

既存裂力が造構的応力場に及ぼす影響に関する実験的研究*

M. V. GZOVSKY** A. L. ЛЕХТМАН** 平山 次郎***

Влияние древних разрывов на тектоническое поле напряжений

M. V. Гзовский, A. Л. Лехтман, Дз. Хираяма

Аннотация

На моделях выяснено, что в зависимости от формы древних тектонических разрывов новые напряжения концентрируются возле концов разрывов и в определенных местах в стороне от разрывов.

1. まえがき

これまでに、いろいろな地域で、造構的応力場に関する研究が行なわれ、地殻の応力状態にいくつかのタイプが存在することがわかってきた。さらに、地域によって、まったく異なる応力状態が、同時に共存しうることにも明らかにされている。また、同一の地域でも、同じ応力状態が持続するとはかぎらず、時とともに何度も変化している。しかも、その変化は、飛躍的な性格をおびることが多く、新しい断層の発生や、既存の断層にそう転位によってこのような応力場の急変が起こる。もちろん、地殻に作用する外力の変化といった別の要因によっても、応力場の変化が起こりうる。

この論文では、いろいろなタイプの応力場のうち、水平に働く外力によって生ずる応力場について検討する。

この研究は、平山が科学技術庁在外研究員として、1967年11月から翌年9月までソ連に留学中、科学アカデミー地球物理研究所において、造構物理研究グループの責任者 M. V. Гзовский博士と研究員 A. Л. Лехтманらとともに行なったものである。なお、この研究報告のロシア語版はソ連邦科学アカデミー轉報地球物理学編 (Известия АН СССР, серия геофизическая) に、掲載される予定であるが、日本語版には一部平山が加筆し、項目の組みかえを行なった。

2. 水平圧縮によって発生した応力場の実例

このような応力場では、中間主応力軸 σ_2 は直立し、最大主応力軸 σ_1 (最大引張応力軸あるいは、最小圧縮応力軸) と、最小主応力軸 σ_3 (最大圧縮応力軸) とは、

* 本論文のロシア語版は Известия АН СССР, серия геофизическая に掲載される予定

** ソ連邦科学アカデミー地球物理学研究所

*** 地質部

水平に作用する。ここでは、急斜した断層が発生し、断層面にそう水平転位が起こる。

この種の応力場の復元は、各地の異なる地質時代の対象について行なわれている。たとえば、南カザクスタンのカラタウ地域では、ヘルシニアン褶曲帯のカレドニアンや先カンブリア紀の基盤に、古生代末にこのような応力場が作用した (Гзовский, 1954, 1963, 1964)。また、中央カザクスタンやサヤン地域では、先カンブリア紀褶曲の末期に (Берзин, Клитин, 1961; Милеев, 1967)、カザクスタンのバルハシ湖北方地域の堆積被覆層や (Трифонов, 1964)、天山山脈中央部の古生層 (Буртман, 1964)、天山西部の古生代末期の火山岩類やその基盤岩類 (Парфенов, Кондратов, 1966)、ドンバスの石炭系の堆積岩類などでは (Букринский, Михайлова, 1963; Букринский, Пугачов, 1966; Пугачов, 1967) ヘルシニアン褶曲の末期に、このような応力場が作用した。さらに、ウラルでは、古生代末に同様の応力場が作用したことがわかっている (Вировлянский, 1960)。

そのご、中生代・新生代においては、マンギシュラクの堆積被覆層や (Трифонов, Флоренский, Шлезингер, 1965)、パミール東部の中生層とその基盤 (Руженцев, 1963; Руженцев, Швольман, 1968)、コペートダグの中生層や古第三系 (Расцветаев, 1966)、ザバイカリエ (Вировлянский, 1960; Филатов, 1968)、などに、このような造構的応力場が働いた。また、天山中央部のフェルガナ山脈では、褶曲の形成に伴って、ジュラ紀の地層中に、水平圧縮応力場が作用した。

第四紀にも、アジアの諸地域で、過去の地震活動と関連のあるものや (Лукьянов, 1964)、地震との関連の明確でないもの (Буртман, 1964; Войтович, 1964; Гзовский, 1964)、などが知られている。さらに、カルフォルニアのサンアンドレアス断層をはじめ環太平洋地域で

は、現世の水平ズリ断層が、このような応力場で発生したことがわかっている (ALLEN 1964; ALBERS, 1964; CROWELL, 1962; ALLEN et al., 1965; STEINBRUGGE et al., 1960)。

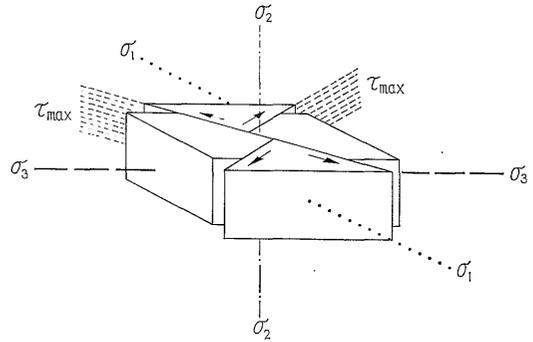
日本でも、関東地方から中国地方にかけて、多数の水平ズリ断層が知られている。たとえば、中部地方では、第三紀末から更新世にかけて発達した中央構造線 (KANeko, 1966) をはじめ、それと平行な柿其峠—奈良井断層・屏風山断層 (山田・村山, 1958; 片田他5名, 1960; 片田・磯見, 1962; 仁科, 1968) や跡津川断層 (松田, 1964, 1967) など、いずれも北東—南西方向の右ずれ断層が発達する。一方、これらの断層群と共役をなすと考えられるものに、阿寺断層 (SUGIMURA and MATSUDA, 1965; 木曾谷第四紀研究グループ, 1964; 仁科, 1968), 柳ヶ瀬断層 (杉村, 1963) 白川断層 (むかい 六蔵—麦島断層 (河田・磯見, 1962) 神谷断層 (片田・磯見, 1962) などがある。これらは、いずれも北西—南東の走向をもつ左ずれ断層である。

さらに、現世の地震のさいに発生した水平ずり性の活断層も分布する。濃美地震 (1891) に伴う根尾谷断層、丹後地震 (1927) の郷村断層、福井地震 (1948) の福井断層のような北西—南東方向の左水平ずりと、郷村断層の共役断層と考えられる山田断層や、鳥取地震に伴う鹿野・吉岡断層のような北東—南西の右水平ずりとが認められる。

伊豆から南関東にかけて分布する水平ずりは、中部地方のものとはいく分異なる走向をもつ。すなわち、右ずれ断層は北西—南東、左ずれ断層は、南北ないし北北東—南南西にのびる。前者に属するものには、更新世後期に生じたと考えられる三浦半島の衣笠・北武・武山・南下浦・引橋の諸断層 (KANeko, 1969) や、北伊豆地震 (1930) で生じた姫ノ湯断層などがある。左ずれ断層では、上記の姫ノ湯断層と共役な丹那断層が有名である。このほか、丹沢地域にも、左右の水平ずりが発達する (KANeko, 1964)。

丹那断層をはじめ、阿寺・跡津川断層にそって、第四紀を通じて、同じセンスの転位が反復して起きたことが明らかにされている (KUNO, 1936; 木曾谷第四紀研究グループ, 1964; SUGIMURA & MATSUDA, 1965)。

上に述べたように、中部日本地域では、第三紀末から現世に至る種々の時代に生じた共役と考えられる左右の水平ずりが、それぞれ類似の走向をもち、同一の断層にそって同じセンスの変位が累積されてきたことから、第四紀を通じて、ほぼ東西にのびる水平な最大圧縮応力軸 σ_3 と直立した中間主応力軸 σ_2 をもつ応力場が、一貫して



第1図 対象とした応力場における主応力軸の配置を示す模式図、説明は本文参照

作用していたと考えられている (SUGIMURA & MATSUDA, 1965; 松田, 1967)。さらに、ごく最近の例では、松代地震も、裂カの配置や発震機構・地殻のひずみなどから、中部地方全域に共通する東西方向の圧縮によっていると考えられている (NAKAMURA & TSUNEISHI, 1967)。

このほか、地震の初動分布のうち、四象限型の押し引き分布が、この種の応力場に起因するものと考えられている。このような例は、日本や千島・カムチャッカをはじめ、カルパチヤ山脈東部、ベルホヤン山脈・北極海・大西洋などで多数報告されている (Введенская, Рухтрехтова, 1961; Лазарева, Мишарина, 1965; Мишарина, 1964; Балакина, 1959)。上にあげた震源付近の応力状態に関する資料は、ソ連の現世応力配置図にもりこまれている (Gzovsky, 1966, 1967)。

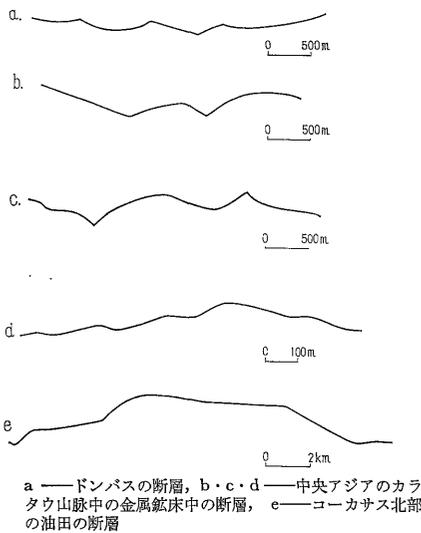
カルパチヤ山地では、5年の間に応力が変化したという例が知られている。

バルト楕状地のいくつかの鉱山の坑内の岩圧の測定結果から、現在でも水平に造構的な圧縮が働いているということも報告されている (Наст, 1958; Турчинов, Марков, 1966)。

3. 実験的研究の課題と意義

第1図は、このタイプの応力場の主応力の配置を模式的に示したものである。ここでは、地殻構造の異方性や不均一性を無視したもっとも一般的な規則性を示してある。しかし、実際にこのような応力場が作用する場合、既存の褶曲や断層・進入岩体の向きによって生ずる異方性や物性の不均一性が存在する。周知のように、地殻中に大きな裂カが新たに発生するさい、主として影響するのは、最大接線応力の大きさである。そこで、ここでは、これらの応力の配置について考察する。

本論では、上にあげたいくつかの要因のうち、既存の裂カが、この種の応力場にどのような影響を与えるかに



第2図 くわしく調べられた急傾斜の断層と水平面との交線

ついて検討を試みた。

詳細な地質調査を実施すると、どこでも、大きな断層は平面ではなく、複雑な形態をもつ面からなることがわかる。地質図のうえでは、このような断層と地表面の交線は、直線ではなく、複雑な曲線をなす。いろんな断層の資料を整理してみると、これらの曲線は、次の3つのタイプに分けることができる：(1)ほぼ直線に近い切片からなるジグザグ型、(2)いろんな角度で交わる弧状の断層からなる花綵型、(3)ゆるやかな正弦曲線を想わせる波型の3つである (Гзовский, 1953)。これらの形態を示すいろんな地域の断層の例を第2図に掲げた。

われわれの研究の目的は、垂直な σ_2 軸と水平な σ_1 ・ σ_3 軸をもつ均一な媒体中の応力場に、上にあげた3つの型の断層が及ぼす影響を純粋なかたちで考察することにある。このような実験によって、多数の因子が同時に作用する複雑な自然条件のもとで、既存の裂力が応力場を与える影響を知る場合の助けになるであろう。

断層の形態という一つの因子の影響を純粋なかたちで明らかにするには、モデル実験がもっとも適している。裂力を伴う物体中の応力場の理論計算は、電子計算機を用いても非常に困難である。

モデルでは外力を加えた直後に発生する応力配置を、調べることにする。したがって、本論では、時間の経過に伴う応力場の変化についてはふれないことにする。

われわれの知っているかぎりでは、このようなテーマをとりあつた例はない。いろいろな形の孔が応力配置に与える影響については、工学の分野で、理論的・実験的な研究が行なわれている。造構裂力にみられる複雑な

形をもった狭い切れ目の演ずる役割については、工学の分野でも研究されていない。造構物理学の分野では、この種の問題に関してモデル実験を行ない、最大接線応力の作用面にそって発生する裂力が、応力場にどのような影響を与えるかが明らかにされている (Гзовский, 1954, 1958, 1963)。ここでは、主応力の方向に対して、前のものとは異なる位置をもつ既存裂力の影響を対象とした。

4. モデル実験の実施条件について

造構物理学における応力状態のモデル実験は、光弾性法によるものが、もっとも完全でしかも簡単である (Гзовский, 1954, 1958, 1963; Осокина, 1960, 1963)。モデル材料には、相似律を満足する力学的性質と光学性をそなえた透明な光学活性材を用いる。この実験では、時間因子は除外し、さらに、既存裂力の役割だけに焦点をしばり、新しい裂力の発生については実験を行なわなかった。したがって、ここでは、次の相似律だけを満足させれば十分である： $C_\tau = C_\sigma = C_\rho C_g C_l$

ただし、 C_τ —応力の相似乗数、 C_σ —剛性率の相似乗数、 C_ρ —密度の相似乗数、 C_g —重力加速度の相似乗数、 C_l —大きさの相似乗数、ここで求めたいのは剛性率の相似乗数 $C_\sigma (= C_\tau)$ である。そこで、他の乗数の値をあたってみよう。重力加速度は、モデルでも実物でも大きさが等しいので、 $C_g = 1$ となる。モデル材は岩石よりも軽いので、 $C_\rho = 1/2$ である。 C_l の値は、どんな大きさの断層を、モデル中の断層で代表させるかによって、1:10,000から1:1,000,000までの値をとりうる。したがって、 $C_\tau = C_\sigma = 10^{-4} \sim 10^{-6}$

となる。

そこで、 $10^5 \sim 10^6 \text{ kg/cm}^2$ の剛性率 (G_l) をもった岩石は、モデル材料として次のような大きさの剛性率 (G_m) をもった弾性物質で代表させる必要がある：

$$G_m = G_l \cdot G_g = (10^5 \sim 10^6) \cdot (10^{-4} \sim 10^{-6}) = 10^{-1} \sim 10^2 \text{ kg/cm}^2$$

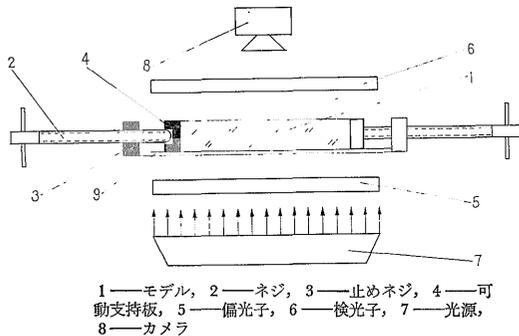
地球物理研究所で開発したベンジアルアルコールにとかしたアセチルセルロースの弾性ゲルの剛性率が、この範囲におちる (Гзовский, 1963; Осокина, 1963)。

あとで述べるように、重力はこのモデルの応力状態には影響しない。したがって、このような特殊なモデル実験では、厳密に言えば、ここで考慮した唯一の相似条件さえも、必ずしも守る必要はない。このようなテーマで応力配置を研究しようという場合、原理的には、どんな剛性率をもった材料を用いても実験できる。モデルと岩石との剛性率の比 C_σ を任意に選ぶと、モデルと実物

のかけ橋の役をする応力の相似乗数 C_i が、 C_a と等しいので、必然的に決まる。しかし、この方法よりも、相似条件を満たす材料を用いるほうが、作業がずっと簡単である。

ここで用いたモデルは、厚さ 3.6 cm、長さ 34 cm、幅 25 cm の直方体である。したがって、 $C_i = 1:10^6$ とすると、モデルは地殻全体の厚さに対応する。 $C_i = 1:10^5$ では、モデルは堆積被覆層あるいは地表に露出している花崗岩層上部に相当する。 $C_i = 1:10^4$ では、モデルは深さ 360m の地殻表層部を代表することになる。

このモデルをベンジルアルコールを塗ったガラスの支持台にのせる。そして、モデルの下から、偏光子 (polarizer) を通した光を照射する。モデルの上方に検光子 (analyser) をおき、その主面を偏光子の主面と直交させる (第3図)。検光子を上からのぞきながら、モデルのいろんな部分に発生した干渉色をスケッチしたり、写真にとったりすることができる (写真1)。あるモデルの厚さが与えられると、モデルの板に直交するそれぞれの微小面積に作用する剪断応力の値に応じて、所定の干渉色が発生する。モデル中に発生する応力の絶対値と相対値は、第1表に示してある。これは、特殊な装置で測定する。



第3図 光弾性モデルを調べるための偏光装置の模式図

第1表 ベンジルアルコールにかしたアセチルセルローズ15%ゲルの干渉色と負荷応力との相関表

干渉色	モデル内の応力値		凡例
	絶対値 g/cm ²	相対値	
灰色 I 次	—20	0.66	
黄色 I 次	—25	0.83	
赤色 I 次	—30	1	
青緑色 II 次	—40	1.32	
黄色 II 次	—80	2.64	
赤色 II 次	—	—	

モデルは、ネジによって移動する2枚の鋼鉄板にはさんで、側面から圧力を加える。

モデル中に裂力が存在しない場合には、モデルの中央部 (15×15 cm) には、均一な干渉色が発生し、モデル中央部に均一な応力場が発生していることがわかる。

モデルに圧力を加える前に、モデルの中央部に、その影響を調べたいと思うジグザグ型・花綵型・波形などの切りこみを入れる。このように前もって切りこみを入れたモデルを圧縮すると、応力分布にいろいろな変化が生じ、不均一になる。

そのほか、モデルを上下から2枚のガラス板でしっかりとおさえて圧縮してみたが、 σ_2 がいく分大きくなるだけで、おさえのない場合と本質的なちがいはみられなかった。

ここでモデルに加えた圧力は、岩石の破壊圧に対応するほど大きなものではなかった。

もちろん、既存の断層は、いろいろな形をとりうるし、外力の方向に対しても任意の方向をとりうる。したがって、この実験では、最大圧力の方向に平行あるいは45°の方向、あるいは直交する方向に、切りこみを入れた。

5. 実験結果

5.1 ジグザグ型裂力 (第4図, 第5図参照)

ジグザグの頂角を90°にし、ジグザグののびの方向に圧力を加えると、ジグザグの頂点の外側と、その末端部に応力の最大集中部が現われる。そのほか、ジグザグの頂点の一つおきに結ぶ楕円状の部分に、やや高い応力の集中がみられる (第4図-a)。

裂力の一般走向と45°の角度で圧力を加えると、裂力は主応力の作用面と平行になるため (そこでは剪断応力は零になる)、裂力は剪断応力の分布にまったく影響を与えない。そのため、モデルの中央部に切りこみを入れても、一樣な干渉色しか現われぬ (第4図-b)。

裂力が圧力の方向と直交してのびている場合には、裂力ののびにそって圧力を加えた場合に似た応力配置が得られる (第4図-c)。

第4図-aと第4図-cにみられるように、頂部の内側には、応力の著しく低い部分が現われる。さらに、断層に直接する部分は、応力が著しく低下する。

切片が120°の角度をもって交わるジグザグ型の裂力ののびの方向に対して、直交あるいは平行に圧力を加えると、頂角が90°の場合と同様の応力場が生ずる (第5図-a, c)。

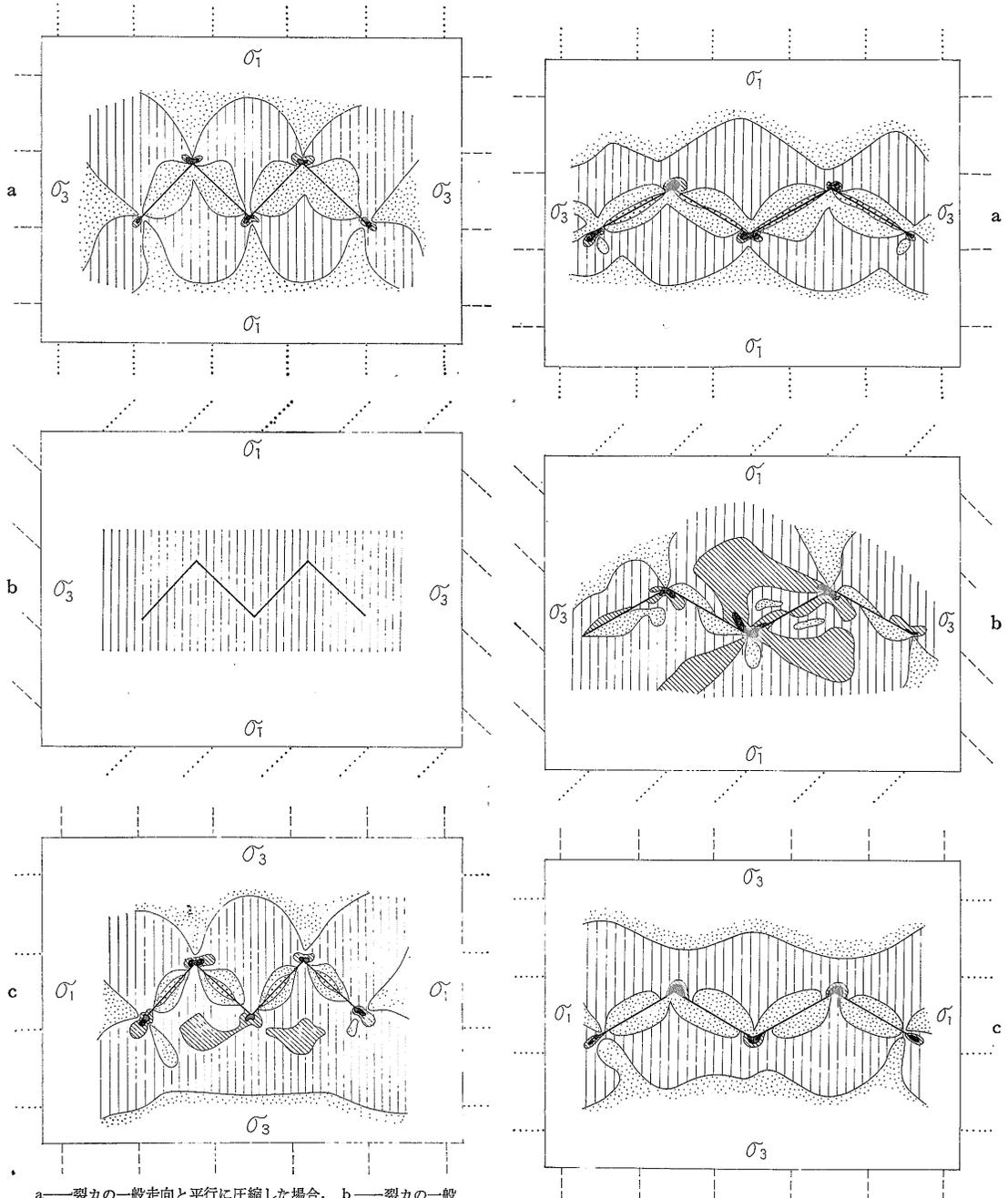
そののびが、圧力に対して45°の方向をとる場合には、別の応力配置が生ずる (第5図-b)。この場合、 σ_3 の

方向に近いジグザグの切片にそって、応力がもっとも低下する。しかも、応力の低下帯は、その切片上の裂カをこえて移行する。各頂点付近の主として内側に、応力のもっとも高い部分がみられる。 σ_3 の方向に近い切片の延

長部には、応力がいく分高い部分がのびている。この高まりは、隣り合った頂点の間で彎曲しながら、隣りの頂部に内側から接近してゆく。

5.2 花綵型裂カ (第6図参照)

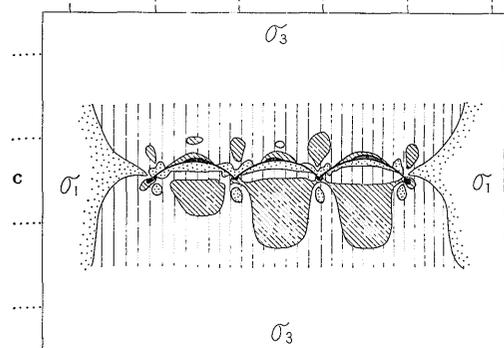
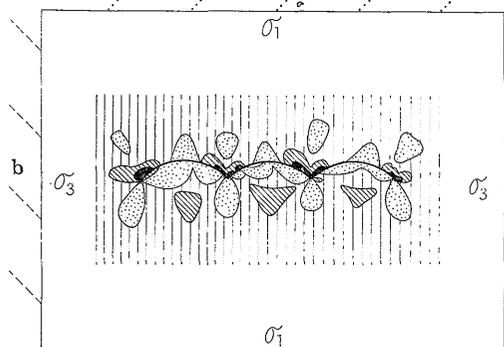
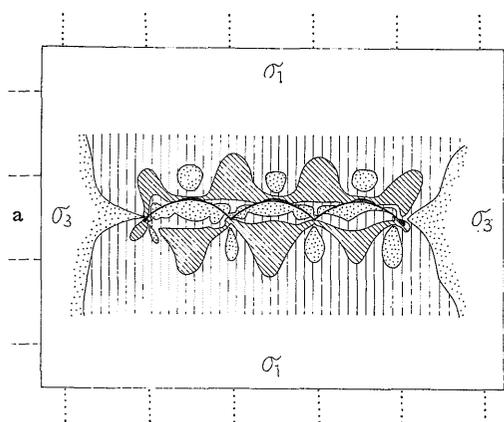
最大圧縮応力軸(σ_3)の方向にそって裂カがのびる場合



a—裂カ的一般走向と平行に圧縮した場合、 b—裂カ的一般走向と圧縮の方向が45°の角度で交わる場合、 c—裂カ的一般走向と圧縮の方向とが直交する場合

第4図 90°の頂角をもつジグザグ型裂カ

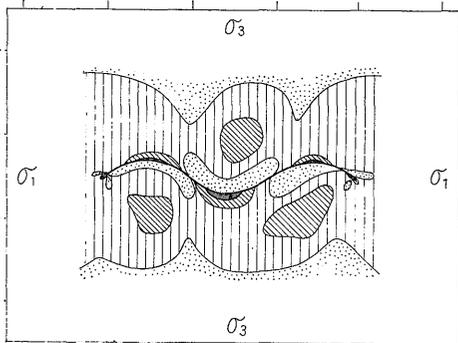
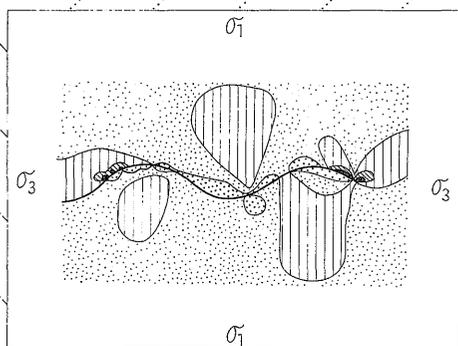
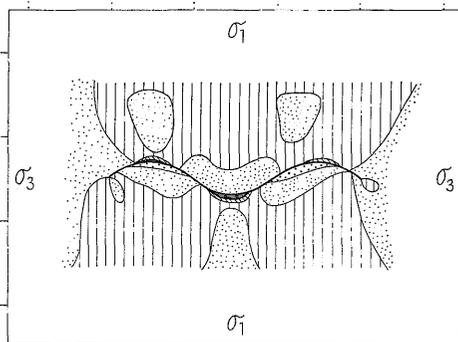
第5図 120°の頂角をもつジグザグ型裂カ
a, b, c は第4図と同じ



第 6 図 花綫型裂カ, a, b, c は第 4 図と同じ

には、第 6 図—a に示したような応力分布が得られる。花綫状裂カの両翼、すなわち、それぞれの弧の凸面側の翼と凹面側の翼とは、まったく異なる応力配置が生ずる。

その凸面側の翼部には、それぞれの弧の中央部付近に、応力の最大集中部が現われる。裂カから遠ざかるに



第 7 図 波形裂カ, a, b, c は第 4 図と同じ

つれて、この極大部にかわって、円形の剪断応力の極小部が現われる。上にあげた最大集中部の間をつないで応力の値はいく分小さいが幅の広い別の応力集中部が存在する。

裂カの凹面側の翼には、上記の最大応力集中部と向いあわせに、裂カと直接して応力の最小部が現われる。しかし、断層から離れるにつれて、応力が高まり、弧の交

点を結んで幅広い応力集中帯が生ずる。

裂カが最大圧縮応力軸に対して 45° の方向にのびる場合には、裂カの凸面側の弧の交点に直接する部分だけに、応力の著しく高まる部分が現われる。裂カから遠ざかるにつれて、これらの最大応力集中部にかわって局所的な極小部が現われる。

裂カの凹面側では、その全面にわたり(弧の交点付近でも)、応力が著しく低下する。応力の高い部分は、裂カからずっと離れたそれぞれの弧の中央部に向かいあった部分に分布する。

その一般走向が最大圧縮応力軸と直交する裂カが応力場に与える影響は、最大圧縮の方向と平行する裂カが及ぼす影響と本質的なちがいはない(第7図一c)。

5.3 波型裂カ(第7図参照)

裂カ的一般走向と最大圧縮の方向とが一致している場合には、裂カが最も彎曲している部分(すなわち頂点)の凸面側に、応力の最大集中がみられる。そこから離れるにつれて、いく分応力の低い領域に移りかわる。裂カの凹面側の同じ部分に裂カと直接して、応力の最も低いところがみられる。そこから遠ざかるにつれて、応力のいく分強い部分が現われる(第7図一a)。

裂カの走向が最大圧縮の方向と斜交する場合には、裂カにそって応力の低下部がのびる(第7図一b)。そして、裂カの両端部だけに、応力の著しい集中が起きる。しかしながら、波形の裂カの凹面に向いあって、そこからずっと離れたところに、裂カの走向と直角に応力のかなり高い地帯がのびている。

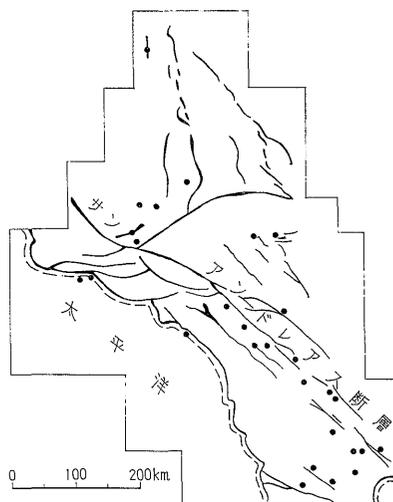
波型裂カの走向に直交して圧力を加えると、第7図一aと同様の応力配置(裂カに直接した部分に)が得られる(第7図一c)。正弦曲線の彎曲の符号の変換点を通じて、裂カの両側にそれと直交する方向に、応力の微弱な低下帯が追跡される。

6. 実験結果についての考察

さきにみたようなモデル実験から、既存の断層によって、応力場に著しい変化が起こりうるということがわかった。すなわち、ある部分では応力の低下が起こり、別の部分には最大剪断応力の著しい集中が起こる。このような影響は、裂カの形態や外力に対する裂カの方によって、ちがった現われ方をする。主応力の作用面に平行な裂カの部分は、ほとんど無視しうる程度の微弱な影響しか与えない。

裂カの末端部付近には、著しい応力集中がみられる。これは、以前から知られていた一般法則と一致する。

まったく新しい事実として、裂カから離れたところに

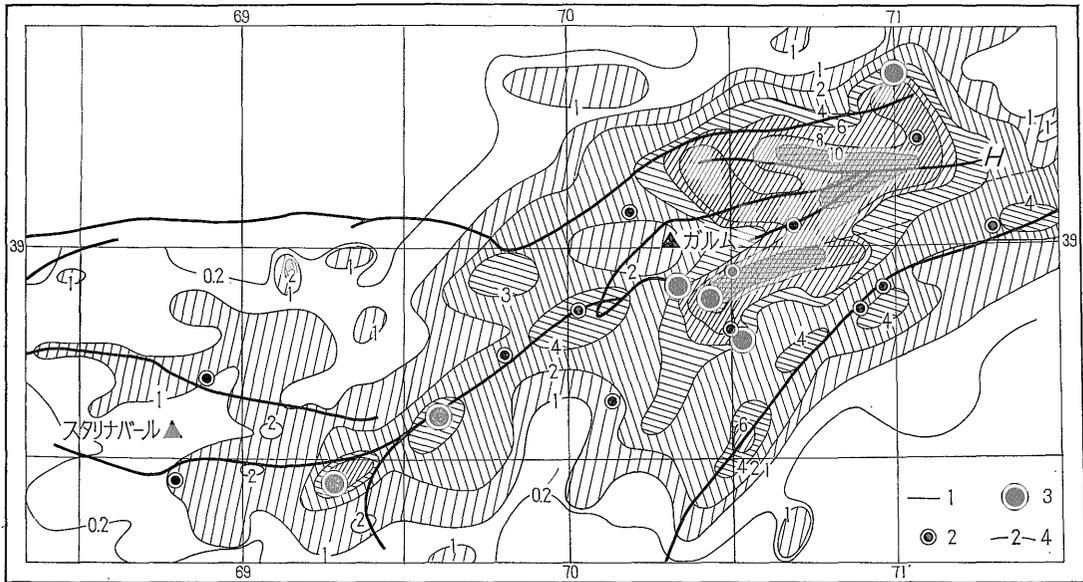


第8図 カリフォルニア南部で1912から1963年の間に発生した magnitude 6 以上 (10^{15} ジュール以上のエネルギーをもつ)の地震の震央と断層線 (Allen, Amand, Richter and Nordquist, 1965)

も、多くの場合、剪断応力の高い部分が分布するということである(第4図一a・c, 第5—8図参照)。さらに、裂カの末端部付近とか、裂カが急に彎曲するところや、裂カの頂部を結ぶ裂カからかなり離れたベルトにそって応力が集中している。

このような場所では、高い変形速度が期待され、ここでは、当然多数の節理や新しい断層が発生するのである。したがって、ここでは、新しい応力場の作用時に(すなわち、古い断層の発生後)、上昇してきた溶液から熱水鉱体が生ずる可能性がある。周和のように、鉱石が主要な大裂カの中だけでなく、そこからわきにそれた部分にも濃集しているような鉱床も少なくない。この種の鉱床の一部については、上記の応力集中の特性から説明できよう。

断層の末端部やその他の特定の部分、さらに大断層から離れたところにも応力集中が起きることから、古い大断層の末端付近やその側面に比較的強い地震が時折発生する理由が理解できる(第8図)。このような強い地震の震央は、ふつう、弱い地震の震央の密集地域周辺に分布する(第9図)。これは、長期間にわたって、既存の大断層面の微小な凹凸によって発生する局所的な応力集中部に、多数の小断層が新たに発生すると考えることによって説明できる。おそらく、多数の弱小地震の密集部は、発達を続ける古い大断層の主要な接合部を示すものであろう。したがって、このような断層の翼部は、強いショックを受けなくても、地表や坑内で測地学的方法で記録できるような著しい相対転位を蒙る可能性がある。



第9図 ガルム・ドシャンベ地域における地震活動図 (1955-1957年)。1—断層, 2— 10^{12} ジュールのエネルギーをもつ地震の震央, 3— 10^{13} ジュールのエネルギーをもつ地震の震央, 4—等地震活動線 (10^{10} ジュールのエネルギーをもつ地震の $1,000 \text{ km}^2$ あたり年間発生回数) (Ю. В. Ризниченко, И. Л. Нерсесов, 1960 による)

主要な断層面の末端付近やそこからわきにはずれた特定の部分といった既存の大断層の特殊な部分に存在するもっと幅の広い応力集中部には、別の条件が存在する。ここでは、まだ破壊を受けたことのない固い岩石の中に新しい断層が発生する。そのため、ここから大量の弾性変形のポテンシャルエネルギーが放出されて、時折強力な地震が発生する。

このように、上記の実験から、将来の建設予定地の地震危険度を評価するに当って、断層線ぞいだけでなく、その延長部や断層からわきにはずれた特定の地域も危険性があると考えなければならないことがわかる。古い大断層の形態によって、その周辺の個々の部分は異なる危険度をもつと考えられる。

上に述べた実際的な結論は、既存の方法によって主要な外力の作用方向を知ることができる地域では、もっとも有効であろう。

ここでは、これまでわかっている多数の型の断層のうちのごく一部について、それが応力場に及ぼす影響を検討したにすぎない。しかし、ここで得られた結果は、既存断層が他の型の応力場に与える影響についても研究を行なう必要のあることを示している。

7. まとめ

本論では水平圧縮によって生ずる応力場に、既存の断層が及ぼす影響について実験的考察を試みた。

1) まず、水平圧縮によって生じたと考えられる水平ズリ断層や地震の例を記述し、これらの断層を、ジグザグ型・花綵型・波型の3つに類型区分を行なった。

2) アセチルセルロースをベンジルアルコールにとかして作った弾性モデルに、上記の3つのタイプの切れ目を入れ、裂カの一般走向に対して、平行・直交および 45° の角度で斜交する方向から圧力を加え、それぞれの裂力が、応力場に与える影響を調べた。

3) 裂力のタイプや外力の方向によって、それぞれ特徴的な応力の集中と解放のパターンが得られたが、3者に共通していえることは次のとおりである。

a) 主応力の作用面に平行な裂力は、応力場にほとんど影響を与えない。

b) 裂力の末端部や裂力の強い彎曲部のほか、裂力の屈曲部を結ぶベルトにそって裂力からかなり遠いところにも応力の集中が起きる。

c) このような応力の集中部には、新しい断層や節理あるいは地震などの発生が予想される。したがって、このような見地から既存の大断層とその周辺の震源分布との関連を2-3の例について検討した。

(昭和44年7月稿)

文 献

БАЛАКИНА Л. М. (1959) : О распределении напряжений, действующих в очагах

- землетрясений северо-западной части Тихого океана. Изв. АН СССР, сер. геофиз. no. 11.
- БЕРЗИН Н. А., КЛИТИН К. А (1961) : Строительство зоны Главного разлома Восточного Саяна. Геология и Геофизика. no. 7.
- БУКРИНСКИЙ В. А., МИХАЙЛОВА А. В. (1963) : Изучение связи трещиноватости с тектокическими структурами горных пород. Мин. Высш. Образ. МИРГЭМ. М.
- БУКРИНСКИЙ В. А., ПУГАЧОВ М. И. (1966) : Прогнозирование тектонических разрывов и зон интенсивной трещиноватости. Вопросы геометризации физтехн. и горно-геол. показателей местор. для моделирования на ЦВМ Моск. Горн. Инст.
- БУРТМАН В. С. (1964) : Таласо-Ферганский сдвиг (Тянь-Шань). Тр. ГИН, вып. 104, 14, Изд-во "Наука".
- ВВЕДЕНСКАЯ А. В., РУПРЕХТОВА Л. (1961) : Особенности напряженного состояния в очагах землетрясений у изгиба Карпатской дуги. Изв. АН СССР, сер. геофиз., no. 7.
- ВИРОВЛЯНСКИЙ Г. М. (1960) : Выявление плана и характера деформаций при анализе структуры рудных полей. Сб. "Проблемы тектонофизики", Гостеолтехиздат.
- ВОЙТОВИЧ В. С. (1964) : Новейшие горизонтальные движения по Джунгарскому разлому и их роль в развитии рельефа. Изв. АН СССР, сер. геол. no. 5.
- ГЗОВСКИЙ М. В. (1953) : Волнистость простирания крупных тектонических разрывов. Изв. АН СССР, сер. геофиз., no. 2.
- ГЗОВСКИЙ М. В. (1954) : Тектонические поля напряжений и их моделирование. Изв. АН СССР, серия геофиз., no. 6, no. 7.
- ГЗОВСКИЙ М. В. (1958) : Метод моделирования в тектонофизике. Сов. геология, no. 4.
- ГЗОВСКИЙ М. В. (1960) : Физическая теория образования тектонических разрывов. Сб. "Проблемы тектонофизики". Гостеолтехиздат.
- ГЗОВСКИЙ М. В. (1963) : Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Изд-во АН СССР, части I и II-1959, части III и IV.
- ГЗОВСКИЙ М. В. (1964) : Перспективы тектонофизики. Доклады советских геологов XXII сессии Междун. Геологич. Конгрессу. Изд-во "Наука".
- ЛАЗАРЕВА А. П., МИШАРИНА Л. А. (1965) : О напряжениях в очагах землетрясений Арктического сейсмического пояса. Изд. АН СССР, Физика Земли. no. 2.
- ЛУКЪЯНОВ А. В. (1964) : Горизонтальные движения по разломам при современных катастрофических землетрясениях. В кн. : Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность. М., Изд-во "Наука".
- МИЛЕЕВ В. С. (1967) : Условия формирования складчатой структуры протерозойского Майтубинского антиклинория. Вестник Моск. Унив. no. 6.
- МИШАРИНА Л. А. (1964) : О напряжениях в очагах землетрясений Атлантического океана. Изв. АН СССР, сер. геофиз., no. 10.
- МИШАРИНА Л. А. (1964) : К вопросу о напряжениях в очагах землетрясений Прибайкалья и Монголии. Тр. Ин-та земной коры. СО АН СССР, вып. 18.
- ОСОКИНА Д. Н. (1960) : Пластичные оптически активные материалы для моделирования тектонических процессов. Сб. "Проблемы тектонофизики". Гостеолтехиздат.
- ОСОКИНА Д. Н. (1963) : Пластичные и упр-

- угие низкомолекулярные оптически активные материалы. Изд-во АН СССР.
- ПАРФЕНОВ В. Д., КОНДРАТЬЕВ В. А. (1966) : Особенности формирования сдвиговых нарушений Карамазара. Геотектоника, no. 1.
- ПУГАЧОВ М. И. (1967) : Исследование связи трещиноватости горных пород с тектонической структурой. Тезисы докл. Всесоюзн. межвузовской конфер. по физике горных пород. Москов. горный институт.
- РАСЦВЕТАЕВ Л. М. (1966) : Разрывы Копет-Дага и их связь со складчатой структурой. Геотектоника, no. 1.
- РИЗНИЧЕНКО Ю. В., НЕРЕСОВ И. Д. (1960) : К разработке основ количественного метода сейсмического районирования. Бюллетень Совета по сейсмологии no. 8, Изд-во АН СССР, М.
- РУЖЕНЦЕВ С. В. (1963) : Сдвиги Юго-Восточного Памира. В кн. : Разломы и горизонтальные движения земной коры. Труды ГИН, вып. 80, М., Изд-во АН СССР.
- ТРИФОНОВ В. Г. (1964) : Ассоциации верхнепалеозойских структур Северного Прибалхашья. В кн. : Складчатые области Евразии. М., Изд-во "Наука".
- ТУРЧАНИНОВ И. А., МАРКОВ Г. А. (1966) : Влияние новейшей тектоники на напряженное состояние пород в Хибинских апатитовых рудниках. Изв. АН СССР, сер. физики Земли, no. 8.
- ФИЛАТОВ Е. И. (1968) : Пример реконструкции плана деформаций отдельных этапов формирования структуры рудного поля. Изв. Высш. уч. завед. Геология и разведка. no. 6.
- ALBERS, J. P. (1964) : Jurassic "oroclinal" folding and related strikeslip faulting in the Western United States cordillera. *Spec. Paper 76, Geol. Soc. Am.*, p. 4.
- ALLEN, C. R. (1964) : San Andreas fault zone in San Gorgonio Pass, Southern California. *Bull. Geol. Soc. Am.* vol. 68, p. 315-350.
- ALLEN, C. R., AMAND, P. ST., RICHTER, C. F. and NORDQUIST, J. M. (1965) : Relationship seismicity and geologic structure in the Southern California region. *Bull. Seismol. Soc. Am.* vol. 55, p. 753-797.
- GZOVSKY, M. V. (1959) : Method of modelling in tectonophysics. *VGGI. Ass. de Seism. et de Phys. de l'inter de la Terre. Serie A. Travaux scientifiques*, Fas. 20, Toulouse.
- GZOVSKY, M. V. (1966) : Scheme of stress state of Earth's processes connected with upper mantle of USSR territory. *Ann. Acad. Sci. Fennicae*, A III, p. 495-498.
- GZOVSKY, M. V. (1967) : A state of stress in the Earth's crust and the energy of tectonic processes associated with the upper mantle. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, vol. 14, p. 331-339.
- HAST, N. (1958) : The measurement of rock pressure in mines. *Arbs. Sver. Geol. Unders*, vol. 52.
- KANEKO, S. (1964) : Tectonic relief in South Kwanto, Japan, *Trans. Roy. Soc. New Zealand*, vol. 2, p. 187-204.
- KANEKO, S. (1966) : Transcurrent displacement along the Median Line, Southwestern Japan, *New Zealand Jour. Geol. Geophys.* vol. 9, p. 45-59.
- KANEKO, S. (1969) : Right-lateral faulting in Miura peninsula, south of Tokyo, Japan, *Jour. Geol. Soc. Japan*, vol. 75, p. 199-208.
- 片田正人 他 5名 (1960) : 20万分の1地質図幅「飯田」, 地質調査所
- 片田正人・磯見博 (1962) : 5万分の1地質図幅「伊那」および同説明書, 地質調査所
- 河田清雄・磯見博 (1962) : 岐阜県高山・稲谷間の濃飛流紋岩の基盤について, 地質学雑誌, vol. 68, p. 404
- 木曾谷第四紀研究グループ (1964) : 岐阜県坂下町における阿寺断層による段丘面の転移, 第四紀研究, vol. 3, p. 153~166
- KUNO, H. (1936) : On the displacement of the Tanna fault since the Pleistocene, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 34, p. 621-631.
- 松田時彦 (1966) : 跡津川断層の横ずれ変位, 地震

- 研究所彙報, vol. 45, p. 537~550
- 松田時彦 (1967) : 地震の地質学, 地震, vol. 20, Spec. Issue, p. 230~235
- NAKAMURA, K. & TSUNEISHI, Y. (1967): Ground cracks at Matsushiro probably of underlying strike-slip fault origin, II—The Matsushiro earthquake fault, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 45, p. 417-471.
- 仁科良夫 (1968) : 阿寺断層の転移, 信濃教育, 4月号, p. 75~87
- STEINBRUGGE, K. V., ZAHER, E. G., TOCHER, D., WHITTEN, C. A. & CLAIRE, C. N. (1960): Creep on the San Andreas fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 3, p. 389-415.
- 杉村 新 (1963) : 柳が瀬断層, 第四紀研究, vol. 2, p. 220~231
- SUGIMURA, A. & MATSUDA, T. (1965): Atera fault and its displacement vectors, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 76, p. 509-522.
- 山田直利・村山正郎 (1955) : 5万分の1地質図幅「妻籠」および同説明書, 地質調査所

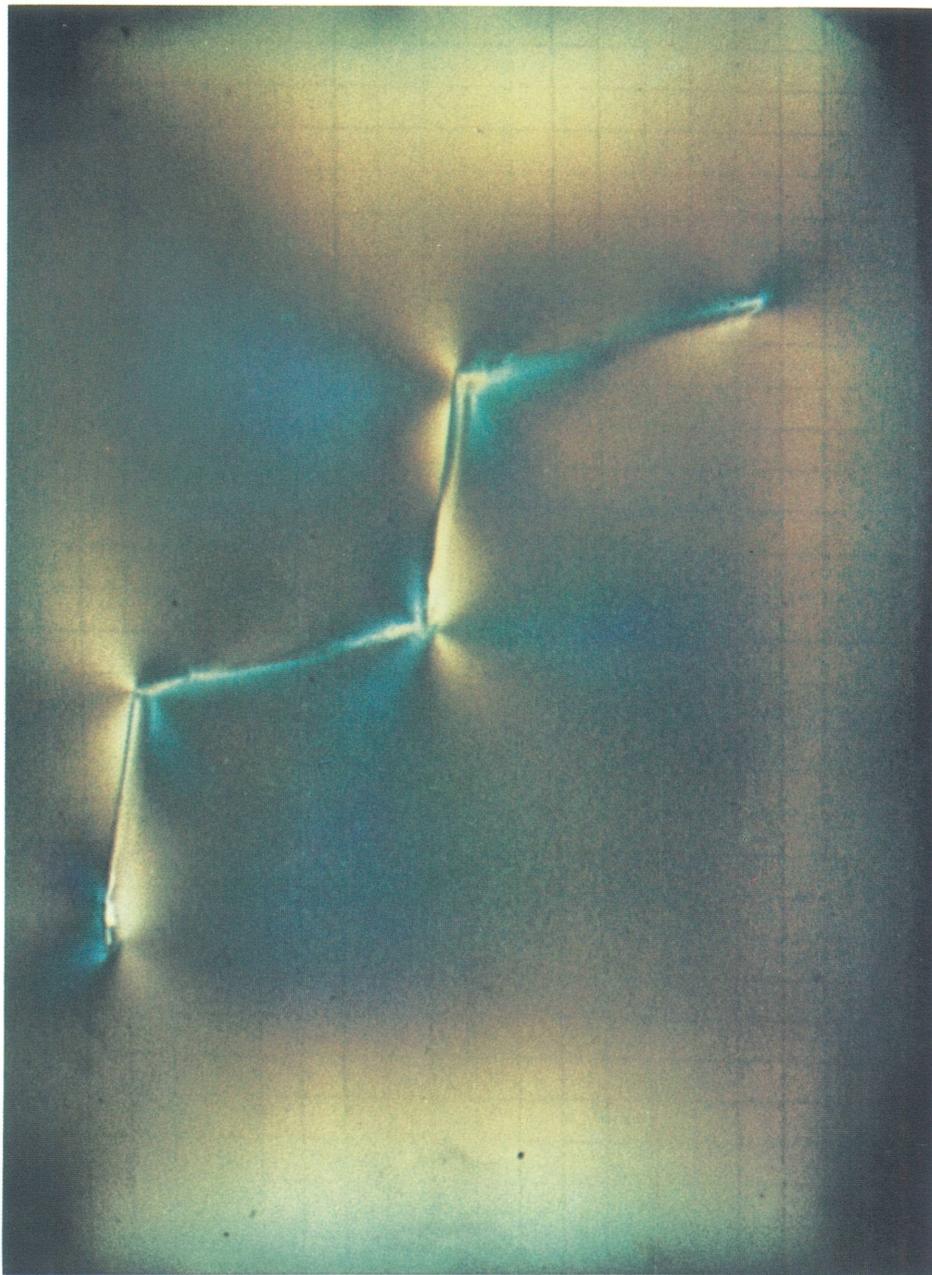


写真1 干渉色を示すモデルの1例