



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光弾性材料による積雪沈降力の模型実験 : 水平桁附近にある積雪内の主応力線について
Author(s)	大浦, 浩文; OURA, Hirobumi
Citation	低温科学. 物理篇, 15, 185-191
Issue Date	1956-11-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17921">https://hdl.handle.net/2115/17921</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	15_p185-191.pdf



## 光弾性材料による積雪沈降力の模型実験

水平桁附近にある積雪内の主応力線について\*

大 浦 浩 文

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和31年8月受理)

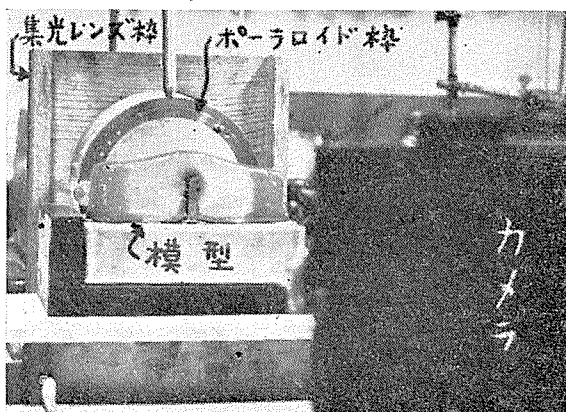
### I. ま え が き

積雪中に埋れた水平桁にかかる積雪沈降力の機構を明らかにするためには、水平桁のまわりにある積雪の各点における応力の二次曲面を知る必要がある。しかし、実際に積雪中の応力を測ることは不可能であるから、ここでは水平桁の小さな模型を作り、積雪の代りに光弾性材料を使つて、光弾性実験法によつて得られた結果から類推することにした。材料としてはゼラチンを用いたが、積雪のような力学的性質、ことに可塑的な体積圧縮性を持たないので、模型としては自然積雪の状態をそのまま小型にしもたのではなく、沈降力の機構のうちある特定の部分を強調した状態で実験したことになる。こうして水平桁附近のゼラチンが時間と共にどのように変形するか、主応力線がどんなに変形するか、応力の大きさはどうなるかを観察した。しかし、等色線の縞数が少なかつたので、応力の大きさの空間的分布を知るまでには至らなかつた。

### II. 測定方法及び測定結果

1. 装 置 直交させた2枚のポーラロイドの間にゼラチンの模型を置いて、等色線と等傾線とが重なつた縞模様を写真に撮るようになつている。

光源は自動車のランプを白色光のまま用いた。集光レンズによつて光源の像を写真レンズの上に結ばせる様に

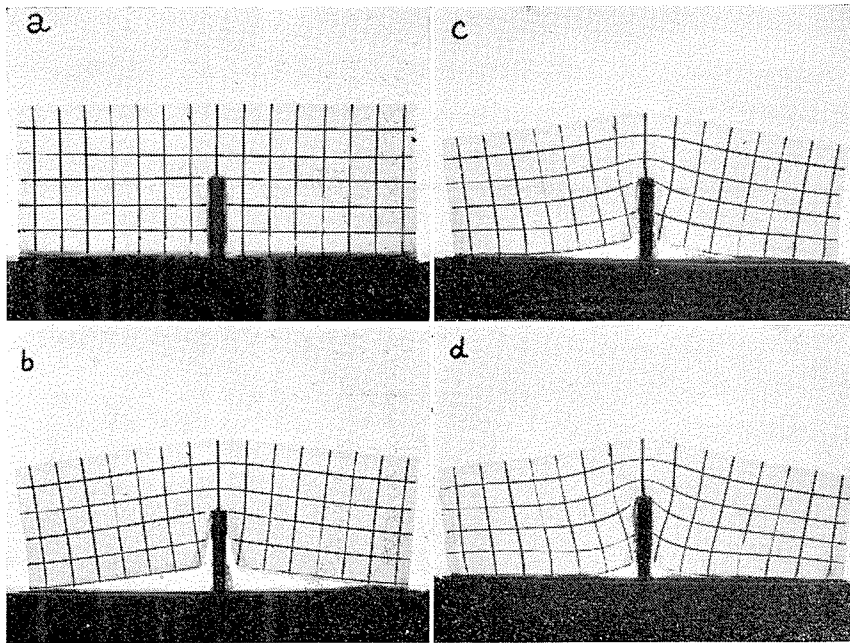


第1図 装置をカメラ側からみたところ。光源の部分はレンズ枠のかけになつてみえない

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第360号

し、集光レンズと写真レンズとの間に上述の装置、すなわち2枚のポーラロイドと模型とを配置した。集光レンズに接して置かれた第1のポーラロイド(偏光子)の直径は11 cmで模型の重要な部分を覆うことができる(第1図参照)。このポーラロイドに接して模型が置かれ、第2のポーラロイド(検光子)は直径5 cmで写真レンズに接しておかれた。ポーラロイドはその面内で自由に廻転させることができる。

2. 模型 第1図および第2図からわかるように、幅3 cm、長さ15 cmの水平な鉄板上に厚さ3 mm、高さ3 cm、奥行3 cmの鉛直な鉄板を取りつけて水平桁の模型とし、その上にゼラチンの板が積雪の模型として乗るようになっている。ゼラチンの模型を作るには、縦6 cm、横15 cm、深さ4 cmの容器を作り、その長い方の側壁に上述の水平桁の模型を横倒しにしてくっつけ、融したゼラチン(水100 ccに対して市販のゼラチン20 gを溶融したもの)を流し込んで固め、厚さ約2.5 cmの板にした。ゼラチンの表面には各部分の位置をはつきりさせるために、水平桁の上面の中心を原点として水平に $x$ 軸、鉛直に $y$ 軸をとり、1 cmの間隔で座標軸に平行な



第2図 ゼラチンの模型

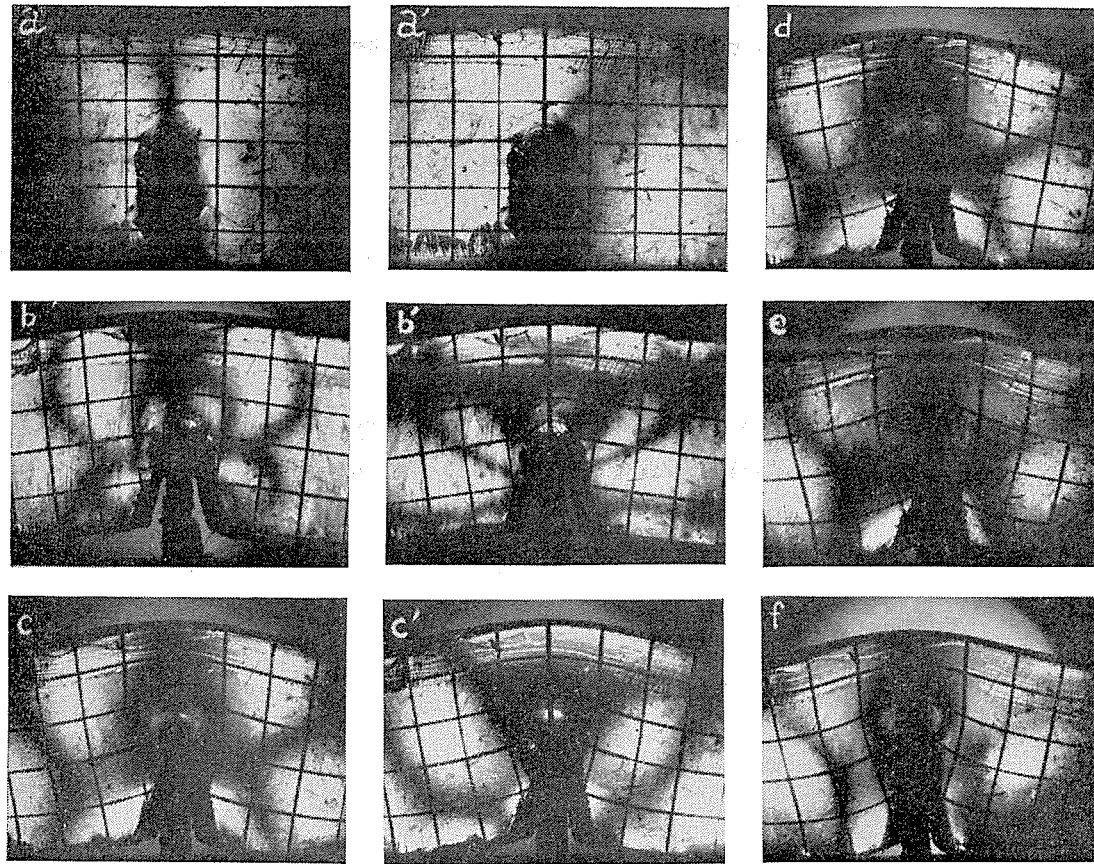
- a. 模型 No. 1: ゼラチンを型から出して縦横に1 cm 間隔の線を記入し、直立させたもの(ゼラチンの型はこれをうしろに倒した状態で固めるようになっている)。
- b. 模型 No. 2: No. 1の最下層、厚さ1 cmの部分および、水平桁に接する左右の三角形部分を切り取ったもの。
- c. 模型 No. 3: No. 2を水蒸気で飽和した30°Cの恒温槽に1時間入れておいたもの。
- d. 模型 No. 6: No. 3を上述の恒温槽に1時間入れておいたものがNo. 4(写真は省略)で、更に1時間入れておいたものがNo. 5(写真は省略)で、これを20°Cに14時間保つておいたものがこのNo. 6である。

直線を烏口で書き入れた。こうして横に倒された状態で作りあげた模型を起して正しい状態にしたのが模型 No. 1 で第 2 図 (a) に示してある。この状態では重力の方向とゼラチン板の面とは平行である。ゼラチンの各部は重力のために変型 (主として弾性的圧縮) を受け、ゼラチン板は全体として沈降しようとし、水平桁に力を及ぼすことになる。このゼラチン板の  $y = -2 \text{ cm}$  の水平面に切れ目を入れ、又水平桁の上面の両端と点  $(-1 \text{ cm}, -2 \text{ cm})$  および点  $(1 \text{ cm}, -2 \text{ cm})$  とを結ぶ線に切れ目を入れて、その下の部分を取り去つたのが模型 No. 2 で、第 2 図 (b) に示してある。これは積雪の下層が上層の重みで可塑的な圧縮を受け、そのために上層が沈降して水平桁に荷重を与えている状態を強調し、下層の縦粘度を零としてしまつた場合をあらわしている。これを水蒸気で飽和した  $30^\circ\text{C}$  の恒温槽に 1 時間入れておいたものが模型 No. 3 で、第 2 図 (c) に示してある。更に同じ恒温槽に 1 時間入れておいたものが模型 No. 4 (写真は省略) であり、No. 4 を更に同じ恒温槽に 1 時間入れておいたものが模型 No. 5 (写真は省略) である。これを  $-18^\circ \sim -20^\circ\text{C}$  に 14 時間おいておいたものが模型 No. 6 で第 2 図 (d) に示してある。(b) (c) (d) と塑性変型がすすんでいつた様子を知ることができる。尚変形して地面 (鉄板) に接したゼラチンは、地面と密着し、その間にすべりは起らなかつた。

**3. 光弾性写真** こうして得られた 6 つの模型について、ゼラチン内部の応力状態を調べるために、光弾性写真を撮つた。模型をはさむ 2 枚のポーラロイドは常に直交させた状態で使用したのであるが、その第 1 のポーラロイドが通す偏光の振動面と水平面との挟角を  $\theta$  とすれば、 $\theta$  を  $0^\circ$  から  $80^\circ$  まで  $10^\circ$  づつ増やして、1 つの模型について 9 枚の写真を得た。第 3 図には 6 つの模型について  $\theta = 0^\circ$  の場合の写真のほかにも模型 No. 1 については  $\theta = 60^\circ$ 、No. 2、No. 3 については  $\theta = 40^\circ$  の場合の写真をつけ加えて示してある。

(a) 等色線 等色線は写真の上では黒い縞になつて等傾線との区別がつかないが、光源が白色光なので肉眼で直接みると赤や青に色づいてすぐ見分けられる。又 1 つの模型については  $\theta$  を  $10^\circ$  づつ変えて振つた写真があるので、これを眺めれば等傾線については縞の形がづぎづぎに変つていくのに、等色線は不変であることから見分けられる。第 3 図の写真に添えた説明図にある線が等色線である。模型 No. 2 では等色線の輪が 2 本見られるが、No. 3 では小さな輪が 1 本になつている。これは  $30^\circ\text{C}$  に 1 時間保たれているうちに、重力のためにゼラチンが塑性変形して、No. 2 ではゼラチンの重量のかなりの部分が水平桁によつて支えられていたのに、だんだん地面で支えられる重量がふえ、水平桁にかかる荷重が減つていつたためである。当然水平桁附近のゼラチンに働く応力も減つていき、等色線の輪はちぢまり、先ず内側の小さな輪が消え、外側の輪だけが小さくなつて残つたわけで、それが第 3 図 (c) である。第 3 図 (e) ではこの残つた輪も更に小さくなつているのがわかる。その後、温度を下げて約  $20^\circ\text{C}$  に約 14 時間おいたところ、第 3 図 (f) のように等色線の輪は少し大きくなつた。

(b) 等傾線および主応力線 等色線以外の縞が等傾線であるが、この縞は 2 枚のポーラロイドが通す偏光の振動面に平行な主応力の方向を持つ部分を連ねた線である。1 つの型模につ



第3図 直交した2枚のポーラロイドの間に模型を置いて撮った写真(等色線と等傾線)。

- a. 模型 No. 1.  $\theta=0^\circ$       a'. 模型 No. 1.  $\theta=60^\circ$       d. 模型 No. 4.  $\theta=0^\circ$   
 b. 模型 No. 2.  $\theta=0^\circ$       b'. 模型 No. 2.  $\theta=40^\circ$       e. 模型 No. 5.  $\theta=0^\circ$   
 c. 模型 No. 3.  $\theta=0^\circ$       c'. 模型 No. 3.  $\theta=40^\circ$       f. 模型 No. 6.  $\theta=0^\circ$

但し、 $\theta$ は偏光ポーラロイドの主面と水平面との挟角。

a:

ホーロー  
の  
主面  
の  
方向

a'

d

b

等色線

b'

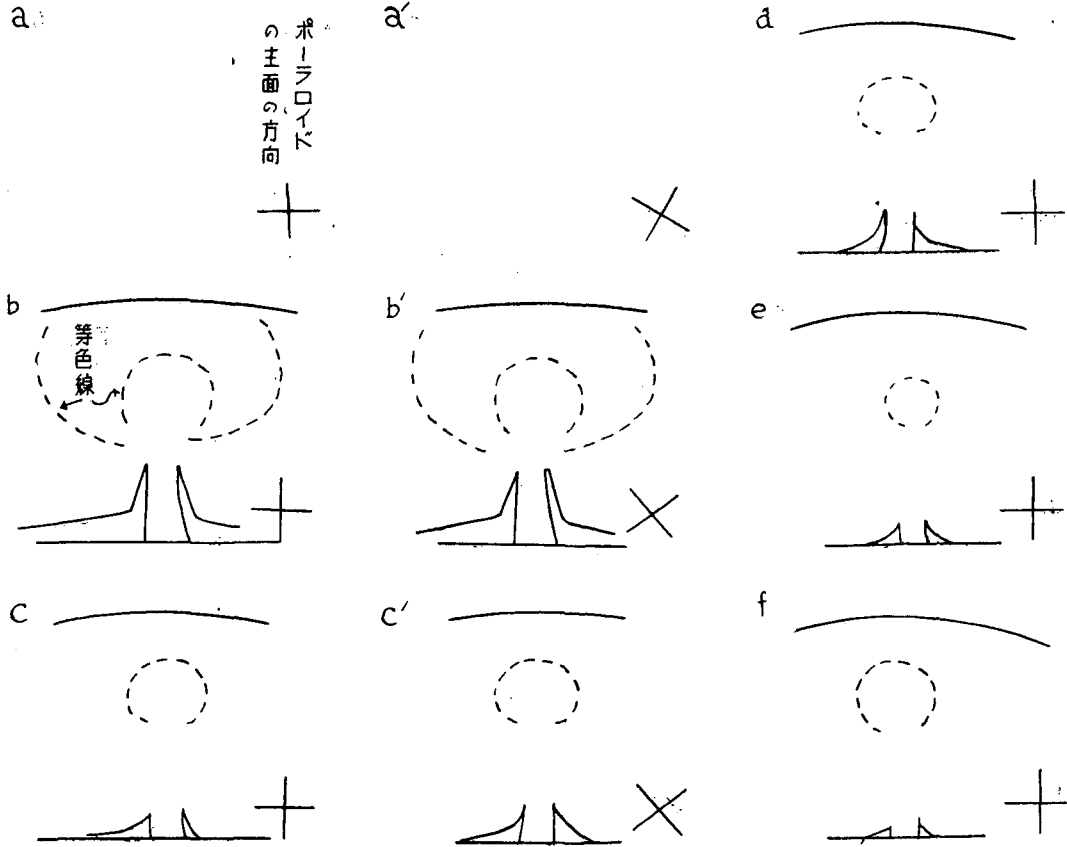
e

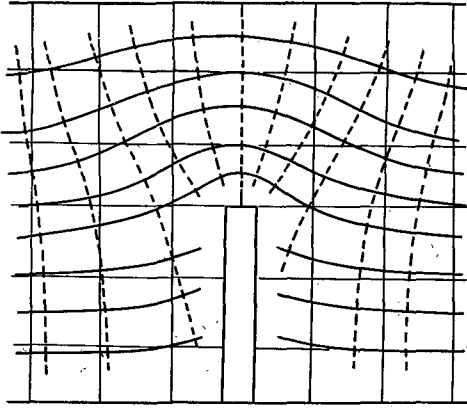
c

c'

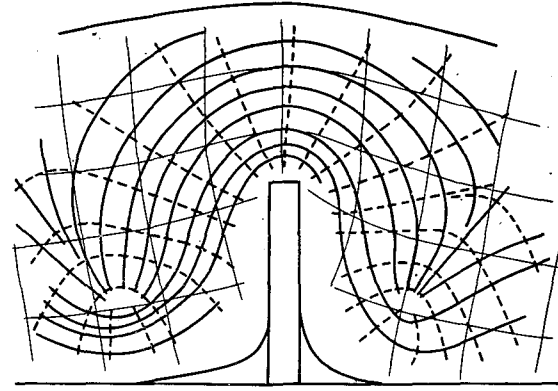
f

写真には等色線と等傾線とが重なって写っているので、等色線だけを点線で区別して示した。

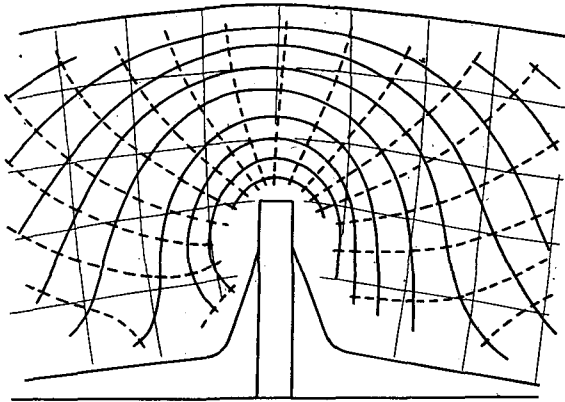




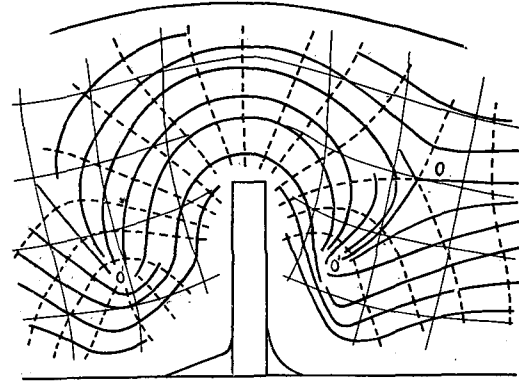
第4図 模型 No. 1 の主応力線



第6図 模型 No. 3 の主応力線



第5図 模型 No. 2 の主応力線



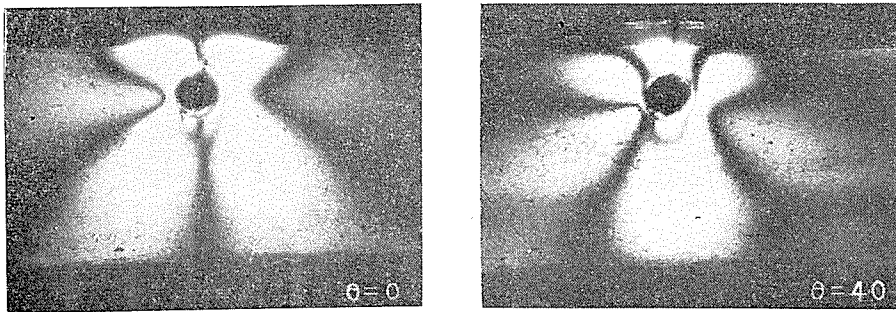
第7図 模型 No. 5 の主応力線

いて $\theta$ を $10^\circ$ づつ変えて撮つた9枚の写真があるから、これを使えば主応力線を画くことができる。こうして得られたものが第4図、第5図、第6図、第7図である。図の実線は張力線で、点線は圧力線である。但し、ここに張力とか圧力とか云っているのは各点において、その点の静水圧(2つの主応力の平均値)を引き去つたあとの応力について云っているのである。

第4図は模型 No. 1 から得られたもので、自重によるゼラチンの沈降(この変形は主として弾性的なものであろう)のために水平桁に及ぼす圧力の状態を示している。これは大雪が降つて一度に水平桁が積雪に埋つたときの初期の状態をあらわしている。第5図は模型 No. 2 から得られたので、下層の積雪の縦粘度が小さく、圧縮速度、したがつて沈降速度が速いときをあらわし、第6図、第7図は模型 No. 3, No. 5 から得られたもので、下層の積雪の縦粘度がずつと増えて、圧縮の速度が減つて来て、平衡に近づきつつある状態を示している。

第7図に示したO点、O'点は零点であり、この点では静水圧だけが働いている。塑性変形がすすむにつれてこれ等の点は移動し、殊にO点は図面の外から内側へ向つて大きく移動している。このO点より外側では水平桁の影響はかなり薄れているから、影響圏を考える場合にこの点を目印にしてもよいかも知れない。

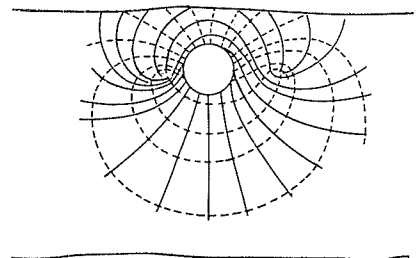
4. その他の結果 写真乾板のガラスで厚さ2 cm, 幅7 cm, 深さ5 cmの容器を作り、これにゼラチンを融し込み、この中に長さ2 cm, 直径4.5 mmの真鍮の丸棒を、棒の軸が容器の厚さの方向と平行になるように細い線で吊り下げたまま固めた。この棒を80 gで引張り上げた



第8図 ガラス容器中で凝固させたゼラチンの中に埋め込まれていた真鍮丸棒を真上に引き上げているところ。

ときの等傾線を第8図の写真に示す。等色線も細い線として丸棒の断面の下及び右上にみられる。第8図の $\theta=0$ の写真と $\theta=40^\circ$ の写真とを見くらべればどれが等色線であるかはわかるであろう。これ等の写真から得られた主応力線を第9図に示す。

丸棒を引張り上げるとき、ガラス壁にくつついているゼラチンは、容器の中央部のゼラチンに対し、丸棒と一緒に引き揚げられるのを妨げるような、画



第9図 第8図に対応する主応力線

面に平行な剪断力を及ぼしている。このことは斜面に立てた棒杭に、積雪の斜面移動圧がかかる場合において、斜面に平行な1つの積雪層を考えると、この層が棒杭からの抵抗とその層の上下の層からの剪断応力を受けていることと似ている。

### III. あとがき

積雪沈降力に於ける水平桁附近の積雪内の主応力線がどんな向きを持つているか、又これが時間と共に積雪の塑性流動に応じてどう変つていくかをゼラチンで作つた模型により、ゼラチンの光弾性的性質を利用して観察した。

ゼラチンの光弾性感度は大変大きく、小型模型の場合でも、外力として重力が働いているだけで、はつきりと等傾線の縞があらわれた。等色線の密度の大きい縞を得るにはもつと大きな模型が必要である。しかし、兎に角この方法で、積雪中の応力状態をある程度推測できた。

最後に、この研究について御指導下さつた吉田順五教授に深く感謝する。

### Résumé

Snow cover which has been accumulated so deep as to cover a horizontal beam held above the ground surface begins to press it down with a large force as soon as the snow begins to subside. The snow layer located above the level of the beam comes to hang over the beam and this is the cause of the large force which is called "settling force of snow". In order to study the elastic stress developed in the snow surrounding the beam the author carried out a model experiment by the method of photo-elasticity.

A gelatine plate was used as the material of model since the snow has flowing property as well as elastic. The gelatine plate was 15 cm long, 5 cm wide and 2.5 cm thick and it was notched 2 cm deep at the centre of one of its long sides. It was stood upright on an iron plate in such a way that a horizontal beam attached to the iron plate 3 cm high above it fitted into the notch of the gelatine plate. The bottom edge of the gelatine plate rested on the iron plate at the parts distant from the notch and these parts increased with time as the gelatine plate subsided plastically. The stresses developed in the gelatine plate were made visible by placing it between two polaroid plates.

The gelatine plate could not be much stressed since it was stressed only by its own weight. But the isoclinic lines and isochromatic lines of stress appeared clearly around the horizontal beam, which must be due to the extremely high stress-optical coefficient of gelatine. From the hourly photographs of the isoclinic lines, the lines of principal stress were determined and their variation with the plastic deformation of the model were studied. It was found that as time went on the negative isotropic point approached to the beam while in the region distant from the beam the direction of principal stress came to be nearly parallel and perpendicular to the horizontal.