断層モデルに依る歪と傾斜のパターン

東京大学理学部地球物理学教室 松浦充宏・宮下 芳・岩崎貴哉・佐藤良輔

(昭和 51 年 10 月 27 日受理)

Strain and Tilt Fields due to the Fault

Mitsuhiro MATSU'URA, Kaoru MIYASHITA,
Takaya IWASAKI and Ryosuke SATO

Geophysical Institute, Faculty of Science, University of Tokyo

(Received October 27, 1976)

This is the second paper dealing with the patterns of static deformation fields due to the faults. In the previous paper (MATSU'URA & SATO, 1975b), displacement fields due to some typical fault models were shown systematically, and the general relationships between a fault model and the corresponding deformation fields were also pointed out. In the present study, strain and tilt fields caused by some typical dimensional faults in a semi-infinite medium are given systematically, by exhibiting vector maps for principal strain and tilt, and contour maps for other strain components, which provide a helpful guide to grasp gross feature of focal mechanism from the observed zero-frequency data.

The change of patterns of deformation fields with variation of the dip-angle is remarkable for pure dip-slip fault (Figs. 7 and 8), but not for pure strike-slip fault (Figs. 3 and 4). For the fault with arbitrary slip direction, it is found that extension (or dilatation) fields are mainly controlled by the dip component of slip vector, while shearing strain fields by the strike component.

Computations and mappings are carried out by the computer program developed by SATO & MATSU'URA (1974), by which all of the components of deformation fields (displacement, strain and tilt) can be automatically calculated and illustrated for a given fault model.

§ 1. はじめに

従来、地殻の歪や傾斜を変形の場合として取り扱う場合、その対象は、三角測量（水平変位）や水準測量（垂直変位）の結果から算出された量、即ち、該当する地域の平均的歪であり、該当する二点間の、平均的傾斜であつた。これらは地殻の変形を理解する上で非常に便利な量ではあるが、それらの量からどのような情報（震源要素についての）が得られるかという点からすると、本質的には変位データと同質のものであり、従つて、両者が互いに独立な解析対象であるというわけではない。最近、地震予知という観点から、数多くの歪計や傾斜計を特定地域に集中的に設置することにより、密度の高い観測を行なおうという試みが、気象庁（1976）によつて進められている。こうした観測体制に基づくデータの集積は、第一に、個々のデータが、

Fig. 1. Geometry and notations.

δ : dip-angle, λ : slip-angle, w : fault width, $2L$: fault length, H_0 : depth of fault, D : magnitude of dislocation, H : unit length.

Fig. 2. Four slip vectors with particular relationships.

Deformation fields caused by these four slip vectors are related one another by the simple rule given in Table 1.

変位データを通してではなく、直接に歪や傾斜の変化を測定したものであるという点において、第二に、その空間分布密度が変形を場として捕えることを可能にするという点において、測地測量の結果とは果なつた種類の情報をもたらしてくれるものと期待される。言い換えるならば、歪場や傾斜場もまた、震源要素を研究する上で欠かす事の出来ない一つの独立した解析対象としての資格を備えつつあるということになる。

STEKETEE (1958a, 1958b) によつて“Volterra dislocation”の数学的定式化がなされて以来、断層モデルによつて生ずる歪や傾斜についても多くの研究が行なわれて来た。例えば、半無限媒質中の垂直矩形断層の場合については、PRESS (1965) が、その解析的表現式を与えているし、また、断層が任意の傾きを持つ場合については、CANITEZ & TOKSÖZ (1972) や MIKUMO (1973) 等が、点震

源に関する変位場の表現式 [MARUYAMA (1964)] を直接偏微分することによつて得ている。後者の場合、有限な広がりを持つ断層に対しては、食い違い面上での2重の数値積分を実行しなければならない。SATO & MATSU'URA (1974) は、この2重積分を解析的に求め、数値計算を極めて容易にした。

地震という破壊現象を半無限媒質中の矩形の食い違い面で表現する事は、かなり粗い近似である。しかしながら、より現実的な地殻構造を持つたモデル、例えば、球状地球モデル [BEN-MENAHEN, SINGH & SOLOMON (1969, 1971)] 或いは多層構造モデル [JOVANOVICH, HUSSEINI & CHINNERY (1974a, 1974b); MATSU'URA & SATO (1975a)] に関する研究を通して、それらが変形場に及ぼす影響は、あまり大きなものではないという事が示されている。即ち、前者については、断層近傍での効果は殆んど無視し得るし、後者についても、地表付近

に軟弱堆積層のような極端に剛性率の小さい層の存在を考えないかぎり、半無限媒質の場合との差はそれ程顕著ではない。一方、実際の断層の有様は、一枚の食い違い面で表現出来るような単純なものではないし、食い違いの大きさや方向自体が、その面上で複雑に変化していると思われる。それにもかかわらず、断層を矩形の食い違い面によつて近似することが有意であるのは、次のような理由による。即ち、ある観測された変形場は、極めて局所的な変形を除けば、多くの場合 1 つの矩形断層モデルによつて説明する事が可能であり、また、例外的に表現し得ない場合があるとしても、これは複数個の矩形断層からなる集合体モデルを考えることにより表現することが出来るからである [MATSU'URA (1976)]。

本論文においては、半無限媒質中の矩形断層によつて生ずる地表での歪あるいは傾斜の場を、幾つかの代表的な場合について示し、断層パラメータ（特に断層の傾きとずれの方向）と変形のパターンとの間の定性的な関係を考察する。このような試みは、変位場についての同様な試み [MATSU'URA & SATO (1975b)] と併せて、観測された地殻変動のパターンから、それに対応する断層モデルの概略を把握する際の有効な手段を与えるものとする。

尚、全ての計算は、SATO & MATSU'URA (1974) の開発したプログラムによつた。

§ 2. 地表における歪と傾斜のパターン

座標系および断層パラメータは、Fig. 1 に示されるように設定した。 H_0 , W , $2L$, δ , D , λ は、それぞれ断層の深さ、幅、長さ、傾き、ずれの大きさ、その方向を表わす。例えば、 $\delta = 30^\circ$, $\lambda = 45^\circ$ とすれば、傾きが 30° の左ずれ逆断層という事になる。また、長さの次元を持つ諸量は、全て、ある任意の長さ H を単位として無次元化している。

本論文では、特に、断層の傾き (δ) とずれの方向 (λ) とが様々な値を取る時、それに応じて変形のパターンがどのように変化するかを見るために、全ての計算例を通して $H_0/H=0.05$, $w/H=0.5$, $2L/H=1.0$, $D/H=0.05 \times 10^{-8}$ と設定している。例えば、長さの単位を 20 km にとれば、深さ 1 km, 幅 10 km, 長さ 20 km の断層面上で食い違い量が 1 m の場合に相当する。また、 H を 40 km にとれば、 $H_0=2$ km, $w=20$ km, $2L=40$ km, $D=2$ m となるが、この場合の歪あるいは傾斜の場は、 $H=20$ km とした場合と全く同じになる。変位場に関しても両者のパターンは同じになるが、ただ注意すべき事は、この場合は、 $H=40$ km としたときの変位量は、 $H=20$ km としたときのちょうど 2 倍になっているという点である。

地表での変形場を表示するための量としては、変位の各成分 (u_x , u_y , u_z) の x 座標, y 座標方向への傾き ($\partial u_{x(y,z)}/\partial x$, $\partial u_{x(y,z)}/\partial y$), および、これらの諸量から定義される次のようなものが考えられる:

Table 1. Classification of strain and tilt components based on the relationships existing among the deformation fields caused by four slip vectors shown in Fig. 2.

For group I, deformation fields caused by A and B (or C and D) are reflectional each other, i.e. deformation field for B (or D) is obtained by reciprocation of the right and the left of that for A (or C). Deformation fields caused by A and C (or B and D) are opposite in sign each other, i.e. deformation field for C (or D) is obtained by changing positive and negative regions of that for A (or B) to negative and positive respectively.

For group II, deformation fields caused by A and D (or B and C) are reflectional each other. Deformation fields for A and C (or B and D) are opposite in sign each other, as the case of group I.

For group III, deformation fields caused by A and C (or B and D) are the same. Deformation fields for A and B, i.e. for C and D are reflectional each other.

Group I	a) u_y, u_z .
	b) $\partial u_x / \partial x, \partial u_y / \partial y, \partial u_z / \partial y$.
	c) Horizontal displacement, Tilt, Dilatation, Principal strain.
Group II	a) u_x .
	b) $\partial u_x / \partial y, \partial u_y / \partial x, \partial u_z / \partial x$.
	c) Rotation, Shear strain.
Group III	a) ———
	b) ———
	c) Maximum shear.

$$\text{i) Dilatation: } \Delta \equiv \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y},$$

$$\text{ii) Rotation: } \omega \equiv \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right),$$

$$\text{iii) Shear: } \varepsilon \equiv \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial x} \right),$$

$$\text{iv) Maximum shear: } \sigma \equiv \sqrt{\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)^2},$$

$$\text{v) Principal strain: } \gamma_{\pm} \equiv \Delta \pm \sigma$$

$$\theta_{\pm} \equiv \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_{\pm} - 2(\partial u_x / \partial x)}{2\varepsilon} \right)$$

以上の諸量は、Fig. 2 に示されるような同一断層面上の 4 種の slip vector (A, B, C, D) 各々が作る 4 種の変形場 (A_d , B_d , C_d , D_d) の間に、どのような関係が成り立つかによつて、3 つの群に分類する事が出来る (Table 1). 各群に属する量に対して、それぞれ次のような関係が存在する。

a) 第 I 群

i) A_d と B_d , C_d と D_d は、互いに鏡映の関係にある。即ち、 B_d , D_d は、それぞれ A_d , C_d の左右を逆にする事により得られる。

ii) A_d と C_d , B_d と D_d は、互いに逆の関係にある。即ち、 C_d , D_d は、それぞれ A_d ,

B_d の符号 (正負) を逆にする事により得られる.

b) 第 II 群

- i) A_d と D_d , B_d と C_d は, 互いに鏡映の関係にある.
- ii) A_d と C_d , B_d と D_d は, 第 I 群と同様, 互いに逆の関係にある.

c) 第 III 群

- i) A_d と C_d , B_d と D_d は, それぞれ全く同じパターンとなる.
- ii) A_d と B_d , 即ち, C_d と D_d は, 互いに鏡映の関係にある.

従つて, いずれにしても A , 即ち, 左ずれ逆断層の場合のみ示せば十分である.

計算例は, 傾き (δ) が 30° と 60° の各断層面上で, ずれの方向 (λ) が 0° (pure strike-slip), 45° , 90° (pure dip-slip) の三つの場合について, $\partial u_x/\partial x$, $\partial u_x/\partial y$, $\partial u_y/\partial x$, $\partial u_y/\partial y$, ($\partial u_x/\partial x$, $\partial u_x/\partial y$) の諸量のパターンを示す (Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8). 但し, ($\partial u_x/\partial x$, $\partial u_x/\partial y$) は, 傾斜の x 成分と y 成分が作るベクトル場として示してある. その他の量 (膨張, 回転, 剪断歪, 最大剪断歪, 主歪) については, 断層の傾きが 30° と 60° の場合に関して, $\lambda=45^\circ$ の時のパターンのみを例として示す (Fig. 9, 10). 尚, 各図を通して, コンターはその絶対値が 10^{-7} から 10^{-5} までの範囲を示してある. 図中のコンターの値, 例えば $5E-6$ は, 5×10^{-6} を意味する.

2-1. 水平変位の x , y 座標方向への傾き

水平変位の x , y 成分それぞれを x 座標, y 座標について偏微分したもののパターンを Fig. 3~8 に示す. これらの諸量は, 座標系の回転に対して不変ではない.

一般に, 断層の傾き (δ) の違いが変形のパターンに及ぼす影響は, pure strike-slip ($\lambda=0^\circ$) の場合 (Fig. 3, 4) は極めて弱いものに対して, pure dip-slip ($\lambda=90^\circ$) の場合 (Fig. 7, 8) には顕著である (但し, $\partial u_x/\partial y$ 成分についてはあまり顕著ではない). この事は, $\lambda=90^\circ$ の場合の上盤側での水平変位のパターンが, $\delta=45^\circ$ 付近を境として大きく変わる事と対応している.

Pure dip-slip fault について $\delta=30^\circ$ の場合と $\delta=60^\circ$ の場合とを較べてみると, 断層の下盤側のパターンには大きな変化は見られないが, 上盤側では, δ の増加に伴つて, 下盤側と対称 ($\partial u_x/\partial y$, $\partial u_y/\partial x$) 或いは反対称 ($\partial u_x/\partial x$, $\partial u_y/\partial y$) のパターンになろうとするような傾向が認められる.

ずれの方向 (λ) の違いが変形のパターンに及ぼす影響は, 各成分それぞれについて様々である. ただ一般的規則として, $\lambda=0^\circ$ の時に y 軸に対して対称であつた成分は $\lambda=90^\circ$ では反対称へ, 反対称であつた成分は対称へと, slip vector の方向の変化を追うようにして漸移し

ていく事が指摘できる (Fig. 3, 5, 7 或いは Fig. 4, 6, 8). また, λ が任意の値を持つ場合, 伸び縮みに関する成分 ($\partial u_x/\partial x$, $\partial u_y/\partial y$) についてのパターンは, 主として slip vector の dip 成分によつて, 他方, 剪断歪に関する成分 ($\partial u_x/\partial y$, $\partial u_y/\partial x$) のパターンは, 主として strike 成分によつて支配される傾向がある. この傾向は, 特に $\partial u_y/\partial y$ (Fig. 3-4, 5-4, 7-4) や $\partial u_x/\partial y$ (Fig. 3-2, 5-2, 7-2) において顕著である.

2-2. 傾 斜

傾斜の場合は, その大きさをコンターで, また, 最大傾斜の方向を矢印で表示した (Fig. 3-5, 4-5, 5-5, 6-5, 7-5, 8-5).

断層の傾きの違いが変形のパターンに及ぼす影響は, pure strike-slip の場合に小さく, pure dip-slip の場合に顕著である. この事は, 垂直変位のパターンが, δ の変化に対して, $\lambda=90^\circ$ の場合は $\delta=45^\circ$ 付近を境にして急激に変わる事と対応している. slip vector が strike 成分と dip 成分の両方を持つ場合, 傾斜場のパターンは, より強く dip 成分によつて支配される (Fig. 5-5, 6-5).

傾斜の x 成分 ($\partial u_x/\partial x$), y 成分 ($\partial u_x/\partial y$) 自体は, 座標の回転に対して不変ではないが, それらが作るベクトル場は, 座標系の取り方には依らない. 即ち, 断層との相対的位置関係にのみ依る.

2-3. 膨張, 回転, 剪断歪, 最大剪断歪, 主歪

Fig. 9 ($\delta=30^\circ$) と Fig. 10 ($\delta=60^\circ$) に示されるこれらの量は, 剪断歪を除いて, 全て座標の回転に対して不変であり, 従つて, 断層との相対的位置関係にのみ依る.

ずれの方向 (λ) が 45° の場合, 断層の傾き (δ) の違いは, 剪断歪, 最大剪断歪, 主歪等のパターンに対しては比較的強く反映されるが, 膨張や回転等には殆んど影響を与えない. 例えば, 主歪については, 低角である程上盤側での伸び, あるいは縮みが卓越することが, Fig. 9-5 と Fig. 10-5 から見てとれる. また, 伸びの方向は, 断層中央上部では slip vector の方向と一致するが, その端の領域では複雑なパターンを示す. この点に関しては, 矩形断層モデルが, 現実の断層の近似であるという事を考慮に入れて評価しなければならない.

断層モデルと変形のパターンの関係を視覚的に理解するという意味では, この節で取り上げたような, 断層との相対的位置関係にのみ依存する量の方が適当であると思われるが, 本論文では, 最大剪断歪や主歪等を計算し得る最も基本的な量として, 変位各成分の x , y 座標方向への傾き (2-1) を主として示したのである.

§ 3. ま と め

断層の傾きの違いが変形のパターンに及ぼす影響は, **pure strike-slip** の場合にはあまり大きくないが, **pure dip-slip** に対しては顕著である. また, 伸び縮みに関する量 (特に $\delta u_y/\delta y$) のパターンは, 主として **slip vector** の **dip** 成分によつて, 他方, 剪断歪に関する量 (特に $\partial u_x/\partial y$) のパターンは, 主として **strike** 成分によつて支配される傾向がある. 従つて, 観測された変形場の震源要素を議論する際には, 問題にしている断層がおおよそどのようなタイプであるか, また, 如何なる断層パラメータについて考察するか等々によつて, 最も適当な量, 即ち, 問題にしている未知パラメータの違いを最も鋭敏に反映する量を選ぶべきであろう.

変形場のパターン認識という点から見れば, 変位各成分の x, y 座標方向への傾き ($\partial u_{x(y,z)}/\partial x, \partial u_{x(y,z)}/\partial y$) そのものよりも, それらから定義される諸量 (膨張, 回転, 剪断歪, 最大剪断歪, 主歪) の方が適している. これらの量は, 剪断歪を除いて, 全て座標系の回転に対して不変であり, 従つて, 断層との相対的位置関係にのみよつて決まつてしまう.

最後に, PRESS (1965) の論文について言及しておく. この論文の具体的計算例として, 垂直断層面 ($\delta=90^\circ$) 上で λ が 0° (**pure strike-slip**) の場合と 90° (**pure dip-slip**) の場分について, 歪および傾斜のパターンが示されている. 本論文では, 重複を避けるため, 敢えて $\delta=90^\circ$ の場合を示さなかつたが, これらの計算例を併せて参照される事は意味のある事である. 但し, その際, 彼の論文の u_s/U_1 (Fig. 4), $\partial u_s/\partial x_1$ (Fig. 9), $\partial u_s/\partial x_2$ (Fig. 10) 等について, 符号の誤りがある事に注意すべきである.

尚, 前論文 [MATSU'URA & SATO (1975b)] において, Fig. 1 と Fig. 2 が入れ変わつていましたので, 訂正致します.

References

- BEN-MENAHEN, A., S. J. SINGH and F. SOLOMON, 1969, Static Deformation of a Spherical Earth Model by Internal Dislocations, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **59**, 813-853.
 BEN-MENAHEN, A., S. J. SINGH and F. SOLOMON, 1970, Deformation of Homogeneous Earth Model by Finite Dislocations, *Rev. Geophys. Space Phys.*, **8**, 591-632.
 CANITEZ, N. and M. N. TOKSÖZ, 1972, Static and Dynamic Study of Earthquake Source Mechanism: San Fernand Earthquake, *J. Geophys. Res.*, **77**, 2583-2594.
 JOVANOVIĆ, D. B., M. I. HUSSEINI and M. A. CHINNERY, 1974a, Elastic Dislocations in a Layered Half-space I: Basic Theory and Numerical Methods, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **39**, 205-217.
 JOVANOVIĆ, D. B., M. I. HUSSEINI and M. A. CHINNERY, 1974b, Elastic dislocations in a Layered Half-space II: The Point Source, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **39**, 219-239.
 MARUYAMA, T., 1964, Static Elastic Dislocations in an Infinite and Semi-infinite Medium, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.*, **42**, 289-368.
 MATSU'URA, M., Inversion of Geodetic Data, Part II: Optimal Model of Conjugate Fault System for the 1927 Tango Earthquake, in preparation.

- MATSU'URA, M. and R. SATO, 1975a, Static Deformation due to the Fault Spreading over Several Layers in a Multi-layered Medium, Part II: Strain and Tilt, *J. Phys. Earth*, **23**, 1-29.
- MATSU'URA, M. and R. SATO, 1975b, Displacement Fields due to the Fault (in Japanese), *Zisin*, **28**, 429-434.
- MIKUMO, T., 1973, Faulting Process of the San Fernando Earthquake of February 9, 1971 inferred from Static and Dynamic Near-field Displacements, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **63**, 249-269.
- PRESS, F., 1965, Displacements, Strains, and Tilts at Tele-seismic Distances, *J. Geophys. Res.*, **70**, 2395-2412.
- SATO, R. and M. MATSU'URA, 1974, Strains and Tilts on the Surface of a Semi-infinite Medium, *J. Phys. Earth*, **22**, 213-221.
- STEKETEE, J. A., 1958a, On Volterra's Dislocations in a Semi-infinite Elastic Medium, *Can. J. Phys.*, **36**, 192-205.
- STEKETEE, J. A., 1958b, Some Geophysical Applications of the Elasticity Theory of Dislocations, *Can. J. Phys.*, **36**, 1168-1198.
- 気象庁地震課, 1976, 松代における歪の永年変化と東海地方 5 カ所の埋込式歪計の観測結果, 地震予知連絡会会報, 16 巻, 124-125.

Fig. 3. Strain and tilt fields due to the pure strike-slip fault ($\delta=30^\circ$, $\lambda=0^\circ$). In all the following figures, contour values are given by special indications, for example $5E-6$, which means 5×10^{-6} . For tilt fields, the magnitude is represented by contours, and the direction of the maximum inclination is indicated by arrows. Fault parameters, such as H_0/H , w/H , $2L/H$ and D/H are fixed to 0.05, 0.5, 1.0 and 0.05×10^{-8} respectively, where H is an arbitrary unit length in km.

Fig. 4. Pure strike-slip fault ($\delta=60^\circ$, $\lambda=0^\circ$).

Fig. 5. Left lateral reverse fault ($\delta=30^\circ$, $\lambda=45^\circ$).

Fig. 6. Left lateral reverse fault ($\delta=60^\circ$, $\lambda=45^\circ$).

Fig. 7. Reverse dip-slip fault ($\delta=30^\circ$, $\lambda=90^\circ$).

Fig. 8. Reverse dip-slip fault ($\delta=60^\circ$, $\lambda=90^\circ$).

Fig. 9. Dilatation, rotation, shear, maximum shear and principal strain.
Left lateral reverse fault ($\delta=30^\circ$, $\lambda=45^\circ$).

Fig. 10. Dilatation, rotation, shear, maximum shear and principal strain.
Left lateral reverse fault ($\delta=60^\circ$, $\lambda=45^\circ$).

Fig. 3-1. $\partial u_x / \partial x$ component.

Fig. 3-2. $\partial u_x / \partial y$ component.

Fig. 3-3. $\partial u_y / \partial x$ component.

Fig. 3-4. $\partial u_y / \partial y$ component.

Fig. 3-5. Tilt.

Fig. 4-1. $\partial u_x/\partial x$ component.

Fig. 4-2. $\partial u_x / \partial y$ component.

Fig. 4-3. $\partial u_y / \partial x$ component.

Fig. 4-4. $\partial u_y/\partial y$ component.

Fig. 4-5. Tilt.

Fig. 5-1. $\partial u_x/\partial x$ component.

Fig. 5-2. $\partial u_x/\partial y$ component.

Fig. 5-3. $\partial u_y/\partial x$ component.

Fig. 5-4. $\partial u_y/\partial y$ component.

Fig. 5-5. Tilt.

Fig. 6-1. $\partial u_x/\partial x$ component.

Fig. 6-2. $\partial u_x/\partial y$ component.

Fig. 6-3. $\partial u_y/\partial x$ component.

Fig. 6-4. $\partial u_y/\partial y$ component.

Fig. 6-5. Tilt.

Fig. 7-1. $\partial u_x / \partial x$ component.

Fig. 7-2. $\partial u_x / \partial y$ component.

Fig. 7-3. $\partial u_y / \partial x$ component.

Fig. 7-4. $\partial u_y / \partial y$ component.

Fig. 7-5. Tilt.

Fig. 8-1. $\partial u_x / \partial x$ component.

Fig. 8-2. $\partial u_x / \partial y$ component.

Fig. 8-3. $\partial u_y / \partial x$ component.

Fig. 8-4. $\partial u_y / \partial y$ component.

Fig. 8-5. Tilt.

Fig. 9-1. Dilatation.

Fig. 9-2. Rotation.

Fig. 9-3. Shear.

Fig. 9-4. Maximum shear.

Fig. 9-5. Principal strain.

Fig. 10-1. Dilatation.

Fig. 10-2. Rotation.

Fig. 10-3. Shear.

Fig. 10-4. Maximum shear.

Fig. 10-5. Principal strain.