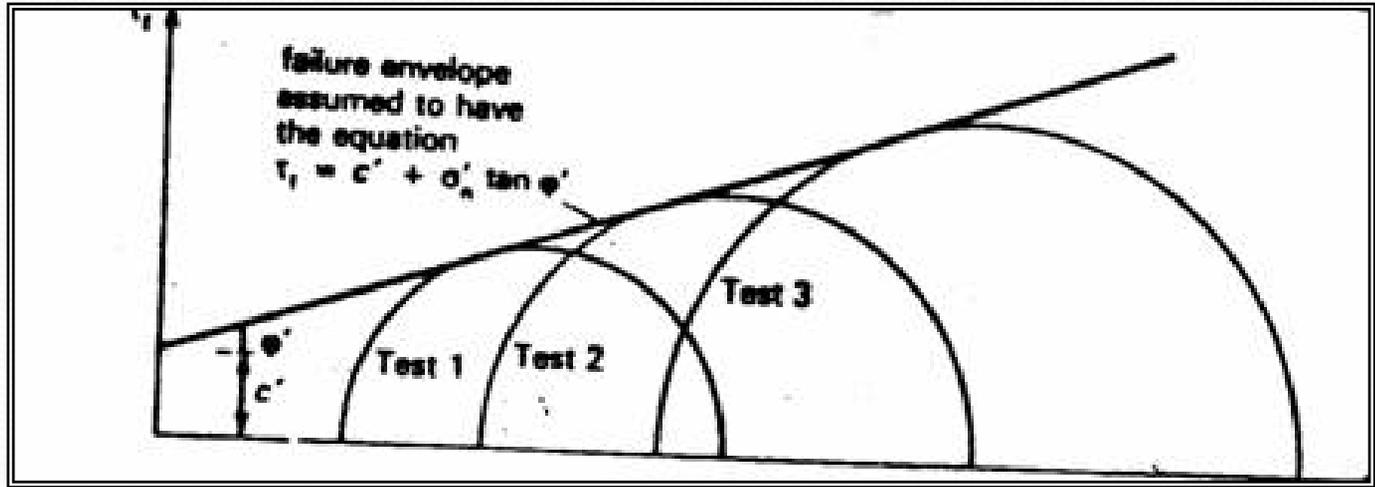
- خط الانهيارات في اختبار الضغط الثلاثي :

Failure envelopes for Triaxial test results :

- لتعين في اختبار خط كولوم والتحقيق ذلك تختبر عدة عينات من نفس نوع التربة ويعين لكل منها ويرسم لكل منهم دائرة مور على نفس المحور Failure envelope . وهو يمثل لحد ما خط كولوم الذي يستخدم لتعين كما في الشكل (٧-١٣) وأقل عدد للعينات المختبرة يكون ثلاثة ليعطى ثلاث دوائر لمور تكون كافية لإعطاء نتائج مقبولة . شكل (٨-٢٤)



شكل (٧-٢٣) نظرية انهيار مور - كولوم



شكل (٧-٢٤) تعيين خط كولوم - مور

- **Example 5:** A Drained Triaxial compression test was carried out in three samples of the same soil. The results were as Follows:

Test No	1	2	3
Cell pressure (kN/m ²)	100	200	300
Deviator Stress at failure (kN/m ²)	210	438	644

- * Determine the shear strength parameters of the soil assuming the pore pressure at failure to be zero.

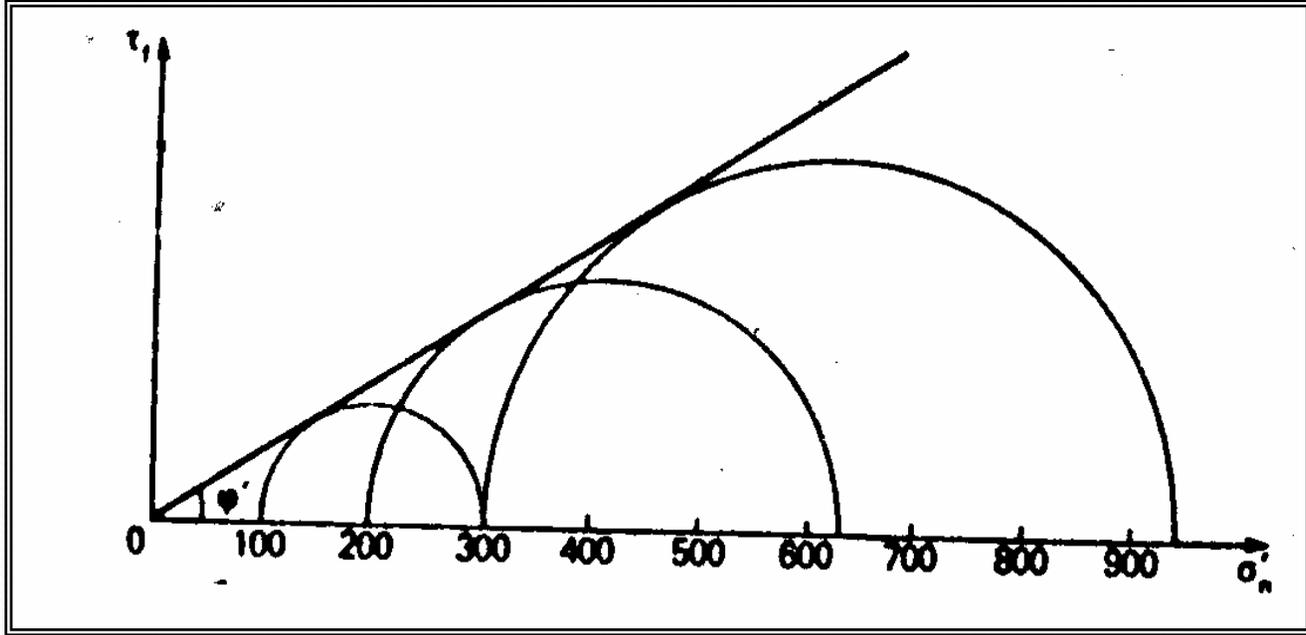
- The principal stress ,

$$\sigma_3 = \text{cell pressure}$$

- Major principal stress,

$$\sigma_1 = \text{cell pressure} + \text{deviator stress}$$

Since $u_f = 0$, $\sigma'_1 = \sigma_1$, and $\sigma'_3 = \sigma_3$



شكل (٨-٢٥)

Test No	1	2	3
σ'_3 (kN/m ²)	100	200	300
σ'_1 (kN/m ²)	210	438	644

- The Mohr circle are shown plotted in Fig. 8-25, when the best common tangent is drawn the Coulomb line is obtained

From the graph $c' = 0$

$$\varphi' = 31^\circ$$