



Title	斜面積雪の挙動の研究 XIV : 積雪の塑性ポアソン比 2
Author(s)	大泉, 三津夫; OHIZUMI, Mitsuo; 藤岡, 敏夫 他
Citation	低温科学. 物理篇, 42, 89-100
Issue Date	1984-03-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18485">https://hdl.handle.net/2115/18485</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_p89-100.pdf



## 斜面積雪の挙動の研究 XIV\*

—積雪の塑性ポアソン比2—

大泉三津夫

(北海道大学大学院 理学研究科)

藤岡敏夫

(低温科学研究所)

(昭和58年10月受理)

### I. はしがき

各等高線が平行な直線と見なされるような斜面に積もった積雪は、その等高線に垂直な面内(流動面と名づける)で、平面歪をおこしつつ流動を行なう。低温科学研究所雪害科学部門の研究者達は、このような2次元流動をおこしている斜面積雪内で、雪の歪速度を実測し、均質歪を仮定して主応力の大きさと方向を求めている<sup>1)</sup>。しかし、このようにして求めた主応力の大きさが必ずしも正しくはないことを、吉田<sup>2)</sup>がすでに指摘し、雪のポアソン比を用いる方法を発表している<sup>3)</sup>。

前論文 XI<sup>3)</sup>で著者等は、雪圧計によって平地積雪内でのポアソン比、および、斜面積雪の流動面に垂直に働く圧力(横圧力)を求め、さらに流動面内での主歪速度の実測値を使って、吉田<sup>4)</sup>が提案した応力-歪速度の関係式から主応力を求めた。その後、雪圧計に改良を加え、雪圧計の傾きが連続的に検出できるようになり、測定値の信頼性を高めることができたと同時に、ポアソン比の値を仮定せずに主応力を決定することも可能になったので、ここに報告する。

### II. ポアソン比及び主応力の大きさの計算方法

前論文 XI<sup>3)</sup>および吉田<sup>4)</sup>が述べているように、積雪の1つの層内では、雪は力学的に等方性であると考えられる。また、主応力の方向は上記雪害科学部門によって測定された主歪速度の方向と一致し、約2週間という歪測定期間では雪を圧縮性ニュートン粘性流体として取扱うことができる。

いま、一様な右下りの斜面上に座標原点をとり、等高線方向に $y$ 軸、水平方向に $x$ 軸、鉛直上向きに $z$ 軸をとる。 $x$ - $x$ 面が雪の流動面となり、対称性から、 $x$ - $x$ 面に垂直な応力 $\sigma_y$ は主応力の1つ $\sigma_2$ に、 $y$ 軸方向の歪 $\epsilon_y$ 、歪速度 $\dot{\epsilon}_y$ は大きさが0で、何れも歪および歪速度の主軸 $\epsilon_2$ 、 $\dot{\epsilon}_2$ となる。他の主応力 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ および主歪速度 $\dot{\epsilon}_1$ 、 $\dot{\epsilon}_3$ は流動面内にある。吉田<sup>4)</sup>は、これらの量とポアソン比 $\nu$ 、粘性係数 $\eta$ の間に

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2599号

$$\dot{\epsilon}_1 = \left\{ \sigma_1 - \nu (\sigma_2 + \sigma_3) \right\} / \left\{ 2\eta (1 + \nu) \right\}, \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}_2 = \left\{ \sigma_2 - \nu (\sigma_3 + \sigma_1) \right\} / \left\{ 2\eta (1 + \nu) \right\}, \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_3 = \left\{ \sigma_3 - \nu (\sigma_1 + \sigma_2) \right\} / \left\{ 2\eta (1 + \nu) \right\}, \quad (3)$$

が成り立つとした。ここで、 $\dot{\epsilon}_1 > \dot{\epsilon}_3$ 、 $\sigma_1 > \sigma_3$  とし、伸びの歪速度、または引っ張り応力を正とする。

### II-1. ポアソン比の算出

前論文 XI で述べたように、斜面積雪の 1 つの層内でポアソン比  $\nu$  を求めることができればもっとも都合がよい。今回の雪圧計は、はしがきで述べたように雪圧計の傾斜角も同時に測定でき、たとえ斜面積雪に回転が生じ、雪圧計が所定の姿勢から傾いても、後述するようにポアソン比の決定が可能である。ただし、この雪圧計は圧力測定器であり、張力は測定できない。それで、前回<sup>3)</sup>と同様、平地積雪で  $\nu$  を求めることにした。

平地積雪では鉛直軸が 1 つの主軸で、他の 2 つの主軸は水平面内にある。この水平面内の 2 つの主軸を第 1、第 2 主軸、鉛直方向の主軸を第 3 主軸とする。水平方向に働く圧力を  $P_h$ 、鉛直方向に働く圧力を  $P_v$  とすれば、

$$\dot{\epsilon}_1 = \dot{\epsilon}_2 = 0, \quad \sigma_1 = \sigma_2 = P_h, \quad \sigma_3 = P_v$$

であり、(1) 式より

$$\nu = \sigma_1 / (\sigma_2 + \sigma_3) = P_h / (P_v + P_h). \quad (4)$$

$P_v$ 、 $P_h$  を測定することにより、 $\nu$  を求めることができる。

### II-2. 斜面積雪での主応力の大きさの決定 (方法 I, 方法 II)

上述したように、いま考えている斜面積雪では等高線方向の主歪速度  $\dot{\epsilon}_2 = 0$  であり、 $\sigma_2$  はその主軸方向が変わらない。(1)~(3) 式において、 $\nu$  として平地積雪で得られた値を用い、 $\dot{\epsilon}_1$  と  $\dot{\epsilon}_3$  は雪の歪速度実測値を使用し、流動面内に雪圧計を挿入して  $\sigma_2$  の値を測定すれば、3 つの未知量  $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\eta$  を決定できる。前回<sup>3)</sup>示したこの求め方を方法 I と呼ぶことにする。

次に、流動面内に法線をもち  $x$  軸と  $\theta$  の角度をなす面の垂直応力  $\sigma_\theta$  と  $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$  の間には、 $\sigma_1$  と  $x$  軸とのなす角度を  $\alpha$  として、

$$\sigma_\theta = \sigma_1 \cos^2(\theta - \alpha) + \sigma_3 \sin^2(\theta - \alpha) \quad (5)$$

の関係がある。いま、 $\sigma_\theta$  が圧力であれば、今回製作した雪圧計によって、 $\sigma_\theta$  の大きさおよび角度  $\theta$  が判る。 $\sigma_1$  と  $x$  軸とがなす角度  $\alpha$  は歪速度の測定から知ることができ、(1)~(3) 式、(5) 式の 4 つの式から 4 つの未知量  $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\nu$ 、 $\eta$  を求めることができる。一般に、雪崩防止柵等の施設がない斜面積雪では、水平面に働く垂直応力は圧力である。したがって、雪圧計の受圧板をほぼ水平にして積雪中に埋め込めば、積雪の回転が大きくない限り、かなり長期間にわたって負の  $\sigma_\theta$  (すなわち圧力) および  $\theta$  を測定することができる。このようにポアソン比  $\nu$  の値を仮定せずに主応力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$  を求めるものを方法 II とする。

### III. 雪圧計

第1図に、今回の測定に使用した雪圧計の断面を示す。直径18cm、厚さ6mm、受圧板の直径9cmで、受圧板が受ける力を3個の小型ロードセルで電氣的に測定するものである。斜線部分は硬質アルミニウムで、コードを除いた全重量は285g、

比重は1.6となった。雪圧計の傾きを検出するために、燐青銅板の両側に歪ゲージを貼り先端に錘を付けた傾斜計を雪圧計内部に取り付けた。受圧板の外側に、防水のための薄いゴム膜を貼り付け、また、コードの中に雪温測定用の銅-コンスタンタン熱電対を入れた。熱電対の零接点は地面に設けた。

水圧によって雪圧計のロードセルの検定を行なった結果、水圧と電気出力との間に直線関係が成り立った。また、傾斜計の出力は、受圧板の法線が水平から鉛直になるにつれて正弦波状に変化した。

温度変化による雪圧計の出力の変動は、ロードセルで $\pm 0.02 \text{ gw/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 、傾斜計では $\pm 0.31^\circ/\text{C}$ であった。

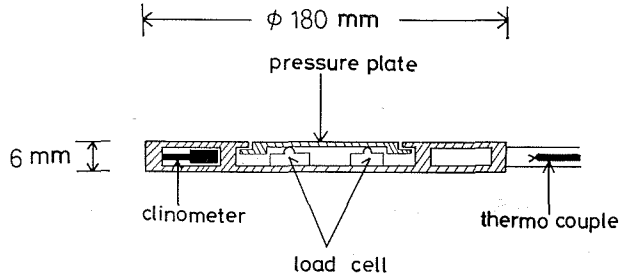
### IV. 平地積雪におけるポアソン比 $\nu$

#### IV-1. 鉛直圧力 $P_v$ 、横圧力 $P_h$ の測定

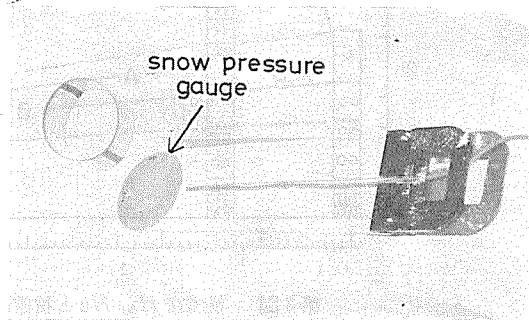
平地積雪での $\nu$ の測定は、前回<sup>3)</sup>と同様、北大天塩地方演習林庁舎裏で行った。斜面積雪で雪圧測定を行った雪崩観測所から、ほぼ3km程離れている。測定期間は1983年1月下旬から4月上旬までである。

前回の測定<sup>3)</sup>では、3組の雪圧計のうち2組を積雪表面に設置したが、横圧力を測定した雪圧計の傾きが大きくなりすぎたり、氷板が受圧面上に形成される等の原因により、信頼のおける値が得られなかった。それで今回は、前回比較的信頼のおける値が得られた残りの1組の埋雪方法を参考にして、雪圧計を設置した。

その手順は、先ず、層構造を極力乱さぬようにブロック状に雪を切り出し、鉛直断面をもった穴を掘る。このブロック状の雪は、雪圧計挿入後、穴を埋め戻すのに使った。次に、鉛直断面中の比較的厚い雪層を選び、埋雪用の器具を使って鉛直断面から60cm程奥まで雪圧計の入る細長い穴を開け、受圧面を水平に



第1図 雪圧計の断面図



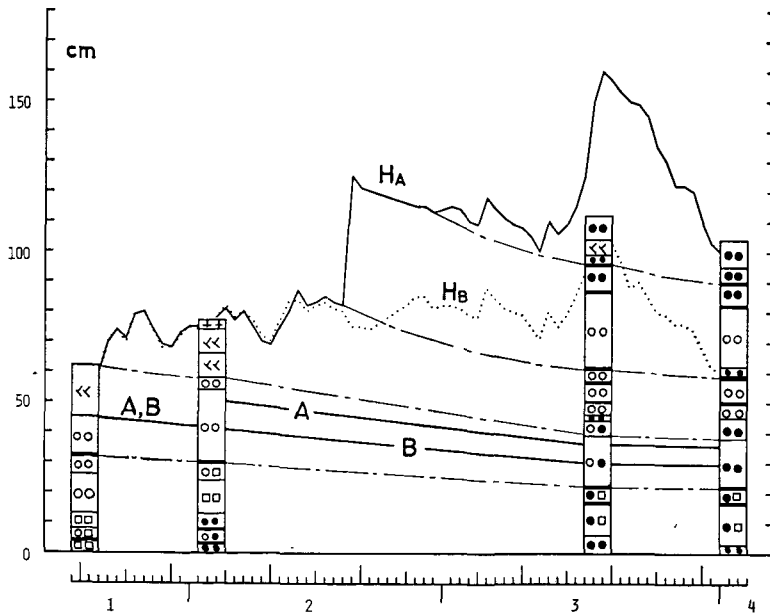
第2図 雪圧計の埋雪用器具と雪圧計

( $P_v$  用), または鉛直に ( $P_h$  用) して雪圧計を挿入する。挿入する際に, 余分な隙間をその層の雪で埋め戻すことができるように工夫した。その様子を第2図に示す。こうした雪圧計の埋雪方法を採用することによって, 雪圧計の傾きを $2^\circ$ 以内におさえることができ, 信頼性の高い測定値が得られた。

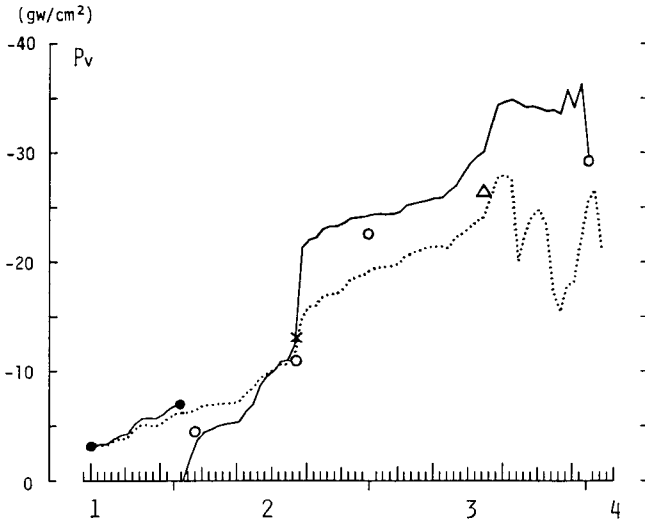
第3図に積雪深, 積雪の成層構造, 雪圧計の位置を示した。縦軸は地面からの高さで単位はcm, 横軸は日付けである。1月19日, 積雪層中の同じ高さに, 6m程離してA, B2組 ( $P_v$ ,  $P_h$  測定用を合わせて1組) の雪圧計を埋めた。Aについては2月2日に掘り出し, 埋雪状況等を調べた後で同一層中の少し高い位置に埋め戻した。Bは4月上旬まで測定を継続した。図でA, Bと書き添えた直線がA, B両組の雪圧計の位置を表わしている。 $H_A$ ,  $H_B$ は両組が埋められている位置での積雪深である。2月18日までは, ほぼ $H_A = H_B$ となっているが, この日を境にして $H_A > H_B$ となった。この大きな積雪深の違いは, 18日に激しい吹雪があり, 建物の影響を受けて新積雪に差が生じたためのものである。なお, 2月13日, 3月18日にも吹雪があり, 後で示すが,  $P_v$ ,  $P_h$  に立ち上がりが見られる。第3図に示した層構造のうち3月17日のものは,  $H_A > H > H_B$  の積雪深でのものである。他は全てAでのものであるが, 1月19日, 2月2日の層構造はBでもほぼ同じである。

雪圧計からの各測定値を演習林庁舎内においた記録器に3時間おきに自動記録し, 日平均値を求めた。

第4図に鉛直圧力 $P_v$ の推移とサンプラーによって実測した積雪水量(●, ○, ×, △)を示す。縦軸は圧力であり, 負の符号がついている。横軸は日付けである。なお, 今後, 圧力が



第3図 積雪深  $H_A$ ,  $H_B$  と積雪層構造, 雪圧計の位置 A, B  
 +は新雪, <<はこしまり雪, ○はしまり雪, □はこしもざらめ雪,  
 ●はざらめ雪, 厚線は氷板を表す



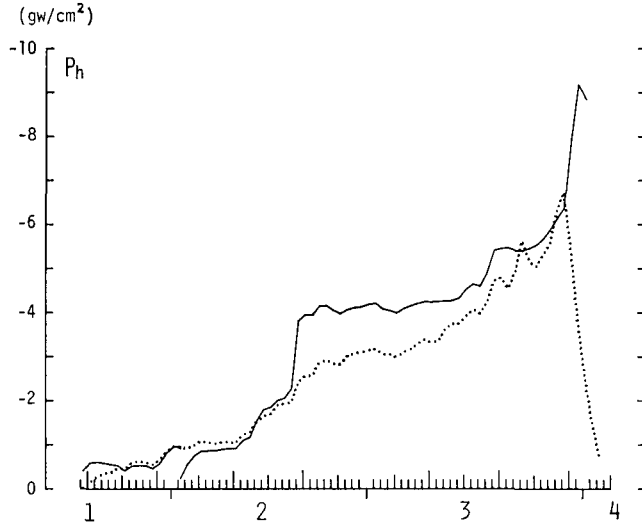
第4図 鉛直圧力  $P_v$  の推移。実線は A, 点線は B の測定値。●, ○印は積雪水量から求めた A の値, ●, ×印は同じく B の値

増加したと言う時は、その絶対値が増加したことを表わすことにする。実線が A 組の  $P_v$  で、点線は B 組の  $P_v$  である。●印は A, B 両組に共通な積雪水量で、○印は A 組、×印は B 組の積雪水量である。3月17日の△印は、第3図の3月17日の断面観測を行なった場所で得られた積雪水量で、A の  $P_v$  と B の  $P_v$  の中間の値に相当する。2月18日、2月28日の積雪水量値は、その当日、積雪表面におがくずを目印として散布し、測定終了時にこの目印から雪圧計までの雪を採雪して求めたものである。この際、融雪水の影響は無視した。

雪圧計の傾きによる測定値  $P_v$ ,  $P_h$  の誤差の補正はモール円によって行ったが<sup>3)</sup>、上述したように傾きが非常に小さく、この補正を行ってもほとんど違いは現われなかった。

本来なら、A と B の  $P_v$  は2月2日まで一致し、2月2日に A を少し高い位置に埋め戻しているため、これ以後は互いに平行に推移するはずである。第4図では、2月2日までほぼ両者の値は一致しており、これ以後2月13日までほぼ平行に推移している。しかし、2月13日に両者は一致し、2月18日には A の  $P_v$  が B の  $P_v$  よりかなり大きくなっている。両日も吹雪の日であり、特に2月18日の大きな立ち上がりは第3図の積雪深の変化に対応するものである。2月13日に、A と B で積雪深の変化に差がないにもかかわらず、 $P_v$  の変化には差が生じている。A の雪圧計上の積雪表面の雪が B 上の雪よりも強く wind-pack され、 $P_v$  には差が生じたが、積雪深には差が生じなかったものと考えられる。2月18日以後、融雪最盛期を迎えるまで、A と B の  $P_v$  はほぼ平行に推移し、積雪水量値とも大体一致している。B の  $P_v$  が3月下旬に大きく変動しているのは、融雪水によって受圧面と雪との接触が不良になったためのものである。しかし、2月2日および4月1日の雪圧計 A の埋雪状況は非常に良好で、氷板等は形成されておらず、雪圧計近くの雪もその周囲の雪と違いはなかった。以上のことから、3月中旬(融雪最盛期以前)までの A, B 両組の  $P_v$  は、信頼のおける値である。

第5図に、横圧力  $P_h$  の推移を示した。第4図と同様、実線が A 組の  $P_h$  で、点線が B 組

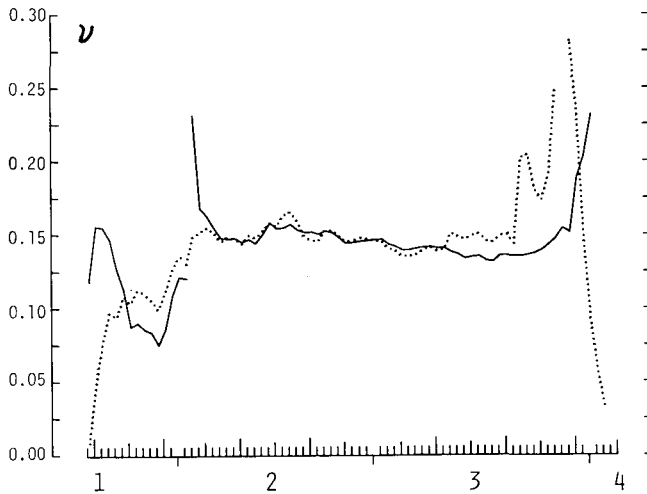


第5図 横圧力  $P_h$  の推移。実線は A, 点線は B の測定値

の  $P_h$  である。大体の傾向は第4図の鉛直圧力  $P_v$  と同じである。ここでもやはり、3月下旬に大きな変動を示している。この横圧力測定に使った雪圧計も、鉛直圧力用の雪圧計と同様、埋雪状況は良好であり、それ故、 $P_h$  も信頼できる値と思われる。

IV-2. ポアソン比  $\nu$

(4)式に第4図の鉛直圧力  $P_v$  および第5図の横圧力  $P_h$  の値を入れて計算したポアソン比  $\nu$  の値を第6図に示した。ここでは、第4図の  $P_v$ 、第5図の  $P_h$  で見られた2月18日の A の立ち上がりが見られない。上部積雪荷重が急激に変化しても、(4)式の  $P_h/(P_v+P_h)$  が一定になるように  $P_h$  も増加したわけである。すなわち、ポアソン比  $\nu$  は、雪の密度  $\rho$ 、雪温  $T$ 、雪質などの雪の性質の関数で、上部荷重によっては変らないことになる。



第6図 ポアソン比  $\nu$  の推移。実線は A, 点線は B の測定値

第3図から判るように、今回ポアソン比を求めた層の雪質は、こしまり雪→しまり雪→しまり雪とざらめ雪の混ざり→ざらめ雪へと変化している。

雪圧計を埋めてから1週間程で雪圧計は安定な値を示す。それで、1月25日から2月2日まで密度  $0.21 \sim 0.28 \text{ g/cm}^3$  の範囲のこしまり雪のポアソン比の平均を求めると、 $\bar{\nu}=0.10$  となる。この期間に雪温は  $-10^\circ\text{C} \sim -1.5^\circ\text{C}$  の範囲にあった。次に、融雪期を除いた2月15日から3月15日までの密度範囲  $0.28 \sim 0.38 \text{ g/cm}^3$  のしまり雪の  $\nu$  の平均を求めると、 $\bar{\nu}=0.15$  となった。この期間中に雪温は  $-4^\circ\text{C}$  から  $-1.0^\circ\text{C}$  まで変化したが、雪は乾いていた。この乾きしまり雪に対して得られた結果は、前回の結果<sup>3)</sup> ( $\bar{\rho} \approx 0.30 \text{ g/cm}^3$  の乾きしまり雪に対して、 $\bar{\nu}=0.15$ ) と一致するものである。また、 $\nu$  は雪温によってあまり変動しないことになる。

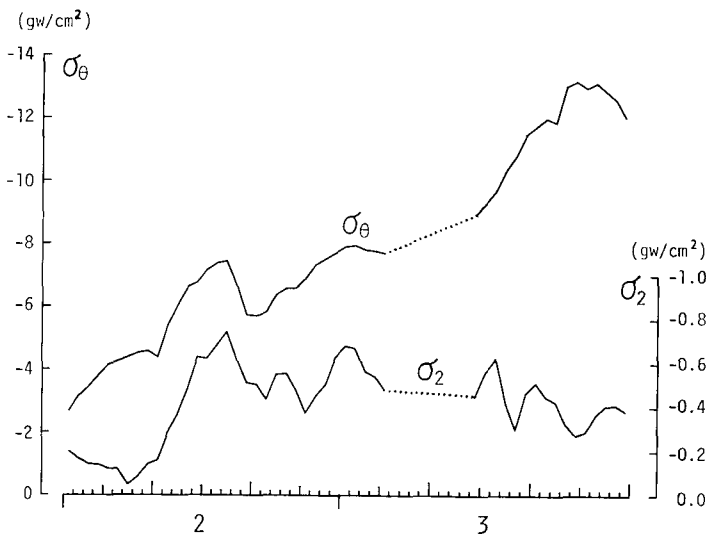
### V. 斜面積雪における主応力の大きさの決定

#### V-1. 斜面積雪での横圧力 $\sigma_2$ 及び垂直応力 $\sigma_\theta$ と角度 $\theta$ の測定

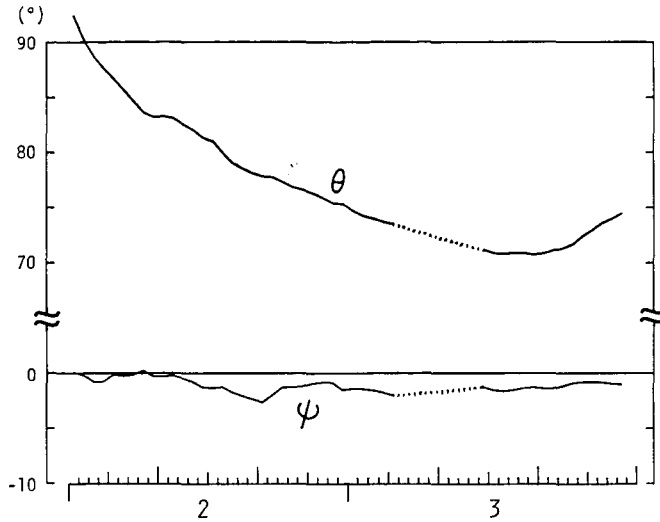
今回、II-2 で述べた横圧力  $\sigma_2$ 、垂直応力  $\sigma_\theta$  の測定を行った地点は、前回<sup>3)</sup>と同様、雪崩観測所横の北斜面 D 点である。測定期間は83年2月1日から3月29日までで、1時間毎に雪圧、雪温、雪圧計の傾きの測定を行い、雪崩観測所内のデータ集録装置に自動的に記録した。

雪圧計はII-2 で述べたように受圧面の法線を等高線 ( $y$  軸) 方向および  $x$  軸方向近くに向けてこしまり雪の層に挿入し、各々、横圧力 (第2主応力)  $\sigma_2$ 、垂直応力  $\sigma_\theta$  を測定した。ただし、 $\theta$  は  $\sigma_\theta$  が働く面の法線と  $x$  軸とがなす角度で、この法線は流動面 ( $x-x$  面) 内にある。雪圧計の挿入方法は平地積雪において行った方法と同じであり、埋雪用の器具を用いた。

雪圧計が埋められている場所の横で、低温科学研究所雪害科学部門が、雪圧計の埋められている雪層を含む積雪中の何層かで歪の測定を約2週間毎に行っている。この歪の測定から得られた歪速度の値および断面観測の測定結果を利用して次節で示す主応力の算出を行った。



第7図 主応力  $\sigma_2$  と流動面内に法線をもち、 $x$  軸と  $\theta$  の角度をなす面の垂直応力  $\sigma_\theta$  の推移。点線は長期間の欠測を表わす



第8図  $\sigma_\theta$  ( $\sigma_2$ ) 用雪圧計の受圧板の法線と  $x$  軸 ( $y$  軸) とがなす角度  $\theta$  ( $\psi$ ) の推移。点線は長期間の欠測を表わす

第7図に横圧力  $\sigma_2$  および流動面内に法線をもち  $x$  軸と  $\theta$  の角度をなす面に働く垂直応力  $\sigma_\theta$  の推移を、第8図に各々の雪圧を測定した雪圧計の傾き  $\psi$ ,  $\theta$  の推移を示す。第8図の  $\psi$  は  $\sigma_2$  を測定した雪圧計の受圧板の法線と  $y$  軸とがなす角度で、 $\theta$  は  $\sigma_\theta$  を測定した雪圧計の法線が  $x$  軸となす角度であり、反時計回りを正とする。ある期間内での  $\theta$  の変化量  $\Delta\theta$  は、その雪圧計が挿入されている雪層の回転を表わしている。第7図、第8図における点線の部分は、集録装置の欠測を表わしている。

第7図の横圧力  $\sigma_2$ 、垂直応力  $\sigma_\theta$  は、2月中はほぼ平行に推移し、3月に入ると  $\sigma_\theta$  は増加し続けるが、 $\sigma_2$  は変動しつつ減少傾向となる。第8図の  $\sigma_2$  用雪圧計の受圧板の法線の  $y$  軸からの傾き  $\psi$  は、測定期間を通じてほぼ  $0^\circ$  であり、雪圧計掘り出しの際にその法線が  $y-z$  面内にあった。また、埋雪状況も良好であったことから、理想的な状態で  $\sigma_2$  の測定が行なわれたと言える。一方、 $\sigma_\theta$  用雪圧計の傾き  $\theta$  は3月半ばまで減少し、右下り斜面において時計回りの積雪層の回転が存在していたことを示している。このことは雪害科学部門の歪測定の結果とも一致する。しかし、3月後半では後で述べるように、これらの回転の間に不一致が見られる。3月29日の掘り出し時の  $\sigma_\theta$  用雪圧計の法線は流動面内にあり、 $\sigma_2$  用雪圧計同様、埋雪状況は良好であった。

## V-2. 3つの方法による主応力の大きさの決定と比較

前論文 XI<sup>3)</sup> で「従来の方法」と呼んだ主応力の求め方を方法 III と呼ぶことにする。すなわち、積雪の各層は等方均質であり、均質歪を受けるとの仮定の下に、主歪速度  $\dot{\epsilon}_1$ ,  $\dot{\epsilon}_3$  の  $\alpha$  軸から反時計回りに測った角度  $\alpha$ ,  $\alpha + 90^\circ$  を求め、その方向の単位断面を持った雪柱の重さを  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  の大きさとするという方法である。この方法で求めた主応力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  は、はしがきで述べたように必ずしも正確というわけではないが、雪圧計を使って求めた主応力と比較対照するために、ここに取り上げた。

方法 I, II では, II-2 で述べたように, 歪速度の測定から得られた歪測定期間内の平均値としての主歪速度  $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_3$  を使用し,  $\sigma_2$  には雪圧計の測定値の同期間の平均値を用いる。さらに, 方法 I では平地積雪で得られた  $\nu$  の値, 方法 II では雪圧計で測定した  $\sigma_\theta$  および  $\theta$  の期間平均値と主軸方向を使って,  $\alpha_1, \sigma_3$  の大きさを求める。

2 月中の主歪速度のデータが得られていないため, 方法 I~III で得られた 3 月の 2 期分の結果だけを第 1 表に示す。 $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_3$  は主歪速度の大きさを単位は  $\text{day}^{-1}$ ,  $\alpha$  は第 1 主軸と  $x$  軸とがなす角度,  $\beta$  は歪測定期間中の積雪層の回転角,  $\Delta\theta$  は第 8 図より求めた期間中の  $\sigma_\theta$  用雪圧計の角度変化である。 $\alpha, \beta, \Delta\theta$  の単位は度である。 $\sigma_1, \sigma_3$  は主応力の大きさを単位は  $\text{gw/cm}^2$ ,  $\eta$  は粘性係数で単位は  $\text{gw}\cdot\text{day/cm}^2$ ,  $\nu$  はポアソン比である。

第 1 表 3 つの方法で求めた主応力  $\sigma_1, \sigma_3$

期 間	3/1			3/15			3/29		
雪 質	しまり雪			しまり雪			ざらめ雪		
密 度 ( $\text{g/cm}^3$ )	0.30			0.30			0.44		
雪 温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	-2.9			-0.9			0		
$\dot{\epsilon}_1 (\times 10^{-3})$	2.08			-4.76					
$\dot{\epsilon}_3 (\times 10^{-3})$	-2.94			-12.9					
$\alpha$	13			- 2					
$\beta$	-6			-19					
$\Delta\theta$	-4			4					
方 法	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$\sigma_1$	5.8	5.4	6.6	-0.9	-4.6	10.5			
$\sigma_3$	-9.5	-8.9	-10.3	-1.8	-11.8	-17.3			
$\eta$	1520	1420		54	442				
$\nu$		0.16			0.03				

3 月前半の期間では, 3 つの方法による  $\sigma_1, \sigma_3$  の値がほぼ一致している。方法 I と II の結果を見ると, 粘性係数  $\eta$  が大体同じ値になっており, 方法 II で求めたポアソン比  $\nu=0.16$  も方法 I で仮定した  $\nu=0.15$  にはほぼ等しい。この期間の雪質が乾きしまり雪であり, 密度も  $0.30 \text{ g/cm}^3$  で, 平地積雪において  $\nu=0.15$  を得た時の雪の状態によく合っていたために, 方法 I, II でこのような一致が見られたものと思われる。方法 III による主応力は,  $\alpha$  が 0 度から大きくは外れておらず, 真の値に近いものと期待できる<sup>2)</sup>。方法 II で使用した  $\sigma_\theta$  用雪圧計の角度変化  $\Delta\theta$  は, 歪速度測定で得られた雪層の回転  $\beta$  とほぼ一致しており, このことから雪圧計の挿入による積雪層の回転への影響を小さく押さえることができ, 測定値  $\sigma_\theta$  も真の値を示していたと考えることができる。

しかし, 3 月後半の期間では, 3 つの方法で求めた  $\sigma_1, \sigma_3$  に相違が見られ, 雪圧計による主応力の決定は果たせなかった。考えられる理由として,

- 1) 融雪によって雪質が乾きしまり雪からぬれざらめ雪に変化し, 方法 I において  $\nu=0.15$

という仮定が成り立たなくなったこと、

2) 歪測定点での積雪層の回転  $\beta = -19^\circ$  と  $\sigma_0$  用雪圧計が埋められていた場所での回転  $40 = 4^\circ$  との大きな差が示唆しているように、融雪期に入って両測定地点での積雪の流動がかなり異なっていた可能性があること、

3)  $\beta = -19^\circ$  という大きな回転が生じているために、方法 III による主応力決定に問題が残ること、(厳冬期での回転は、せいぜい  $\beta = -5^\circ$  くらいのものである。)

の3点が挙げられる。

前論文<sup>3)</sup> XI の結果、および、以上3種類の方法で求めた主応力の比較によって、複雑な性質を示す融雪期の積雪を除けば、雪圧計の測定値と歪速度の測定値とから主応力の決定が可能であることが判った。

## VI. ま と め

傾斜計を取り付けた厚さの薄い雪圧計を用いて、平地積雪においてポアソン比を求めた。さらに、2次元流動を行う斜面積雪で等高線 ( $y$  軸) 方向の主応力 (横圧力)、および、流動面内に法線をもつ面に働く垂直応力、その法線が水平軸 ( $x$  軸) となす角度を測定し、他に得られた主歪速度、第1主軸と  $x$  軸とがなす角度の値を使って、2つの方法で主応力の大きさを求めた。この2つの方法で求めた主応力と、従来から雪害科学部門が採用している方法で求めた主応力との比較を行った。

以上の結果、平地積雪での測定値から

- 1) 密度が  $0.21 \sim 0.28 \text{ g/cm}^3$  の範囲にある乾きしまり雪のポアソン比は、 $\nu = 0.10$ ,
- 2) 密度が  $0.28 \sim 0.38 \text{ g/cm}^3$  の範囲の乾きしまり雪に対して、 $\nu = 0.15$

が得られた。

また、融雪期の積雪を除けば、雪圧計によって横圧力を測定し、雪質、密度によって適当にポアソン比を選ぶことにより、主応力の決定が可能であること、および、横圧力以外に流動面内の雪圧を測定すれば、ポアソン比を仮定しなくても主応力を決定できることが判った。

本研究に際し、雪害科学部門の方々、滝川演習林長を始めとする天塩地方演習林の方々には大変お世話になった。ここに記して、深く感謝いたします。

なお、この研究は、文部省雪崩事業費で行なわれた。

## 文 献

- 1) 藤岡敏夫・他 1978, 1979, 1980, 1981, 1982 斜面積雪の歪速度と応力 I, II, III, IV, V. 低温科学, 物理篇資料集, **36-37**, 39-69; **38**, 33-37; **39**, 13-33; **40**, 15-25; **41**, 9-25.
- 2) 吉田順五 1981 斜面積雪の挙動の研究 VIII. 論文 VII の補遺, 低温科学, 物理篇, **40**, 25-35.
- 3) 大泉三津夫・藤岡敏夫 1982 斜面積雪の挙動の研究 XI. 積雪の塑性ポアソン比 1, 低温科学, 物理篇, **41**, 43-54.
- 4) 吉田順五 1980 斜面積雪の挙動の研究 VII. 単独鉛直主応力状態. 低温科学, 物理篇, **39**, 1-16.

### Summary

Using newly designed snow pressure gauges, the authors measured the Poisson's ratio  $\nu$  of snow in a snow cover on a level ground. Besides, on a uniform slope of a mountain, they measured lateral pressure  $\sigma_2$  on a plane, whose normal was in the direction of the contour line of the slope, as well as normal stress  $\sigma_\theta$  on a snow plane perpendicular to the direction of  $\sigma_2$ . To check the inclination of the snow pressure gauge in the snow, they set a clinometer in the gauge. When the clinometer showed changes in gauge inclination from the initial reading, corrections were made to values of snow pressure using the Mohr's circle.

#### 1) Poisson's ratio $\nu$

The authors inserted two pairs of gauges, A and B, into a snow cover on January 19, each pair consisting of two gauges, one for vertical pressure  $P_v$  and the other for horizontal pressure  $P_h$ . The pair of A was dug out February 2 to check the state of the gauges in the snow mass and the effect of gauges on the snow mass, then again buried in a little higher position than before in the same layer. In Fig. 3 the position of each pair is marked by A, B and the snow depth is also shown by  $H_A$ ,  $H_B$ , respectively.

As for  $P_v$  and  $P_h$ , the former is shown in Fig. 4 and the latter in Fig. 5, where A's value is shown by the solid line and B's by the dotted line. The negative sign in ordinates in Figs. 4, 5 and 7 means pressure. Because the inclinations of all gauges were small during the measuring period, the magnitudes of corrections were negligibly small. A rising of  $P_v$ ,  $P_h$  in A on February 18 corresponds to a rapid increase in  $H_A$  brought about by a snow storm on the same day. In Fig. 6 the Poisson's ratio  $\nu$  of snow calculated from  $P_v$  and  $P_h$ , using eq. (4), is shown by solid line (A), and dotted line (B). On February 18  $\nu$  in A did not increase. Since the Poisson's ratio  $\nu$  of snow is regarded as a function strongly depending on density and snow type, when  $P_v$  increased rapidly,  $P_h$  also increased so rapidly as to make  $\nu (= P_h / (P_v + P_h))$  constant.

The mean value of  $\nu$  of A or B from February 15 to March 15 was 0.15 for settled fine-grained snow when snow was dry and had a density ranging 0.28 to 0.38 g/cm<sup>3</sup>. This result agrees with that of the previous paper XI<sup>9)</sup>.

#### 2) Measurements of snow pressure on a uniform mountain slope and principal stresses

$\sigma_1, \sigma_3$

On a uniform mountain slope, the authors measured snow pressures  $\sigma_2, \sigma_\theta$  in a snow cover whose flow was restricted to a vertical plane containing vertical axis  $z$  and horizontal axis  $x$ . The direction of  $\sigma_2$  is perpendicular to the vertical plane. The  $\sigma_\theta$  is the normal stress on a plane whose normal line is in the vertical plane and makes an angle  $\theta$  with  $x$ -axis. From the clinometer set in the gauge,  $\theta$  was read. In Fig. 7  $\sigma_2$  and  $\sigma_\theta$  are shown. Then shown in Fig. 8 are  $\theta$  and  $\psi$ ; the latter is an angle between the normal line of the pressure plate for the gauge measuring  $\sigma_2$  and  $y$ -axis parallel to the contour line. During the measuring period,  $\psi$  was close to zero.

Huzioka and others measured the directions and magnitudes of  $\epsilon_1, \epsilon_3$  in the same snow layer near this site, and then calculated  $\sigma_1, \sigma_3$  without using the magnitudes of  $\epsilon_1, \epsilon_3$  (Table 1, III). The authors calculated  $\sigma_1, \sigma_3$  and snow viscosity  $\eta$  by two different methods by using  $\sigma_2, \epsilon_1, \epsilon_2$  (always zero) and  $\epsilon_3$  in common. The first method, assuming  $\nu=0.15$ , derived these values from eqs. (1), (2) and (3) (Table 1, I); the second method, using normal stress  $\sigma_\theta, \theta$  and

angle  $\alpha$  between  $\sigma_1$  and  $x$ -axis, obtained them and also  $\nu$  in the snow cover on the mountain slope from eqs. (1), (2) (3) and (5) (Table 1, II).

The principal stresses  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  obtained by these three methods agreed with one another in the first half of March, when dry and settled fine-grained snow prevailed on the slope with the density of  $0.3 \text{ g/cm}^3$ . But in the second half of March, these three methods gave fairly different values to  $\sigma_1$  and  $\sigma_3$ , when the snow became wet by melting and changed into coarse-grained.