الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كلية العلوم

j

الفصل الثاني

2019-2020

قسم جيولوجيا - السنة الثالثة

علم الزلازل

نظري

المحاضرة الثانية

د. حمزة الدنيا

3/4/2013

المحاضرة الثانية

- المرونة التي تبديها الصخور أمام انتشار الموجة الزلزالية -

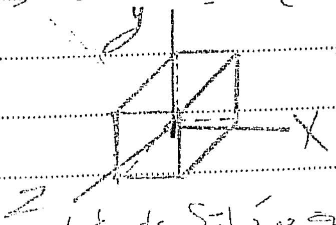
- ينتشر بعد حدوث الزلزال عن بؤرته هزات أرضية على شكل أمواج تسير ضمن صخور الأرض فتبدي لها هذه الصخور مرونة في سيرها أو عرقلة لانتشارها يؤثر على هذا السير للأمواج الزلزالية خصائص مرونة الصخر وبالتالي تخضع هذه الخصائص الحسابية لقانون هوك ملخص هذا القانون أن هناك علاقة طردية بين مرونة الصخر والقوة المؤثرة عليه وبالتالي هناك ربط بين الضغط والتشوه بثوابت المرونة على الشكل التالي:

$$\boxed{\frac{\text{الضغط}}{\text{التشوه}} \quad \frac{P}{\varepsilon} = F \ \text{القوة}}$$

ε: التشوه المرن P: القوة الضاغطة

$$\boxed{\underset{\text{ضغط المرونة}}{P_{ik}} = \underset{\text{ثابت}}{C_{ik}} \cdot \underset{\text{التشوه}}{\varepsilon_{ik}}}$$

الضغط: هو القوة الناتجة عن الزلزال التي تؤثر على وحدة السطوح والتي تعمل على تشوه هذا الصخر



إذا أخذنا نقطة مادية ضمن مكعب حجمي صغير فإن هذا الضغط مركبات على الصخر في المستويات الثلاث للفراغ لهذه الثلاث محاور عليه إسقاطه عليه وبالتالي تكون مصفوفة مركبات على المحاور تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{ik} = \begin{vmatrix} P_{xx} & P_{xy} & P_{xz} \\ P_{yx} & P_{yy} & P_{yz} \\ P_{zx} & P_{zy} & P_{zz} \end{vmatrix}$$

حيث i: اتجاه الضغط

K: مستوى التأثير

وهذه المصفوفة 9 مركبات في الطبقات الجيولوجية الساكنة تكون الضغوطات متساوية على المحاور المباشرة والعكسية أي أن:

$$P_{xy} = P_{yx}$$
$$P_{yz} = P_{zy}$$
$$P_{zx} = P_{xz}$$

وبالتالي يبقى 6 مركبات للضغط تؤثر على وحدة الحجم نتيجة لهذا الضغط يحدث تشوه في العنصر المرن يعطى بالمصفوفة التالية :

$$\varepsilon_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{vmatrix}$$

مركبات مصفوفة التشوه الناتجة عن الضغط السالب كذلك في هذه المصفوفة نجد بأن :

$$\varepsilon_{xx} = \frac{du_x}{dx}$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{du_y}{dy}$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{du_z}{dz}$$

هذه المركبات الثلاثة هي المسؤولة عن التشوه الحجمي "التغير في الأبعاد"

و $\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$ "التشوه الحجمي الكلي"

أما بقية المركبات كالتالي :

$$\varepsilon_{xy} = \frac{du_x}{dy} + \frac{du_y}{dx}$$

$$\varepsilon_{yz} = \frac{du_y}{dz} + \frac{du_z}{dy}$$

$$\varepsilon_{zx} = \frac{du_z}{dx} + \frac{du_x}{dz}$$

هذه المركبات المسؤولة عن التشوه الشكلي "التغير في الزاوية" أما قانون هوك فهو يربط بين التشوه والضغط بدلالة ثوابت المرونة ويكتب على الشكل التالي :

$$P_{xx} = C_{11}\cdot\varepsilon_{xx} + C_{12}\cdot\varepsilon_{yy} + C_{13}\cdot\varepsilon_{zz} + C_{14}\cdot\varepsilon_{yz} + C_{15}\cdot\varepsilon_{zx} + C_{16}\cdot\varepsilon_{xy}$$

$$P_{yy} = C_{21}\cdot\varepsilon_{xx} + C_{22}\cdot\varepsilon_{yy} + C_{23}\cdot\varepsilon_{zz} + C_{24}\cdot\varepsilon_{yz} + C_{25}\cdot\varepsilon_{zx} + C_{26}\cdot\varepsilon_{xy}$$

$$P_{zz} = C_{31}\cdot\varepsilon_{xx} + C_{32}\cdot\varepsilon_{yy} + C_{33}\cdot\varepsilon_{zz} + C_{34}\cdot\varepsilon_{yz} + C_{35}\cdot\varepsilon_{zx} + C_{36}\cdot\varepsilon_{xy}$$

$$P_{yz} = C_{41}\cdot\varepsilon_{xx} + C_{42}\cdot\varepsilon_{yy} + C_{43}\cdot\varepsilon_{zz} + C_{44}\cdot\varepsilon_{yz} + C_{45}\cdot\varepsilon_{zx} + C_{46}\cdot\varepsilon_{xy}$$

$$P_{zx} = C_{51}\cdot\varepsilon_{xx} + C_{52}\cdot\varepsilon_{yy} + C_{53}\cdot\varepsilon_{zz} + C_{54}\cdot\varepsilon_{yz} + C_{55}\cdot\varepsilon_{zx} + C_{56}\cdot\varepsilon_{xy}$$

$$P_{xy} = C_{61}\cdot\varepsilon_{xx} + C_{62}\cdot\varepsilon_{yy} + C_{63}\cdot\varepsilon_{zz} + C_{64}\cdot\varepsilon_{yz} + C_{65}\cdot\varepsilon_{zx} + C_{66}\cdot\varepsilon_{xy}$$

حيث C_{ij} هي ثوابت المرونة عددها 36 ثابت تحدد لنا أي جسم

حالة خاصة :

في حالة الوسط متناحي ومتجانس يكفي معرفة زوج واحد ويحدد هذا الزوج بما يسمى بثوابت لامي (للعالم لامي) وهي λ ، μ وبالتالي تصبح الثوابت في قانون هوك على الشكل التالي :

$$C_{12} = C_{21} = C_{31} = C_{13} = C_{23} = C_{32} = \lambda$$

$$C_{44} = C_{55} = C_{66} = \mu$$ [illegible]

$$C_{11} = C_{22} = C_{33} = \lambda + 2\mu$$ [illegible]

أما بقية الثوابت فهي معدومة في الوسط المتجانس والمتناحي

21 ثابت = الصفر

يصبح قانون هوك على الشكل التالي :

$$P_{xx} = (\lambda + 2\mu)\,\varepsilon_{xx} + \lambda\,\varepsilon_{yy} + \lambda\,\varepsilon_{zz} + 0 + 0 + 0 \ldots$$

$$P_{xx} = \lambda\,(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}) + 2\mu\,\varepsilon_{xx} = \lambda\,\varepsilon + 2\mu\,\varepsilon_{xx}$$

وكذلك بنفس الطريقة :

$$P_{yy} = \lambda\,\varepsilon + 2\mu\,\varepsilon_{yy}$$

$$P_{zz} = \lambda\,\varepsilon + 2\mu\,\varepsilon_{zz}$$

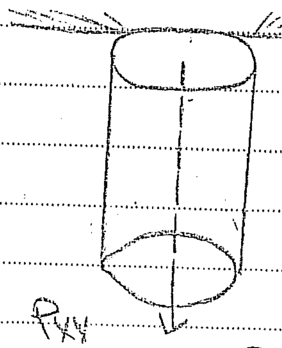
$$P_{yz} = \mu\cdot\varepsilon_{yz}$$

$$P_{zx} = \mu \cdot \varepsilon_{zx}$$

$$P_{xy} = \mu \cdot \varepsilon_{xy}$$

وكحالة خاصة ناخذ اذا كان الضغط وبالتالي القوة المؤثرة على وحدة السطوح باتجاه عمودي على وحدة السطوح ، عندئذٍ الضغوطات الأخرى تصبح معدومة

مثال :



$$\begin{cases} P_{xx} = \lambda \varepsilon_{xx} + \lambda \varepsilon_{yy} + \lambda \varepsilon_{zz} + 2\mu \varepsilon_{xx} & \boxed{1} \\ 0 = \lambda \varepsilon_{xx} + \lambda \varepsilon_{yy} + \lambda \varepsilon_{zz} + 2\mu \varepsilon_{yy} & \boxed{2} \\ 0 = \lambda \varepsilon_{xx} + \lambda \varepsilon_{yy} + \lambda \varepsilon_{zz} + 2\mu \varepsilon_{zz} & \boxed{3} \end{cases}$$

بطرح 1 من 2

$$P_{xx} = 2\mu (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})$$

وبطرح 3 من 1

$$P_{xx} = 2\mu (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{zz})$$

ينتج بالمقارنة بأن

$$\boxed{\varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz}}$$

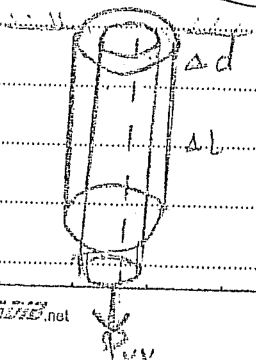
نعوض عن القيم بالعلاقة 1 فينتج :

$$P_{xx} = \lambda \varepsilon_{xx} + 2\lambda \varepsilon_{yy} + 2\mu \varepsilon_{xx}$$

$$= (\lambda + 2\mu) \varepsilon_{xx} + 2\lambda \varepsilon_{yy}$$

بالتعويض في 2 ينتج :

$$\varepsilon_{yy} = \frac{-\lambda \varepsilon_{xx}}{2(\lambda + \mu)} = \varepsilon_{zz}$$



معامل بواسون :
تعريفاً : هو تناقص وحدة العرض على تطاول وحدة الطول وبالتالي :

$$\boxed{\frac{\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}} = \frac{-\lambda}{2(\lambda+\mu)}} = \sigma$$

ثابت بواسون

بشكل مشابه أعطينا

$$\sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}$$

عكس إيجاد عامل يونغ أي بتعويض عامل بواسون في العلاقة 1 نحصل على :

$$\boxed{P_{xx} = \varepsilon_{xx}\frac{(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}}$$

وبالتالي من هنا نجد عامل يونغ وهو أحد عوامل المرونة
هو القوة التي إذا أثرت على وحدة الأطوال من جسم فأدت الى تطاول هذه الوحدة
بمقدار الضعف
وبالتالي من العلاقة السابقة :

$$\boxed{\frac{P_{xx}}{\varepsilon_{xx}} = \frac{3\lambda+2\mu}{\lambda+2\mu}} = E$$

عامل يونغ

وهي نوع من أنواع عامل المرونة من الأنواع الأخرى لعوامل المرونة نكتب عامل الانضغاط
الحجمي فيعطى عامل الانضغاط الحجمي ويرمز له K

$$K = \frac{\text{الضغط}}{\text{التغير الحجمي}} = \frac{P_{xx}+P_{yy}+P_{zz}}{\varepsilon}$$

والتعويض P_{xx} و P_{yy} و P_{zz} بما يساويها أي

$$K = \frac{\lambda\varepsilon + 2\mu\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon + 2\mu\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon + 2\mu\varepsilon_{zz}}{\varepsilon}$$

$$K = \frac{3\lambda\varepsilon + 2\mu\varepsilon}{\varepsilon} = 3\lambda + 2\mu = \lambda + \frac{2}{3}\mu$$

$$\boxed{K = \lambda + \frac{2}{3}\mu}$$

وكذلك من الأمواج المرونية نذكر الموج الرئيسي المستخدم في الزلازل هو
Vp السرعة الطولية ، Vs السرعة العرضية حيث تعطى كل منهما بالعلاقة التالية

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

حيث Vp السرعة الطولية ، Vs السرعة العرضية
μ ، λ ثوابت لامي
وبما أن أمواج المرونة المرتبطة معاً عندئذٍ يمكن كتابة السرعة بدلالة معامل يونغ وثابت بواسون أي

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

الكثافة

$$V_s = \sqrt{\frac{E(1)}{2\rho(1+\sigma)}}$$

$$\boxed{K = \lambda + \frac{2}{3}\mu = \rho\,[V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2]}$$

ρ : الكثافة لوسط انتشار الهزة أما الطاقة المحصورة لوحدة الحجوم فتعطى بالعلاقة :

$$\boxed{Q = \frac{1}{2}\rho\, V_p^2}$$

تخضع الموجة الزلزالية عند السير ضمن الصخور إلى امتصاص في طاقتها في ...
وبالتالي شدة هذه الموجة تخضع للقانون التالي حيث

$$\boxed{A = A_0 \cdot e^{-\gamma x}}$$

حيث : γ : ثابت يتبع الصخر
x : بعد النقطة x عن البؤرة المركزية
A : شدة الهزة في النقطة x
A_0 : شدة الهزة أو الزلزال في البؤرة

/ /

ويعبر أيضاً عن تناقص النسبة بين السعتين المتتاليتين من الهزة بتناقص يسمى بالديسيبل

$$D = 20 \log_{10} \frac{A_2}{A_1}$$

حيث A_2 ، A_1 : السعتين المتتاليتين للمجسات الزلزالية

.. المرونة الصخرية ..

* تطبيق نظرية المرونة على الأوساط الجيولوجية:
- تطبق نظرية المرونة على (صخر كلسي، رملي، غضار، ...)
- K عامل الانضغاط الحجمي
- Q عامل القص
- نظرية المرونة (نظرية هوك).
- هناك علاقة طردية بين الضغط والتشوه
.. تنتشر من بؤرة الزلزال في كافة الاتجاهات نحو السطح كذلك هزات (أمواج) حيث تتأثر هذه الأمواج خلال انتشارها من هذه الصخور والطبقات بحسب لون المرونة الصخرية التي تعرقل أو تسهل عملية الانتشار وبالتالي يخضع التشوه والقوة المطبقة إلى قانون هوك.
... قانون هوك ...
ينص على: هناك علاقة طردية بين الضغط والتشوه

علاقة هوك

$$\boxed{P_{ik} = C_{ik}\,\mathcal{E}_{ik}}$$

حيث:
- i اتجاه الضغط
- k مكان التأثير

رياضياً يمكن دراسة هذا القانون على الشكل التالي: (دراسة عناصر هذا القانون)

*** الضغط *** الضغط أي عندما تؤثر قوة (F) على واحدة السطوح (S) فإن الضغط (P) ..

$$P = F/S$$

* رياضياً كتحديد الضغط بالمصفوفة التالية:

$$\bullet\bullet\, P_{ik} = \begin{vmatrix} p_{xx} & p_{xy} & p_{xz} \\ p_{yx} & p_{yy} & p_{yz} \\ p_{zx} & p_{zy} & p_{zz} \end{vmatrix}$$

•• أما إذا كان الجسم الصخري متوازن أو بحالة توازن (الصخر) فإن :

$$\bullet\, P_{xy} = P_{yx} \quad , p_{yz} = p_{zy} \quad , p_{zx} = p_{xz}$$

أما الباقي فهو ست مركبات تحدد الضغط الحاصل على الصخر نتيجة انفجار الزلزال

*** التشوه *** عندما يطبق الضغط على المكان المناسب فإنه يحدث تشوه في هذا المكان ونعطي علاقة التشوه بالمصفوفة التالية :

$$\varepsilon_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{vmatrix}$$

•• أما إذا كان الجسم الصخري في حالة التوازن فإنه :

$$\bullet\, \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} \quad , \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} \quad , \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx}$$

أما الباقي من المصفوفة فهو ست مركبات تحدد التشوه الحاصل على الصخر نتيجة الضغط (الزلزال).

* حيث *

$$\bullet\, \varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}$$

وهو مرتبط بالتشوه الحجمي

$$\bullet\, \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y} \qquad \Rightarrow \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \varepsilon$$

$$\bullet\, \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

$$\bullet\ \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}$$

مرتبطة بالتشوه الشكلي

$$\bullet\ \varepsilon_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}$$

$$\bullet\ \varepsilon_{zx} = \frac{d u_z}{d x} + \frac{d u_x}{d z}$$

• وبتطبيق قانون هوك الذي ينص على أن هناك علاقة خطية بين الضغط والتشوه وكامل من هذا الضغط والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$\boxed{P_{ik} = C_{ik} \cdot \varepsilon_{ik}}$$

• $P_{xx} = C_{11}\varepsilon_{xx} + C_{12}\varepsilon_{yy} + C_{13}\varepsilon_{zz} + C_{14}\varepsilon_{xy} + C_{15}\varepsilon_{yz} + C_{16}\varepsilon_{zx}$

• $P_{yy} = C_{21}\varepsilon_{xx} + C_{22}\varepsilon_{yy} + C_{23}\varepsilon_{zz} + C_{24}\varepsilon_{xy} + C_{25}\varepsilon_{yz} + C_{26}\varepsilon_{zx}$

• $P_{zz} = C_{31}\varepsilon_{xx} + C_{32}\varepsilon_{yy} + C_{33}\varepsilon_{zz} + C_{34}\varepsilon_{xy} + C_{35}\varepsilon_{yz} + C_{36}\varepsilon_{zx}$

• $P_{xy} = C_{41}\varepsilon_{xx} + C_{42}\varepsilon_{yy} + C_{43}\varepsilon_{zz} + C_{44}\varepsilon_{xy} + C_{45}\varepsilon_{yz} + C_{46}\varepsilon_{zx}$

• $P_{yz} = C_{51}\varepsilon_{xx} + C_{52}\varepsilon_{yy} + C_{53}\varepsilon_{zz} + C_{54}\varepsilon_{xy} + C_{55}\varepsilon_{yz} + C_{56}\varepsilon_{zx}$

• $P_{zx} = C_{61}\varepsilon_{xx} + C_{62}\varepsilon_{yy} + C_{63}\varepsilon_{zz} + C_{64}\varepsilon_{xy} + C_{65}\varepsilon_{yz} + C_{66}\varepsilon_{zx}$

حيث C_{ik} هي ثوابت المرونة:

الموضوع: ....   / /

• في حالة الوسط المتجانس تصبح الثوابت على الشكل التالي

• $C_{12} = C_{21} = C_{13} = C_{31} = C_{23} = C_{32} = \lambda$ مسؤلة عن الطول

• $C_{44} = C_{55} = C_{66} = \mu$ مسؤلة عن التشوه العرضي

• $C_{11} = C_{22} = C_{33} = \lambda + 2\mu$

• باقي الثوابت أصفار وبالتعويض في قانون هوك يصبح على الشكل التالي:

• $p_{xx} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{zz} + 0$

• $p_{yy} = \lambda\varepsilon_{xx} + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{zz} + 0$

• $p_{zz} = \lambda\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{zz} + 0$

• $p_{xy} = \mu\varepsilon_{xy} + 0$

• $p_{yz} = \mu\varepsilon_{yz} + 0$

• $p_{zx} = \mu\varepsilon_{zx} + 0$

وبتطبيق الضغط وفق محور وحيد Ox هو العادة تصبح المعادلات السابقة:

• $p_{xx} = \lambda\varepsilon_{xx} + 2\mu\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{zz}$ ①

• $0 = \lambda\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + 2\mu\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{zz}$ ②

• $0 = \lambda\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{zz} + 2\mu\varepsilon_{zz}$ ③

باقي الضغط أصفار

من ② و ③ ينتج لنا:

$$\varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} \quad ④$$

نعوض ④ ب ② فينتج لنا:

• $0 = 2\lambda\varepsilon_{yy} + 2\mu\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{xx}$

• $0 = \lambda\varepsilon_{xx} + 2(\lambda + \mu)\varepsilon_{yy} - \lambda\varepsilon_{xx} = 2(\lambda + \mu)\varepsilon_{yy}$

• $\varepsilon_{yy}/\varepsilon_{xx} = -\lambda/2(\lambda + \mu) = \partial$ ثابت بواسون

الموضوع: ....

/ /

بتعويض ثابت بواسون (1) نجد:

- $P_{xx} = \lambda \varepsilon_{xx} + 2\mu_{xx} + 2\lambda\left(-\lambda \varepsilon_{xx} / 2(\lambda + \mu)\right)$

$= \lambda \varepsilon_{xx} + 2\mu \varepsilon_{xx} - \lambda^2 . \varepsilon_{xx} / (\lambda + \mu)$

- $P_{xx} = \varepsilon_{xx}\left(\lambda + 2\mu - \lambda^2 / (\lambda + \mu)\right)$

- $P_{xx} / \varepsilon_{xx} = 2\mu^2 + 2\lambda\mu / \lambda + \mu = E$ عامل يونغ

حيث: $v_p = \lambda + 2\mu / \rho \,,\, v_s = \mu / \rho$

K ثابت الانضغاط ويساوي: القوة العامودية / النقص في الحجم

- $K = P_{xx} + P_{yy} + P_{zz} / \varepsilon$

- $K = \lambda \varepsilon_{xx} + 2\mu \varepsilon_{xx} + \lambda \varepsilon_{yy} + 2\mu \varepsilon_{yy} + \lambda \varepsilon_{zz} + 2\mu \varepsilon_{zz} / \varepsilon$

- $K = \lambda(\overbrace{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}}^{\varepsilon}) + 2\mu \varepsilon_{yy} + 2\mu \varepsilon_{zz} + 2\mu \varepsilon_{xx} / \varepsilon$

$= \lambda \varepsilon + 2\mu \varepsilon / \varepsilon = 2\mu + \lambda$

- $K = \lambda + 2\mu$

حيث:

- $P_{xx} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{xx} + \lambda \varepsilon_{yy} + \lambda \varepsilon_{zz}$

- $\lambda(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}) + 2\mu \varepsilon_{xx}$

- $\lambda \varepsilon + 2\mu \varepsilon_{xx}$