

6-1 Mechanical Properties & Deformations in Rocks

الخواص الميكانيكية والتشوهات في الصخور:

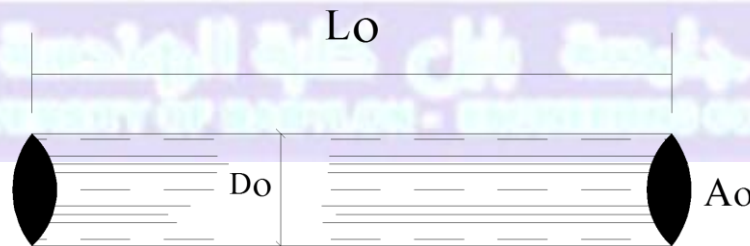
Strength of intact rock depends on component mineral strengths and the way they were bound together.

تعتمد قوة الصخور على مقاومة المعادن المكونة لها وطريقة ارتباطها مع بعضها البعض. ان الصخور الطبيعية عبارة عن كتل غير متجانسة (heterogeneous) ومتصدعة وذات خواص متباينة في جميع الاتجاهات (anisotropic material) وغير مستمرة (discontinuous).

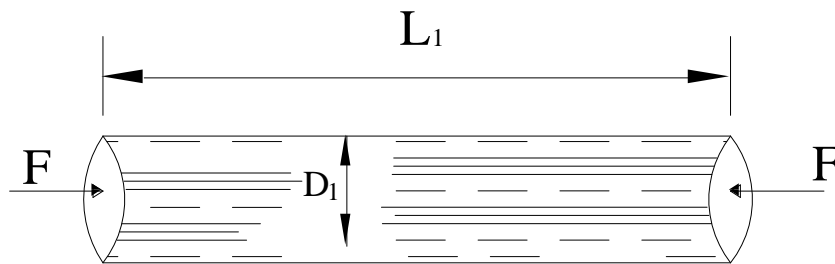
6-2 Mechanical Properties of Rocks

6-2-1 Stresses of Rocks: الاجهادات في الصخور:

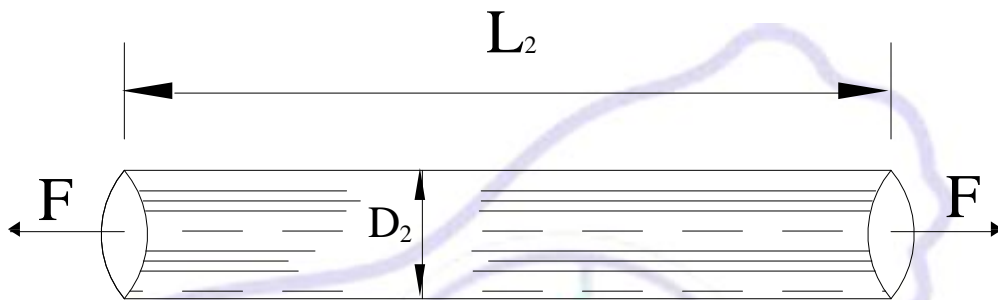
عندما تتعرض عينة اسطوانية من الصخر (cylinder rock specimen) كما مبين في الشكل Figure 6-1 (A,B and C) الى قوة ضغط (Compression) بمقدار (F) فإنها ستعاني من تشوهات (deformations) أي تصبح اقصر واكثر سمكاً (Contraction)، بينما عن تعرضها الى قوة شد (Tension) بمقدار (F) ستعاني الاسطوانة من تشوهات فتصبح اطول واقل سمكاً (Elongation).



[A] Rock Specimen



[B] Under Compression



[C] Under Tension

Figure (6-1): Deformations in Rock Specimen

Stress is defined as force per unit area, the stress applied to rock specimen is denoted by (σ), measured by ($\text{N/m}^2, \text{kN/m}^2, \text{N/mm}^2$). Stress is a much more complex quantity and it varies both with direction and with the surface it acts on. According to direction of application, the stresses can be classified into:

- a- **Compression:** Stress that acts to shorten an object.
- b- **Tension:** Stress that acts to lengthen an object.
- c- **Normal Stress :** Stress that acts perpendicular to a surface, can be either compression or tension.
- d- **Shear القص:** Stress that acts parallel to a surface. It can cause one object to slide over another. It also tends to deform originally

Engineering Geology First Year	LECTURE NO. (6)	Civil Eng. Dept. Sunday, April 17, 2016
-----------------------------------	-----------------	--

rectangular objects into parallelograms. The most general definition is that shear acts to change the angles in an object.

يعرف الاجهاد: بانه مقدار القوة المسلطة على وحدة المساحة ويرمز له بالرمز (σ) ويقاس بوحدات (القوة/المساحة²) وتبعا الى اتجاه تأثير القوة المسلطة على مساحة المقطع العرضي للعينة او الجسم يمكن تصنيف الاجهادات الى انواع رئيسية (اجهاد الضغط واجهاد الشد والاجهاد العمودي واجهاد القص) ، ويعبر عن كل نوع كما يلي:

1- For Compression Stress اجهاد الضغط:

$$\sigma_c = \frac{\text{Compression Force}}{\text{Cross Section Area}}$$

$$\therefore \sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

2- For Tension Stress اجهاد الشد:

$$\sigma_t = \frac{\text{Tension Force}}{\text{Cross Section Area}}$$

$$\therefore \sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

3- For Shear Stress اجهاد القص:

$$\tau = \frac{\text{Shear Force}}{\text{Cross Section Area}}$$

$$\tau = \frac{V}{A_1}$$

In which;

V is the shear force acts parallel to cross sectional area.

A_1 is cross sectional area of specimen.

Engineering Geology First Year	LECTURE NO. (6)	Civil Eng. Dept. Sunday, April 17, 2016
-----------------------------------	-----------------	--

NOTES ملاحظات :

⊠ عند استخدام مساحة المقطع العرضي لعينة الصخر قبل تسليط القوة (التعرض للإجهاد) أي بمقدار (A_0) فإن الاجهاد الناتج يسمى الاجهاد الهندسي Engineering Stress.

$$\text{Engineering Stress} = \sigma_{\text{eng.}} = \frac{F}{A_0}$$

⊠ عند استخدام مساحة المقطع العرضي لعينة الصخر بعد تسليط القوة سواء كانت ضغط او شد او قص (التعرض للإجهادات) أي بمقدار (A) فإن الاجهاد الناتج يسمى الاجهاد الحقيقي True Stress.

$$\text{True Stress} = \sigma_{\text{True}} = \frac{F}{A}$$

6-2-2 Deformation of Rocks التشوه في الصخور:

Stress causes strain الانفعال and strain results in structures. In geology we only see the results of stress as it deforms materials. **Strain** is defined as the amount of deformation an object experiences compared to its original size and shape.

يستخدم مصطلح الانفعال لوصف تشوه الصخور نتيجة للإجهاد. ويمكن تعريف الانفعال strain بأنه تغيير في حجم أو شكل جسم صلب أو في كليهما معا نتيجة للإجهاد وتسبب بعض انواع الاجهادات تغييراً في حجم الجسم الصلب ، بينما يبقى الشكل ثابتاً. أما الإجهادات التفاضلية فإنها تؤدي إلى تغيير شكل الجسم الصلب، وقد تسبب أو لا تسبب تغييراً في الحجم.

Engineering Geology First Year	LECTURE NO. (6)	Civil Eng. Dept. Sunday, April 17, 2016
-----------------------------------	-----------------	--

✚ Longitudinal, Axial or Linear Strain الانفعال المحوري او الطولي

Strain that changes the length of a line without changing its direction, can be either compressional or tensional.

يمكن حساب التشوه عن طريق قياس الانفعال المحوري (Axial Strain) او الانفعال الطولي (Longitudinal or Linear Strain) والذي يرمز له بالرمز (ϵ_L) وعبر عنه بالصيغة التالية:

$$\epsilon_L = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\therefore \epsilon_L = \frac{\Delta L}{L_0}$$

In which, ϵ_L is dimensionless quantity.

It should be noted that the value corresponding to "True Stress" is known as "True Strain".

$$\therefore \epsilon_{True} = \ln \frac{\Delta L}{L_0}$$

✚ The Behavior of Rock Materials سلوك المواد الصخرية

1- Elastic المرنة

Material deforms under stress but returns to its original size and shape when the stress is released. There is no permanent deformation, in rocks it is usually small enough to be considered.

تشوه المواد تحت الاجهاد المسلط والذي يعود إلى حجمه وشكله الأصلي عندما يتم تحرير الإجهاد. في الصخور تكون التشوهات عادة صغيرة بما يكفي لاعتبار متناهية في الصغر.

Engineering Geology First Year	LECTURE NO. (6)	Civil Eng. Dept. Sunday, April 17, 2016
-----------------------------------	-----------------	--

2- Brittle الهشة او المتقصفة

Material deforms by fracturing. Rocks are typically brittle at low temperatures and pressures.

تشوه المواد عن طريق التكسر والصخور عادة ما تكون هشة في درجات حرارة منخفضة وتحت تأثير الضغوط العالية.

3- Ductile المطيلية

Material deforms without breaking. Rocks are typically ductile at high temperatures or pressures.

تشوه المواد من دون كسر والصخور عادة ما تكون مطيلية السلوك في درجات الحرارة والضغط العاليتين.

4- Plastic اللدونة

Material does not flow until threshold stress has been exceeded.

المواد التي لا تتدفق حتى يتم تجاوز عتبة الإجهاد.

From **Hook's Law**; the strain (ϵ) directly proportional to the stress (σ), so that:

$$\therefore \sigma = E\epsilon$$

In which;

E: is Young's Modulus or (Elasticity Modulus), measured by *Pascal* ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$).

حسب قانون "هوك" فإن الانفعال يتناسب طردياً مع الاجهاد وثابت التناسب يعرف بمعامل يونج او معامل المرونة ويقاس بوحدة الباسكال وفق النظام العالمي SI.

→ For compression load, when ($L < L_0$) the axial strain (ϵ_L) is (-ve).

→ For tension load, when ($L > L_0$) the axial strain (ϵ_L) is (+ve).

$$\therefore \sigma = \frac{F}{A_0}$$

For the "**Transverse Strain**", which denoted by (ϵ_T) the rock specimen will be more thickness [$D_1 > D_0$] in **Compression**, and less thickness [$D_2 < D_0$] in **Tension**.

$$\therefore \epsilon_T = \frac{D - D_0}{D_0}$$

The relation between transverse to axial strains is called "**Poisson's Ratio**" and denoted by (μ).

$$\therefore \mu = -\frac{\epsilon_T}{\epsilon_L}$$

Poisson's Ratio (μ) always (+ve) value?

☞ For Tension Stress :

$$\epsilon_L > 0 \Rightarrow L_2 > L_0 \text{ ----- but } \epsilon_T < 0 \Rightarrow D_2 < D_0$$

∴ The rock specimen is longer and less in diameter.

Therefore, ($-\mu$) maintained (+ve).

☞ For Compression Stress :

$$\epsilon_L < 0 \Rightarrow L_1 < L_0 \text{ ----- but } \epsilon_T > 0 \Rightarrow D_1 > D_0$$

∴ The rock specimen is shorter and larger in diameter.

Therefore, ($-\mu$) maintained (+ve).

Thus; **Poisson's Ratio** (μ) is positive value of ($0.0 < \mu < 0.5$), and for most types of rocks ranging in between ($0.2-0.3$).

Engineering Geology First Year	LECTURE NO. (6)	Civil Eng. Dept. Sunday, April 17, 2016
-----------------------------------	-----------------	--

✚ Volumetric Strain الانفعال الحجمي

Let the volume of cylindrical rock specimen before loading (V_o):

$$\therefore V_o = \frac{\pi}{4} D_o^2 L_o$$

And after applying loads (V):

$$\therefore V = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

Since;

$$L = L_o(1 + \varepsilon_L)$$

$$D = D_o(1 + \varepsilon_T)$$

Then, the volumetric strain (ε_V):

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{V_o - V}{V_o}$$

By substitution, and re-arrangement,

$$\varepsilon_V = \varepsilon_L + 2\varepsilon_T$$

$$\mu = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_T}$$

$$\varepsilon_V = (1 - 2\mu)\varepsilon_L$$

Based on the assumption that "rocks *are incompressible objects*" so

that ($\frac{\Delta V}{V} = 0$) i.e. the volume doesn't change ($V=V_o$), and by

substitute [$V_o-V=0$] yields:

$$0 = (1 - 2\mu)\varepsilon_L$$

$$\boxed{\mu = \frac{1}{2}}$$

Since, there is no incompressible rocks;

$$\mu < \frac{1}{2}$$

Engineering Geology First Year	LECTURE NO. (6)	Civil Eng. Dept. Sunday, April 17, 2016
-----------------------------------	-----------------	--

✚ Elastic Modules معامل المرونة

Each elastic modules describe deformation in rocks under a specific pattern of loading cycle. There are four types of elastic modules.

a) Young's Modules (E):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\varepsilon}$$

Measured by (Pascal=N/m²).

b)Poisson's Ratio (μ):

$$\mu = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\Delta D/D}{\Delta L/L}$$

Dimensionless quantity.

c) Shear Modules or Modules of Rigidity (G) معامل القص او الصلادة:

$$G = \frac{\text{Sher Stress}}{\text{Shear Strain}} = \frac{F/A}{\tan\phi}$$

In which;

ϕ is the value of the angle of shearing resistance required for a stability analysis.

d) Bulk Modules or incompressibility (K) المعامل الحجمي او اللانضغاطية:

$$K = \frac{\text{Volume Stress}}{\text{Volume Strain}} = \frac{P}{\Delta V/V}$$

In which;

P is the pressure (kN/m²).

$$\sigma = k \frac{\Delta V}{V}$$

$$\Delta V = V - V_0$$

$$K = \frac{1}{k}$$