

立木に加わる雪圧(第1報)

高 橋 喜 平⁽¹⁾

片 岡 健 次 郎⁽²⁾

佐 藤 正 平⁽³⁾

I ま え が き

多雪地帯における立木は、積雪の機械的・生理的な影響によって、そのほとんどがいろいろな被害を受けている。このなかでも、積雪の機械的な作用による根曲り木の経済的な損失は大きい。

立木の根曲りが大きければ埋雪する樹幹が長くなる。したがって、雪圧が大きくなり根元折れ、割れなどの被害が発生する原因となりやすい。

根曲り木の出現率は積雪量によって変化し、積雪が多いほど高率を示す。また、斜面が急になるほど積雪の移動による影響が加わるため、これがさらに拡大される⁸⁾。

立木の配置条件によっても、個々の立木の受ける積雪移動圧はかなり差異があるものと想像される。

以上のような考えから、筆者らは林木の雪害防除対策の基礎資料をうるため、主として、立木の配置、および立木形態と雪圧、立木に加わる雪圧の影響範囲などについて究明してきた。

ここでは1962年以降、4冬期間の結果を第1報として報告するしだいである。

この報告は積雪移動の少ない安定斜面を対象としたものであり、積雪移動の大きい不安定斜面については今後研究をすすめる予定である。

なお、本報告は東北支場年報(1965年度)に報告した「林木の耐雪機能」と内容が一部重複しているところもあるが、立木形態と雪圧の関係などをあらたに追加してまとめたものである。

この報告を取りまとめるにあたり、種々助言していただいた多雪地帯林業第二研究室長石川政幸技官、ならびに、冬季の積雪調査や資料の整理などについて協力していただいた、当研究室員小野茂夫、川口利次、井上栄子の各技官に対してお礼を申し上げる。

II 測 定 方 法

1. 測 定 場 所

測定した場所は当分場構内にある実験斜面の一部である。該地は傾斜角 35° の東向斜面である。設定当初の林分状況は樹齢約 50 年、平均樹高 15m、平均胸高直径 21cm、立木密度 1,900本/ha のスギ林であった。

この林分をA区、B区の2試験区に区分した。試験区域面積はA区 0.51ha、B区 0.32haである。

試験区の設定と同時に、雪圧測定に支障をきたす試験区内の被圧木、および低木などを整理伐採したた

(1) 林業試験場東北支場山形分場長

(2)(3) 林業試験場東北支場山形分場多雪地帯林業第二研究室

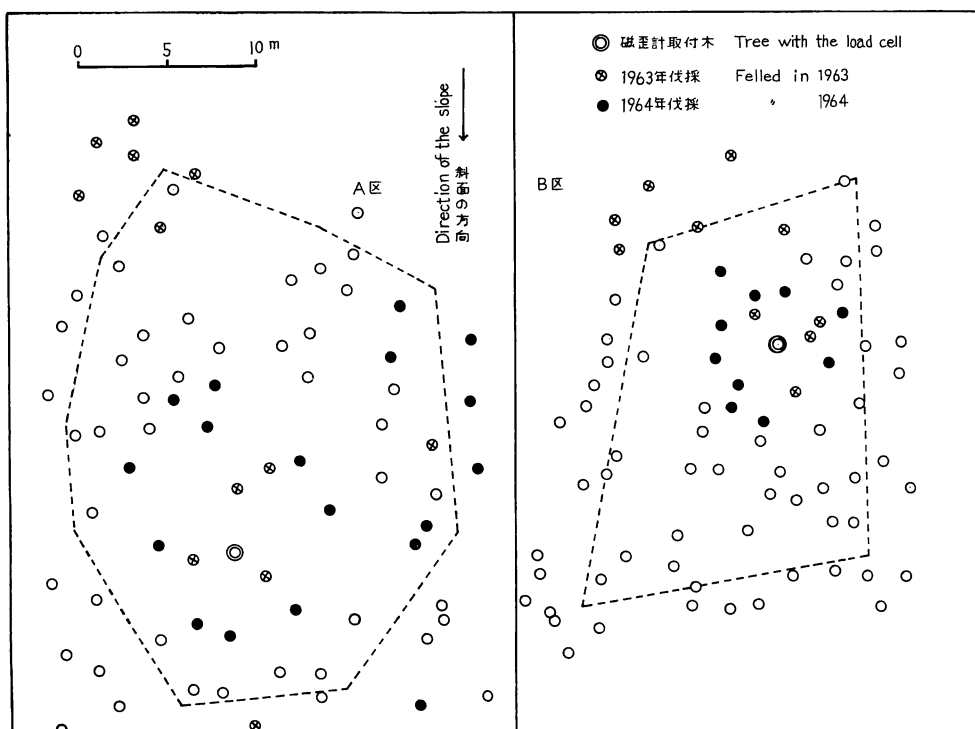


Fig.1 立 木 位 置 図
Situation of trees on the test slope.

め、立木密度は設定当初のものよりかなり減少し、A区は910本/ha、B区は1,540本/haとなった。

このうちA区では樹冠をそのままの状態にしておき、B区では樹冠による影響を取りのぞくため、地上高2 mから伐採した。

Table 1. 釜淵における冬季の気候
Climate in winter at Kamabuchi

月	Month	11	12	1	2	3	4
平 均 気 温	Mean temperature (°C)	6.3	0.7	-1.9	-1.4	1.8	8.1
日 照 時 数	Duration of sunshine (%)	29.9	16.1	15.9	21.0	34.3	43.1
降 水 量	Precipitation (mm)	207.2	260.3	237.1	184.2	166.4	153.2
最 深 積 雪	Max. snow depth (cm)	18	65	136	163	153	81
年	Year	最 大 積 雪 水 量 Max. water equivalent of snow cover (mm)					
1 9 6 1 ~ 6 2		597					
1 9 6 2 ~ 6 3		796					
1 9 6 3 ~ 6 4		405					
1 9 6 4 ~ 6 5		1,047					

雪圧測定をしたA, B両試験区の立木位置は Fig.1 に示したとおりである。1961~1962年と1962~1963年の2冬季にくり返して雪圧を測定した後, 1963~1964年と1964~1965年の冬季に, 図に示すとおり伐採して, 伐採による雪圧の変化を測定した。なお, A区のエ縁部にある伐採木は試験の目的によるものではなく, 冠雪害による折損木, および強風のための倒木である。

雪圧の測定はエ縁部をさけて行なった。

当地方における冬季の気候は Table 1 に示したように, 1~2月の厳冬季における平均気温は -2.0°C 前後で, 日照時数が少なく, 月平均降水量は200mm前後, 平均最深積雪は150cm前後の多雪地帯である。

2. 測定装置

このA・B両試験区において Fig.2-A, および Fig.2-B に示す測定装置によって立木の雪圧を測定した。

Fig.2-A の測定方法は立木相互間の雪圧比較ができるように, 受圧板を傾斜面に垂直となるように一定角度に取り付けたものである (Photo. 1, 2 参照)。また, この測定装置は1点支持であるから, 積雪の深さによって移動圧の作用点異なるため, この測定値をそのまま各冬季別に比較することができなく, また雪圧の総量を示さないなど, いろいろ欠点はあるが, 立木の配置と雪圧との関係について, その多少

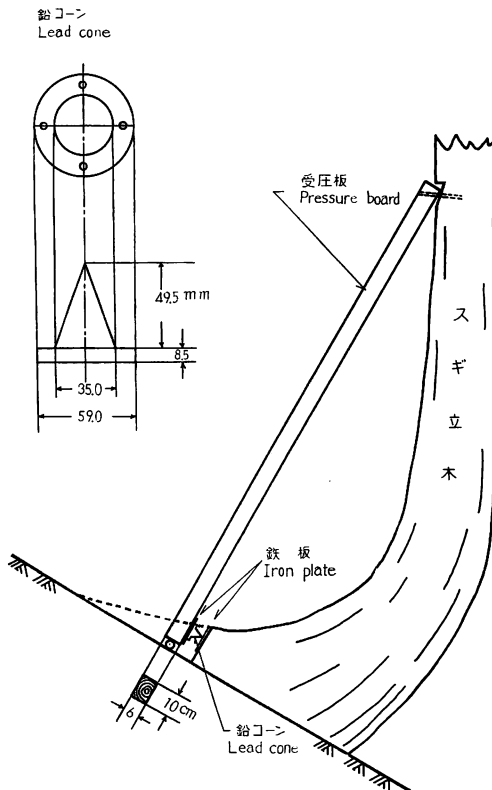


Fig. 2-A 立木にかかる最大雪圧測定装置(鉛コーン式)
Apparatus for measuring the maximum snow pressure acting on the tree (simple load gauge using a lead cone).

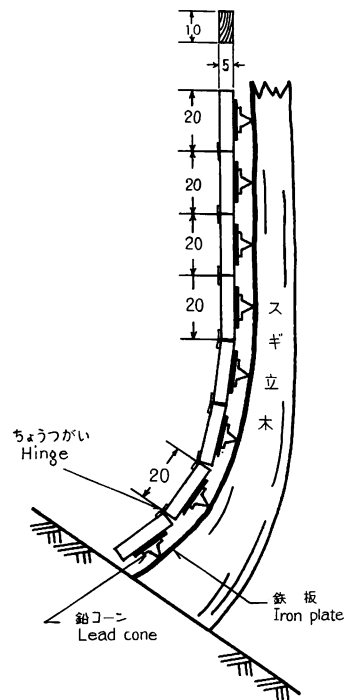


Fig. 2-B 最大雪圧測定装置(鉛コーン式)
Apparatus for measuring the maximum snow pressure.

を比較するためにはもっとも簡単な測定方法である。

Fig. 2—B の方法は、樹木形態の相違による雪圧の比較、および雪圧分布の測定に用いたものである。これは左右に傾いたり、下側にずれたりすることがあって、取付けの技術的な面において難点はあるが、傾向をはあくするための装置としては十分であった。

Fig. 2—C は磁歪式雪圧計を受圧柱の両端に取り付けた雪圧測定装置である。この受圧柱を Photo. 3 に示すように、斜面に垂直、鉛直、および水平になるように設備し、その 3 種について比較をした。これらの測定は、立木の形態別に受ける雪圧の差異を知る基礎資料をうるために、実施したものである。なお、垂直柱の測定値は、Fig. 2—A による測定結果を比較検討する基準とした。また、Fig. 2—D は鉛直方向に対する雪圧分布の測定用に供するための装置で、Fig. 2—C、2—D は傾斜角 35° の無立木地に設置したものである。

Fig. 2—C の測定装置は受圧面の幅がその他の装置より 5cm ほど広がっているが、これは磁歪計受感部の大きさからこのようにしたものである。しかし、受圧面と雪圧の関係は、受圧面の面積よりもその周辺長に関係することが、積雪の沈降圧の測定結果から明らかにされている¹⁵⁾。このことから考えると、移

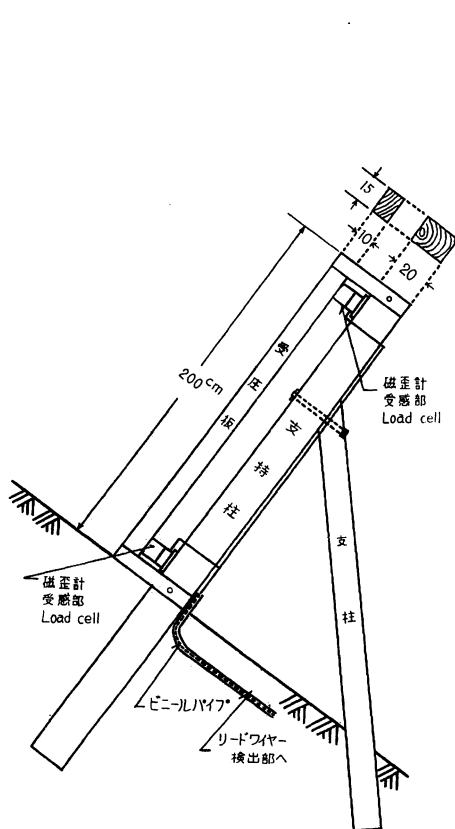


Fig. 2—C 雪圧測定装置 (磁歪計 2 点式)
Apparatus for measuring the snow pressure (load cell).

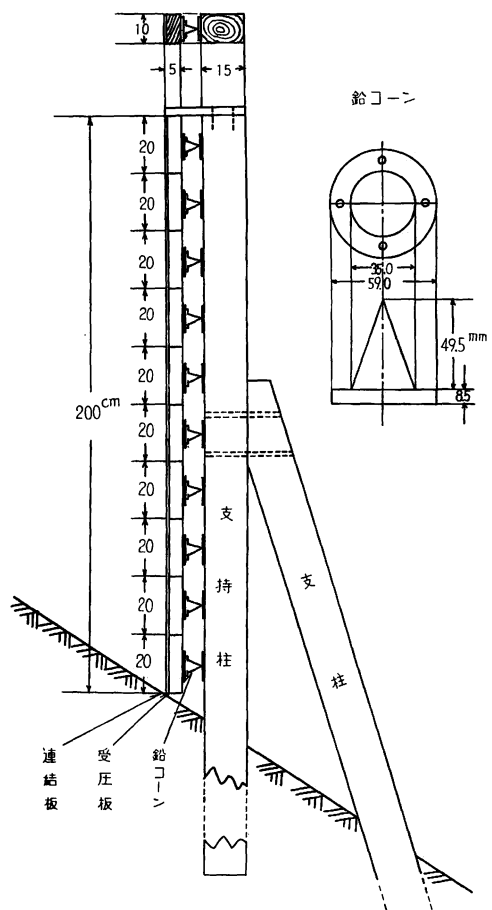


Fig. 2—D 最大雪圧測定装置 (鉛コーン 10 点式)
Apparatus for measuring the maximum snow pressure.

動圧についてもこれとはほぼ同じであるものと判断され、受圧板の幅をこの程度広くしたとしても、それほど大きな影響がないものと思われる。

3. 積雪調査

立木位置とは無関係に、斜面の最大傾斜線にそって1.5m、これと直角方向に1.0mの一定間隔ごとと、立木を中心とした放射線状に1.5mの間隔ごと、および立木と立木をむすぶ直線上を1.5mごとに積雪深、積雪水量の測定を行ない、雪量の分布状況をはあくした。

立木に加わる積雪移動圧の影響範囲を知る一手段として、立木を中心とした積雪の縦断面、横断面、水平断面の調査を行なった。

III 調査結果

1. 積雪分布・立木周辺の積雪構造と移動圧の影響範囲

(1) 試験区内の積雪分布

試験区内に設置した積雪計によって観測した各冬季の最深積雪は Table 2 に示したとおりで、平地に対する割合からみると、A区が30%ほど少なく、B区は平地とほとんど同じであった。また、1961年3月にA、B両区内において縦1.5m、横1mごとの間隔で110点について調査した結果、平均積雪深においてはA区が102cm、B区は110cm、平均積雪水量はA区が395mm、B区は433mmであって、A区はB区に対して積雪深が93%、積雪水量では91%であった。

これらの測定値について変動係数を求めてみると、積雪深の場合はA区が16.3%、B区は8.4%、積雪水量ではA区が18.5%、B区は11.3%となって、深さ、水量の両者ともにA区がB区の2倍近い変動がみられた。

林地では雪の積り方、積雪密度などにかなりの差があることが明らかにされている¹⁷⁾¹⁸⁾。また、樹冠の枝葉に付着する冠雪は意外に大きく発達する場合があります¹⁸⁾¹⁶⁾、この冠雪は風による樹木の動揺によつて落下したり、または、日射によつて融解し、水滴となって滴下するなどのため、その下にある積雪分布を複雑にする。したがって、A区はB区よりも大きな変動を示す結果となるのであろうが、B区についてても測定値のばらつきはかなり大きい。これは平坦地の場合の測定結果⁷⁾よりも大きく、積雪移動の影響が立木周辺の積雪状態に変化を与えているものと考えられる。

積雪深、および積雪水量の測定値は、測定個所の条件によつて、このような変動があるが、一応、積雪

Table 2. 試験地斜面の最深積雪深
Maximum snow depth on the test slope

年 Year	積 雪 深 Snow depth (cm)			平地に対する割合 Ratio to open (%)	
	A 区 A-area	B 区 B-area	平 地 Open	A 区 A-area	B 区 B-area
1 9 6 1 ~ 6 2	115	200	182	63	110
1 9 6 2 ~ 6 3	145	230	232	63	99
1 9 6 3 ~ 6 4	90	150	134	67	112
1 9 6 4 ~ 6 5	193	240	245	79	98
平 均 Mean	136	205	198	68	105

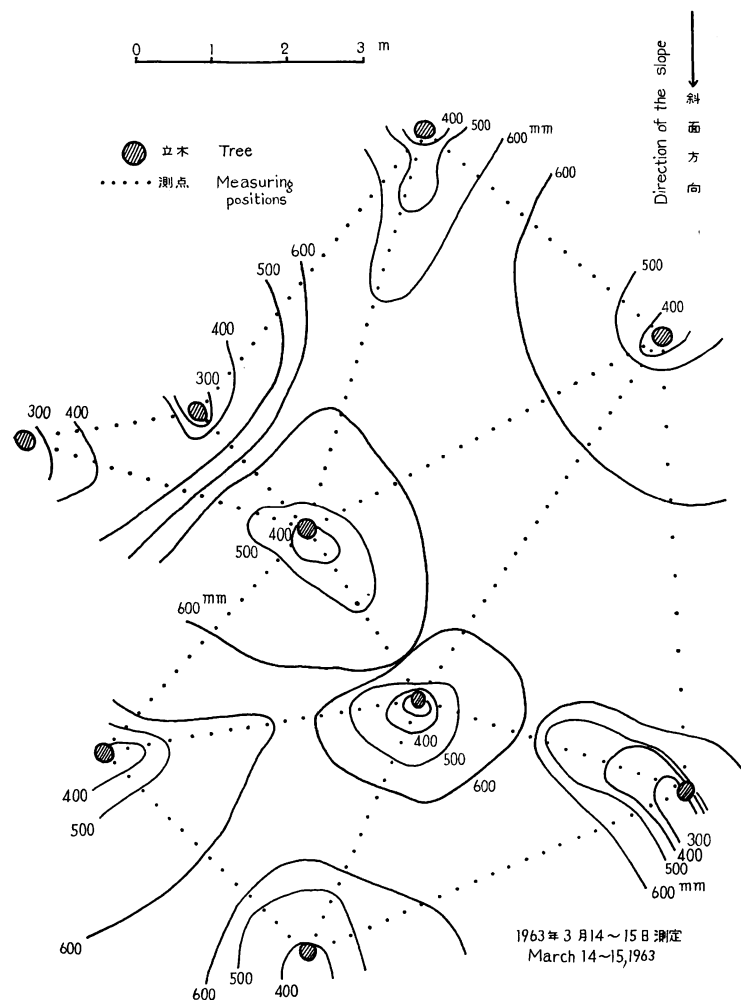


Fig. 3—A 立木の周りの積雪水量分布 (A区)

Distribution of the water equivalent of snow around the trees (A-area).

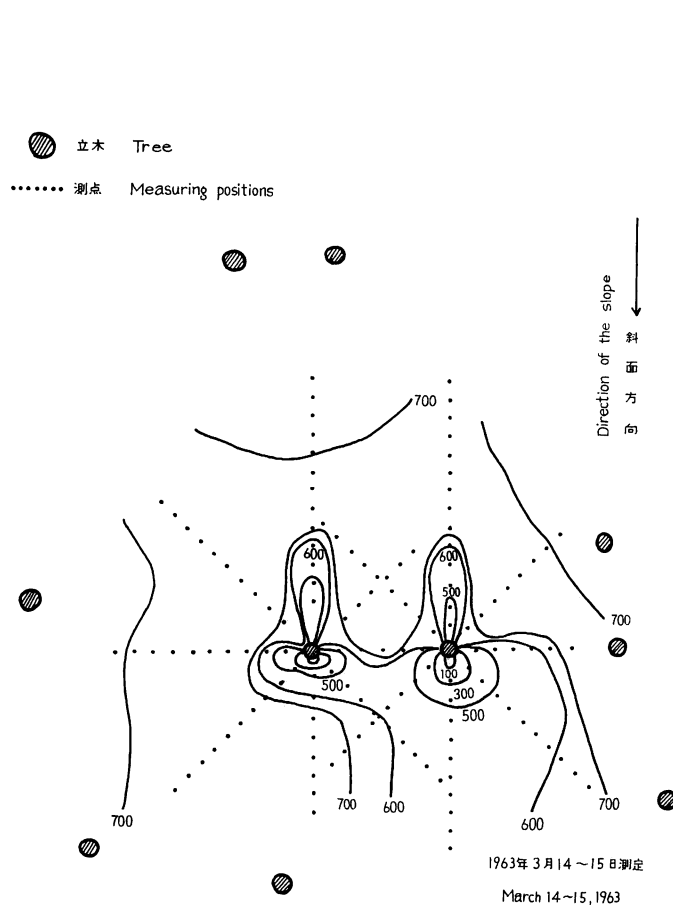


Fig. 3—B 立木の周りの積雪水量分布 (B区)

Distribution of the water equivalent of snow around the trees (B-area).

移動に対する立木の影響範囲を積雪分布からみるため、積雪水量について大まかな検討をしてみると、Fig. 3—A, 3—Bに示したとおりとなる。

A区における立木周辺の積雪分布からみれば、むしろ冠雪の影響が大きいようで、その範囲は樹幹から1.5～2.0mの付近までとなっている。

B区については、積雪移動の影響によって、立木周辺にかなりの変化があることが認められ、立木の上側では、立木によって積雪の移動が支えられているため積雪量が多く、下側はこれと逆に少なくなっている。

この図からみられる積雪量の多い部分と少ない部分により、積雪移動の影響範囲を推定すると、上側が約1.5m、下側は約1m、左右両端はそれぞれ1m程度のようにみうけられ、この影響範囲の面積を求めると約5 m²となる。

(2) 立木周辺の積雪構造

前項で述べたとおり、樹冠がある場合は、冠雪による影響が大きく作用して、その立木周辺の積雪状態が不均一となるから、こうした場所では立木周辺の積雪構造を知ることは困難である。それゆえ、樹冠を取り去ったB区内の立木数本について、立木を中心とした積雪層の縦と横の断面、および立木上方における雪層の水平断面を調査した。横断面では雪層状態の観察だけにとどまったが、縦断面では積雪硬度、密度、水量などを測定し、水平断面の場合は硬度のみを測定した。結果は Fig. 4, 5 に示すとおりである。縦横断面は1962年、水平断面は1963年のいずれも4月の月上旬に調査したもので、立木周辺は輻射熱によ

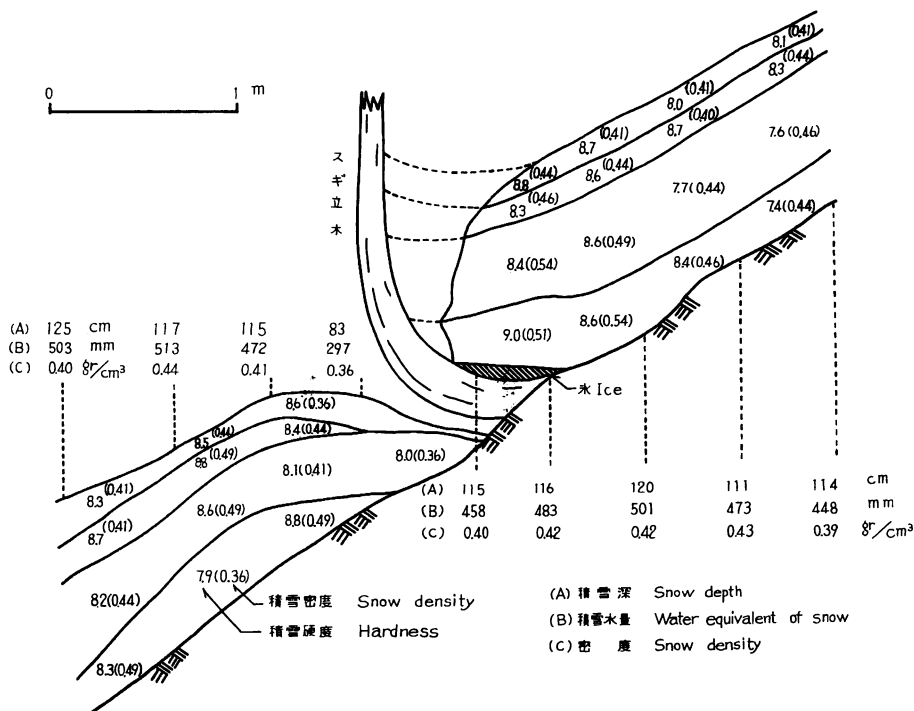


Fig. 4 立木のまわりの積雪層の垂直断面
Vertical profile of the snow cover around a tree.

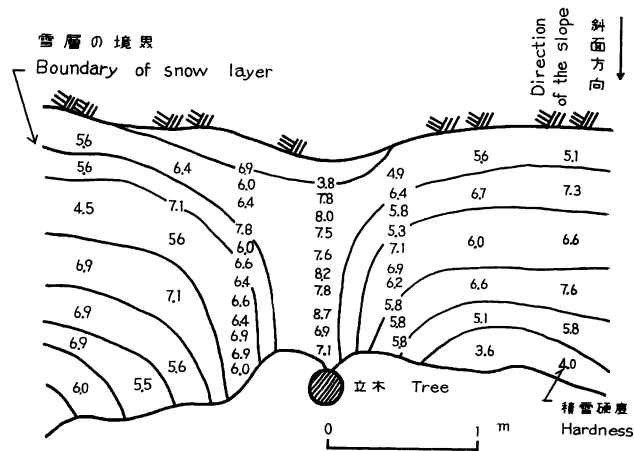


Fig. 5 立木の周りの積雪層の水平断面
Horizontal profile of the snow cover around a tree.

て積雪が融解し (Photo.4 参照)、厳冬季の形態と多少異なっている。しかし、この調査結果から積雪層構造の特徴が認められる。

Fig. 4 に示した縦断面からみると (Photo. 5 参照), 立木上方においては根元から 1.5m 付近に積雪深, 積雪水量ともに最大値があらわれているが, もし太陽の輻射熱による融解がなければ, 点線でむすんだようになるものと考えられ, このことから判断すると, 積雪最盛期には, 根元付近に雪量の最大があらわれるものと想像される。なお, 立木の下側の空洞は, 立木のしゃへいと積雪の移動とによってできたものであろう。下側における雪量は, 立木に近いほど少なくなっていて, 前述した積雪水量分布にあらわれた傾向とはほぼ一致している。

積雪密度については、根元付近、および根元の弯曲部分に $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上の比較的大きな値の雪層があり、さらに、その下層に氷化して立木に密着している部分が認められる。また、立木の下側には $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ 以下の部分も認められるが、大部分は立木の上と同様 $0.41\sim 0.49\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲内で、それほど大きな差異は認められない。

積雪硬度についても密度とほぼ同じような傾向を示している。

横断面についてみると (Photo.6 参照), 斜面上部の根元付近の積雪下層に, 圧縮された「しまり雪」のあることがみられ, これがしだいに氷化し, Fig. 4 にみられるような結果になるものと考えられる。このように立木周辺, とくに根元付近の積雪構造は普通の積雪状態にみられない特徴がある。

積雪の移動による雪層の変化については、Fig. 4 に示すように縦断面からもある程度うかがえるが、これを水平断面で示したのが Fig. 5 で、積雪が立木に支えられ、雪層の褶曲変形している状態をよく示している。この積雪面における積雪硬度をみると、立木上方の圧縮された雪層部分は、他に比べて硬度の値が大きいが、その差はそれほど大きくはないようである。

これらの積雪断面調査結果から、積雪の移動によって生ずる立木周辺の積雪状態がほぼ判明し、このことから立木に対する積雪移動の影響範囲を推定すると、立木の上方は3m内外、側方が約1.5m内外、下方は1m内外で、この影響範囲の面積は約10m²である。ただし、この場所の1冬期間における積雪の総

Table 3-A. 立木にかかると最大雪圧 (A区)

Maximum snow pressure acting on the trees

年 Year	1961~62			1962~63			1963~64			1964~65			備考 Remarks
No.	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	
5	1.29	0.92	6.4				0.39	0.86	6.4	1.68	0.86	13.2	1964年上側伐採 1963年周辺伐採, 1964年さらに 周辺拡大
6							0.23	0.56	5.2	1.03	0.53	5.2	
9				0.79	0.38	4.4	0.13	0.29	16.7	1.09	0.56	66.9	
13	1.02	0.73	7.0							1.34	0.69	7.0	
14	0.68	0.48	8.3	1.84	0.88	8.3	0.34	0.74	8.3	1.50	0.77	8.3	
15	0.89	0.64	—				0.39	0.86	—				1963年上側伐採 1964年上側, 左側伐採 " " 1964年上側伐採 1963年上側伐採 1964年上側, 右側伐採
21	0.79	0.56	4.4	1.37	0.65	4.4	0.22	0.49	4.4				
23	0.89	0.64	5.8	1.51	0.72	5.8	0.34	0.74	5.8				
24	0.50	0.35	4.9	1.51	0.72	4.9	0.14	0.32	4.9	0.84	0.43	4.9	
26							0.34	0.74	6.3				
27				1.09	0.52	4.8	0.28	0.63	4.8				
28	0.79	0.56	5.4	0.96	0.46	5.4	0.19	0.43	8.1				
38				1.23	0.58	16.2	0.28	0.63	16.2	1.20	0.62	25.5	
52	0.68	0.48	8.4	0.96	0.46	8.4	0.23	0.56	8.4	1.12	0.69	22.9	
53	0.68	0.48	6.7				0.19	0.43	6.7	1.09	0.56	8.2	
54	0.50	0.35	6.0	0.84	0.40	6.0	0.28	0.63	6.0				1963年上側伐採 1964年上側, 右側伐採
55	0.59	0.42	4.4				0.19	0.43	9.0				
56	0.89	0.64	5.0				0.19	0.43	5.0				
61				2.22	1.06	7.5	0.34	0.74	7.5	1.56	0.80	13.9	
62							0.19	0.43	3.6	1.06	0.54	3.6	
65	0.18	0.13	1.6	0.53	0.25	1.6	0.14	0.32	1.6				
68	0.79	0.56	4.2				0.39	0.86	4.2				
69	0.30	0.21	1.3	0.96	0.46	1.3	0.14	0.32	1.3				
70	0.36	0.26	1.8	1.09	0.52	1.8	0.19	0.43	1.8				
71							0.19	0.43	2.9	1.37	0.70	2.9	
合計 Total	11.82	8.41	—	16.90	8.06	—	5.93	13.30	—	14.88	7.75	—	
平均 Mean	0.70	0.49	—	1.21	0.58	—	0.25	0.55	—	1.24	0.65	—	
裸地単独 柱の雪圧 (D)	上端	0.85	—	—	1.20	—	—	—	—	1.25	—	—	
	下端	0.55	—	—	0.90	—	—	—	—	0.70	—	—	

注: (A).....Maximum snow pressure.

(B).....Ratio of the maximum pressure(A/D).

(C).....Area of influence by the standing tree.

(D).....Maximum snow pressure on the isolated pillar on the open slope.

Table 3—B. 立木にかかると最大雪圧 (B区)
Maximum snow pressure acting on the trees

年 Year	1961~62			1962~63			1963~64			1964~65			備考 Remarks
No.	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	最大雪圧 (A) (ton)	雪圧比 (B)	影響面積 (C) (m ²)	
10	1.90	1.35	12.7	2.43	1.16	12.7	0.36	0.80	12.7	1.31	0.67	12.7	1963年下側伐採 1963年周辺伐採, 1964年さらに 周辺拡大 1963年左側伐採 1964年下側伐採 1963年下側伐採, 1964年上側伐 採 1963年上側伐採 1964年上側伐採 1963年上側伐採
14	1.73	1.24	5.9	1.66	0.79	5.9	0.46	1.03	5.9				
15	1.42	1.01	0.6	1.84	0.87	0.6	0.70	1.54	0.6				
16	1.29	0.92	2.7	1.84	0.87	2.7	0.62	1.37	2.7				
17	1.73	1.24	6.0	2.01	0.96	6.0	0.39	0.86	6.0				
33	1.57	1.12	2.2	2.22	1.07	2.2	0.62	1.37	2.2				
34	2.18	1.62	6.8	2.43	1.16	6.8	0.80	1.77	6.8				
36	2.10	1.49	9.0				1.11	2.46	9.0				
37	1.42	1.01	4.3	2.43	1.16	4.3	0.53	1.17	4.3				
44	2.10	1.49	5.9	1.66	0.79	5.9	0.80	1.77	5.9				
49	1.29	0.92	2.2	2.43	1.16	2.2	0.70	1.54	3.0				
50	1.90	1.35	2.2	0.88	0.47	2.2	0.26	0.57	5.3	1.40	0.72	11.2	
53	1.57	1.12	2.3	1.66	0.79	2.3	0.90	2.00	3.7				
54	1.57	1.12	1.0	1.23	0.58	1.0	0.62	1.37	1.0	1.11	0.57	1.7	
55	1.29	0.92	5.8	1.84	0.87	5.8	0.70	1.54	5.8				
56	1.57	1.12	1.8	1.84	0.87	1.8	0.80	1.77	4.7	1.40	0.72	9.1	
66	1.42	1.01	1.6	2.43	1.16	1.6	0.62	1.37	6.5				
67	0.89	0.64	2.9	1.23	0.58	2.9	0.39	0.86	2.9	1.51	0.78	12.2	
69	1.14	0.81	2.2				0.70	1.54	2.2	1.28	0.66	2.2	
70	2.10	1.49	4.2	2.64	1.26	4.2	1.23	2.72	6.7				
71	2.28	1.62	5.1	2.87	1.37	5.1	0.80	1.77	5.1	2.03	1.04	5.1	
74	1.90	1.35	3.9				0.53	1.17	3.9				
77	1.73	1.24	3.1	2.64	1.26	3.1	0.46	1.03	3.1				
合計 Total	38.09	27.20	—	40.21	19.20	—	15.10	33.39	—	10.04	5.16	—	
平均 Mean	1.66	1.18	—	2.01	0.96	—	0.66	1.46	—	1.49	0.75	—	

移動量は 30cm 程度で、積雪移動の安定地であった。したがって、急傾斜地で積雪移動の大きい不安定地の場合、この影響範囲はさらに拡大するはずである。

2. 立木相互間の雪圧比較

立木に加わる雪圧は Fig. 2—A に示すとおり、立木の下端 1 点で測ったものであるから、雪圧の総量を示さない。したがって、この雪圧総量を求めるため、裸地に設置した Fig. 2—C の磁歪計（2 点支持）による測定資料から、1 点支持における上端の雪圧を推定することとした。この場合、雪量および積雪の移動の垂直分布型が異なると、雪圧の作用点も異なるから、厳密なものではないが、一応、磁歪計を取り付けた支柱の作用点とほぼ同じであると仮定し、

$$R_a = \alpha \cdot R_b \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 R_a ：鉛コーン 1 点支持における上端の推定雪圧、 R_b ：鉛コーン 1 点支持における下端の雪圧、 α ：2 点支持の磁歪計（Fig. 2—C）における上端（ R_A ）、下端（ R_B ）の雪圧比 $\left(\frac{R_B}{R_A}\right)$ のことから、立木に加わる雪圧総量（ P_1 ）は次式で求められる。

$$P_1 = R_a + R_b \dots\dots\dots(2)$$

このようにして求めた過去 4 冬季の雪圧測定成績は Table 3—A、3—B に示したとおりであるが、積雪量の差に応じて各年の測定値はそれぞれ異なっており、このままでは 1 冬季ごとの雪圧の相互比較はできても、各年ごとの比較はできない。そこで、立木に加わる雪圧 P_1 と 2 点支持の磁歪計に加わる雪圧 P_2 との比率（ β ）を各冬季ごとに求めた。

$$\text{すなわち、} \quad \beta = \frac{P_1}{P_2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{ただし、} \quad P_2 : R_A + R_B$$

この雪圧比で比較すると、雪量による影響差は一応無視してもそれほど大きな誤りがないものと考えられる。

この雪圧比は、立木周辺の条件が毎年同じであれば同じ値となるはずである。伐採によって、測定木の周辺の木が少なくなり、占有面積が拡大され、雪圧が変化すれば、雪圧比も当然変化するわけであって、伐採前後の比較も容易にできるはずである。また、1 点支持の場合は、真の雪圧ではないので、この点についても雪圧比を用いて比較検討することがいろいろと好つごうである。このような意味において、立木に加わる雪圧相互間の比較は雪圧比を用いておこなうこととした。

(3)式によって求めた雪圧比を、測定木の周囲の条件が毎年変わらなかったもの（伐採の影響を受けなかったもの）だけについて、各年ごとに比較してみると Table 4 のとおりとなる。

この表でわかるように、積雪深は Table 2 のように各年の値が変わっても雪圧比はあまり変わらない。すなわち、積雪量に応じて雪圧は変化するが、雪圧比にするとその影響がなくなるから、立木相互間の比較、ならびに、伐採による雪圧の変化など、各冬季の比較が容易にできるわけである。

Table 4 に示した 4 冬季の平均値からみると、A 区は 0.52、B 区は 1.06 であって、B 区は A 区の 2 倍の雪圧比を示していることとなる。しかし、A・B 両区ともに、これらの雪圧比間にはかなりのばらつきがある。このばらつき程度を変動係数によって示すと、A 区は 41.7%，B 区は 27.8% で両者ともに相当大きな係数を示し、A 区は B 区の約 2 倍に達している。これは冠雪の落下、および風による樹木の動揺などが、測定誤差をさらに増大させたものであると考えられる。また、積雪の移動量が少ないこともひとつの原因と考えられ、移動量が大きければ、これらの影響が小さくなるものと考えられる。

Table 4. 立木にかかる最大雪圧
Maximum snow pressure acting on the trees

年 Year	最大雪圧の平均値 Mean value of the max. snow pressure (ton)				最大雪圧の比 Ratio of the max. snow pressure (%)			
	A区	A-area	B区	B-area	A区	A-area	B区	B-area
1961～62		0.53		1.65		0.38		1.18
1962～63		1.18		1.97		0.56		0.94
1963～64		0.25		0.60		0.51		1.33
1964～65		1.19		1.54		0.61		0.79
平均 Mean		0.79		1.44		0.52		1.06

Table 5. 雪圧比と影響面積の相関
Correlation of snow pressure ratio to the surface area of the sphere of influence

	影響面積 Surface area of the sphere	相関係数 Correlation coefficient			
		A区	A-area	B区	B-area
a	$(A+B) \cdot C \cdot \pi / 4$	—	0.039	+	0.383
b	$A \cdot C \cdot \pi / 4$	+	0.012	+	0.004
c	$A \cdot 2C$	+	0.019	+	0.019
d	$\frac{2}{3}A \cdot \frac{1}{2}D$	+	0.290	+	0.528

- ただし A: 上方の立木までの距離
Distance to the tree on the upper side.
B: 下方の立木までの距離
Distance to the tree on the lower side
C: 側方(左右のどちらでも片方)の一番近い立木までの距離
Distance to the nearest tree to the right or left.
D: 左右両側の立木までの距離
Distance to the tree on both sides.

3. 立木に及ぼす雪圧の影響範囲

単独柱に及ぼす雪圧の影響範囲については古川²⁾、渡辺²¹⁾などの報告にもあるように、楕円形、方形などいろいろな考えかたがある。林地では樹冠の影響があって、無立木地の斜面に支柱を立て、実験的に観測した場合とではかなりの差異があり、影響範囲の判定はむずかしい。ここでは、影響範囲をきめる因子として、測定木を中心とした隣接木の上方、下方、側方のそれぞれの立木までの距離を考え、これらの距離の組合せをいろいろ変えて影響範囲の面積を計算し、雪圧比との相関をみた。その結果は Table 5 に示したように、いずれの場合においても相関係数は小さく、ほとんど無関係に近い値を示している。

これらのなかでも比較的係数の大きいdの方法、すなわち、測定木から上方の立木までの距離の $\frac{2}{3}$ 、左右両側の立木までの距離の $\frac{1}{2}$ とした方形の区域(影響想定区域と呼ぶことにする)と雪圧比との関係を示すと Fig. 6のとおりである。ただし、A・B両試験区ともに、測定値のばらつきが非常に大きいので、影響範囲の面積を階層ごとに平均値で示してある。

この図からわかるように、影響想定区域の面積が、大体 $5 \sim 10\text{m}^2$ くらいまでは面積の増加にしたがって雪圧比も増加しているようにみられるが、それ以上になるとまったく無関係のようで、影響想定区域の面積が増大しても雪圧比は大きくならない。また、影響想定区域の増加に対する雪圧増加の割合は、A区

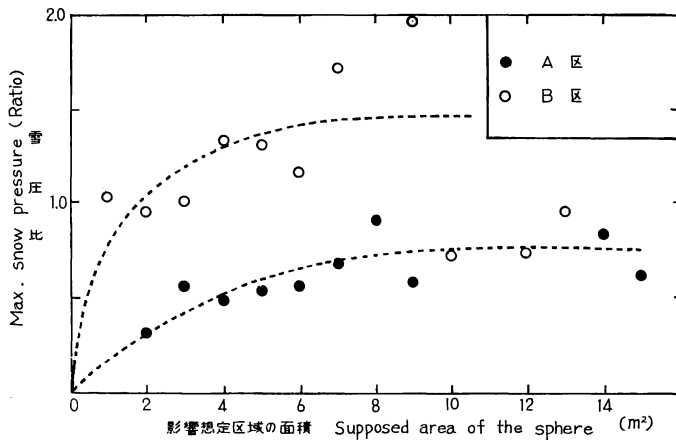


Fig.6 雪圧の影響範囲
Surface area of the sphere of influence.

よりもB区が大きい、これは両試験区の積雪量の差によるものと考えられる。

古川²⁾が傾斜角 38° の裸地で実験的に測定した結果によれば、支持柱に対する積雪の影響範囲を楕円形と仮定すると、この面積は 73m^2 であった。また、渡辺²¹⁾が傾斜角 $26\sim 37^\circ$ の林内で測定した結果によると、影響範囲が 25m^2 までは面積が増すにしたがって雪圧も増大すると述べている。これらと比較すると、この測定結果では影響範囲がかなり小さいことになる。

このような立地および積雪条件のもとでは、従来一般にいわれていたよりも、その範囲はかなり小さいものと考えられる。

4. 伐採による雪圧の変化

傾斜地における立木は、その場所に生立している立木全体で、斜面積雪の移動を支えているものと考えられ、鎌田⁴⁾は、立木密度が大きいほど、その区域内の単木が受ける雪圧は小さくなると述べている。したがって、もしそのことが正しいとすれば、伐採によって立木本数が減少すれば、当然残存木にかかる雪圧が増大するものと考えられる。しかし、筆者らの調査結果では Fig.1, Table 6 に示すように、ある立木の周りの樹を2か年にわたって順次伐採した場合に、残存木にかかる雪圧は年によって変動があるけれども、しだいに増加するという傾向はみられなかった。従来、立木を伐採した場合、積雪の移動圧の負担は他の立木に加わっていくと考えられていたが、本試験の結果からみると、伐採によって立木密度が減少しても、個々の立木にかかる雪圧はあまり変わりがなく、逆にいえば、立木は斜面の積雪の移動に影響を与えないとみなしてよいようである。

このことは、前項で述べた影響範囲からみても納得されることである。すなわち、立木に対する積雪移動の影響範囲がせまければ、立木を伐採してもその影響は他の立木まで及ばないわけである。

以上述べたことは移動の少ない、いわゆる安定斜面における測定結果であり、移動の大きい斜面では、移動(滑り)速度の増大により、雪圧は2～5倍にも達するといわれている。

5. 立木形態と雪圧

立木は積雪の移動圧、および、沈降圧によって生育形態にかなりの差を生じ、とくに、急傾斜面に生立している場合は、根元から幹まで大きく弯曲しているものが数多くみうけられる。このように根曲りをし

Table 6. 立木伐採による雪圧の変化
Change of snow pressure by felling

試験区 Test area	A				B			
面積 Area (m ²)	510				325			
年 度 Year	1961~62	1962~63	1963~64	1964~65	1961~62	1962~63	1963~64	1964~65
立 木 本 数 Number of trees	46	46	40	26	50	50	45	36
haあたりの本数 Number of trees per ha	910	910	780	510	1540	1540	1380	1110
伐 採 率 (%) Cutting rates		0	13	43		0	10	28
雪 圧 測 定 本 数 Number of test trees	17	14	24	12	23	20	23	7
最大雪圧の平均値 (ton) Mean value of the max. snow pressure	0.70	1.21	0.25	1.24	1.66	2.01	0.66	1.49
最 大 雪 圧 の 比 Ratio of the max. snow pressure	0.49	0.58	0.55	0.65	1.18	0.96	1.46	0.75

ている立木は、積雪の移動圧と沈降圧の両方の圧力を受けていることになるが、鉛直に成立している立木は移動圧だけを受けているものと考えられる。また、この両者は積雪中に埋雪している樹幹の長さが異なるため、雪圧の受けかたにも相当大きな差が生ずるはずである。

これらの差異についての基礎資料をうるため、35°の同一傾斜面に鉛直、垂直、水平の3種類の受圧柱を設置し、それにかかる雪圧を Fig. 1—C の装置によって測定した。

1961~1962年冬から、1964~1965年の4冬期間に測定したそれぞれの受圧柱に加わる雪圧と、積雪水量（ただし、約 300m はなれた露場で測った水量）を10日おきに両対数方眼紙にプロットすると、Fig. 7 のとおり1次関係になり、雪圧を P (ton) とし、積雪水量を W (mm) とすると、柱の角度にかかわらず

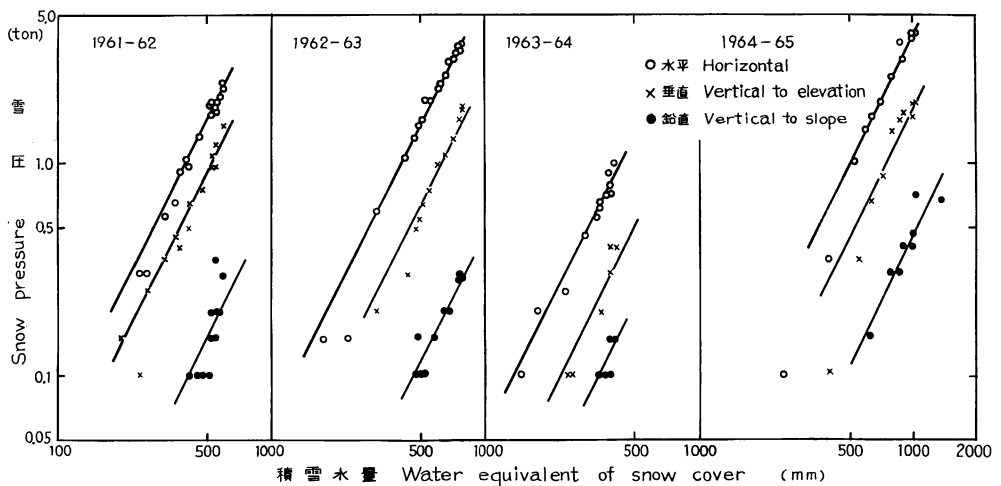


Fig. 7 積雪水量と雪圧の関係
Relation of snow pressure to the water equivalent of snow cover.

Table 7. 式 $P=aw^2$ における定数 a の値
 The values of coefficient " a " in the equation $P=aw^2$

柱の角度 Angle of pillar	1961~62	1962~63	1963~64	1964~65	平均 Mean
鉛直 Vertical to the elevation	0.64×10^{-6} (1.0)	0.45×10^{-6} (1.0)	0.80×10^{-6} (1.0)	0.45×10^{-6} (1.0)	0.60×10^{-6} (1.0)
垂直 Vertical to the slope	3.6 (5.6)	2.4 (5.2)	2.0 (2.5)	1.7 (3.8)	2.43 (4.1)
水平 Horizontal	6.2 (9.7)	5.8 (12.6)	5.2 (6.5)	3.7 (8.2)	5.23 (8.7)

$$P = aw^2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし, a は定数

で表される。すなわち, 柱の角度にかかわらず雪圧は積雪水量の2乗に比例して増加する。ただし, 降雪初期の雪圧の小さいときはばらつきが大きく, 積雪水量が減少しはじめると雪圧が急激に減少して上式からはずれる場合が多い。

定数 a は同じ積雪水量のときの各柱にかかる雪圧の比率を表わすから, a によって各柱にかかる雪圧を比較することができる。定数 a の値は Table 7 のとおりである。

定数 a は年によって変わる。たとえば, 最大積雪水量が 435~796mm であった 1961~1962 年冬から 3 冬季の水平柱の a には大きな差がなく, 3 年間の値は大体 1 つの式で表わされ, 最大積雪水量が 1,043mm と大きかった 1964~1965 年冬には, a の値は小さかった。このように年によって a の値が変わるのは雪質のちがいに由来のものと考えられる。

Table 7 をみればわかるように, 雪圧は柱の角度によって非常に異なり, 4 冬季間の平均値では, 鉛直柱に加わる雪圧を 1.0 とすると, 垂直柱, 水平柱にかかる雪圧はそれぞれ 4.1, 8.7 となる。すなわち, 水平柱に加わる雪圧は鉛直柱に加わる雪圧に比べて約 9 倍にも達し, 垂直柱の場合は約 4 倍の雪圧がかかることになる。

鉛直方向から計った柱の角度を θ とし, 鉛直柱に加わる雪圧を 1.0 とすると, θ と雪圧 P の間には Fig. 8 のとおり 1 次関係が成り立つ。

$$P = 0.086 \theta + 1.0 \dots \dots \dots (2)$$

ただし, $\theta \leq 90^\circ$

いま移動圧を P_1 , 沈降圧を P_2 とすると, 鉛直柱には P_1 だけが加わっていることは明らかであり, 垂直および水平柱には, P_1 と P_2 の両方の圧力が加わっている。積雪の深さは長さ 2.5m の水平柱がちょうど埋まるぐらいか, 多い年でもそれより約 30cm 多く積る程度であった。したがって, 各柱にかかる P_1 は同じと考えてもよい。そうすると, 全雪圧のなかに占める P_2 の比率は

$$P_2/P = \frac{0.086 \theta}{0.086 \theta + 1.0} \dots \dots \dots (3)$$

となる。

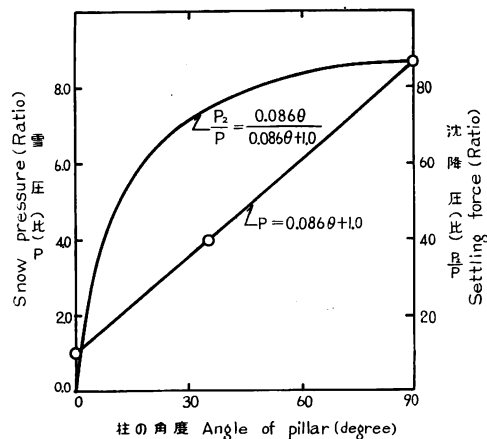


Fig. 8 支柱の角度と雪圧の関係
 Relation of snow pressure to the angle
 between the plumb line and pillar.

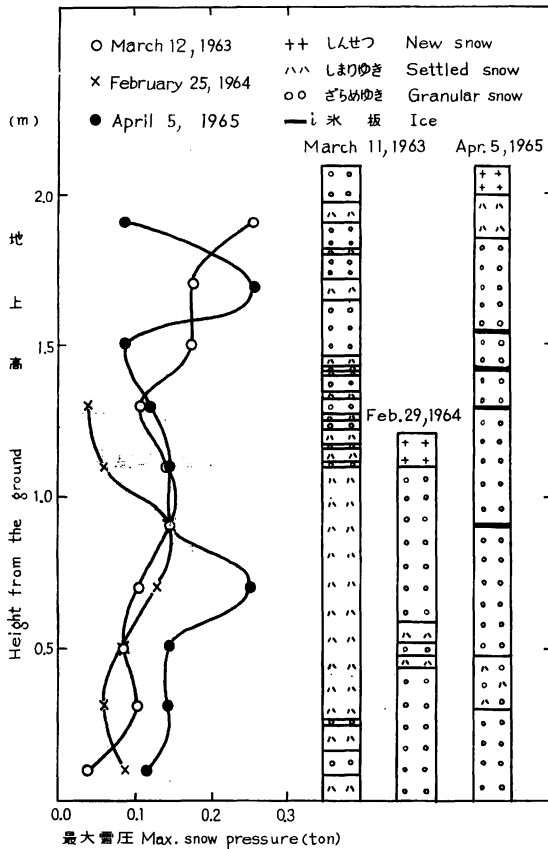


Fig. 9 鉛直柱にかかる最大雪圧の分布
 (Fig. 2—D の装置を使用)

Distribution of the maximum snow pressure acting on the vertical pillar (using the apparatus shown in Fig. 2—D).

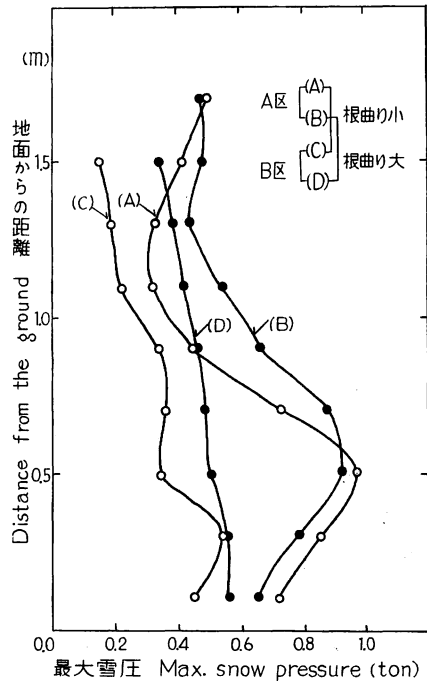


Fig. 10 根曲り木にかかる最大雪圧の分布
 (Fig. 2—B の装置を使用)

Distribution of the maximum snow pressure acting on the tree with a bent lower part (using the apparatus shown in Fig. 2—B).

Fig. 8 からわかるように、受圧柱が鉛直方向からわずか 10° かたむいただけでも、 P_2 の比率は全体の 40% 以上になり、沈降圧の影響が大きいことがわかる。

以上の結果からもわかるとおり、傾斜面に生育している立木は、弯曲の大きい樹木ほど、同じ雪量であっても受ける雪圧は大となるので、根曲りを生じた木はますます大きな雪圧を受けることになる。したがって、雪圧を軽減させようとする場合には、植栽初期からできるだけ鉛直に近い状態に生育させることが望ましいことになる。

6. 雪圧の垂直分布

斜面積雪の移動は、雪質、気象、地況条件などによって、それぞれ異なるため、雪圧の垂直分布もそれに応じた変化をする。たとえば、積雪層の上部付近の移動が大きい場合は P 字型、中央部が大きければ D 字型、中央部が小さくその両端が大きい場合を B 字型というように、雪圧の垂直分布の型が大別されている。

雪層間で雪圧に大きく影響するのは「しまり雪」であり、積雪密度は関係しないといわれ²⁾、また、ク

リープは「ざらめ雪」層の迂り面がある場合などに大きくなるといわれている²⁾。

筆者らが鉛直柱にかかる雪圧の垂直分布を Fig. 2—D の方法で測定した1963～1965年の3冬季の成績は Fig. 9 に示すとおりである。Fig. 9 によれば、雪質に応じて雪圧の分布も変化していることが一応うかがわれ、各冬季とも「ざらめ雪」層の部分に雪圧が大きくあらわれている傾向がみられる。この点は古川²⁾の結果と異なっているが、Fig. 9 の積雪の鉛直断面図は露場で調べたもので、E 斜面の積雪とは多少異なっていると考えられるので、厳密なことはいえない。

雪圧分布の型についてみると、1963 年冬季は「しまり雪」層が多く、1965 年はこれと反対に「ざらめ雪」層が多かったにもかかわらず、分布の型にとくに変わった傾向はみいだせない。

次に、立木形態によって立木にかかる雪圧分布がどう変わるかを Fig. 2—B の方法で測定した結果は、Fig. 10 に示したとおりである。

この図に示した (A) と (B) は樹冠のない B 区の高伐木、(C) と (D) は A 区の立木である。立木形態は (A) と (C) は根元曲りが少ない立木で、(B) と (D) は根元曲りが大きい立木である。

雪圧の総量は (A) が 5.2 ton、(B) が 5.7 ton、(C) が 3.0 ton、(D) が 3.7 ton であって、A・B の両試験区ともに鉛直に立っているものより弯曲した立木にかかる雪圧が大きく、前に述べた結果と一致している。

A 区と B 区の立木にかかる雪圧を比較すると、根曲りの大小にかかわらず B 区の方が大きい。これは B 区の積雪が多いことによるものであろう。すなわち、Table 2 に示したように、A・B 両区の最深積雪は 4 か年平均でそれぞれ 136cm、205cm であって、A 区の積雪深は B 区の 66 % であった。積雪水量が増加すると雪圧もその 2 乗に比例して増加するということは、前述のとおりである。

雪圧の垂直分布は A 区と B 区でかなり異なった傾向を示し、B 区では地上から 50cm 付近のところで最大となって、雪圧分布型からみると B 字型に属するもののようであるが、A 区では下方ほど雪圧が大きくなり、ほぼ直線的に増加する傾向を示している。この原因は両試験区の雪質の差によるものと考えられる。A 区では降雪の一部が樹冠に保留されて冠雪となり、この冠雪が日射によって融解し、水滴となって落下することがある。また、樹幹からの輻射熱による融解など、林内外の気象条件の差異により、A 区は B 区よりも雪質の変態が早く、全層が「ざらめ雪」化することが、こうした結果をもたらす原因であろう。

IV む す び

山形分場構内の実験斜面において観測した過去 4 冬季における立木の配置と雪圧、および立木形態と雪圧、またはこれらに関連する立木周辺の積雪機構についての調査結果を要約すると次のようになる。

(1) 裸地に比較し A 区(スギ林)の積雪深は 30% ほど少なく、B 区(スギ林の高伐)では裸地とほぼ同じである (Table 2)。

(2) 斜面の積雪が移動することによって、立木周辺の積雪状態は不均一となり、積雪水量のばらつきが大きく、樹冠のない B 区において約 10% の変動係数を示し、A 区では冠雪などの影響が加わるため、変動係数は B 区の約 2 倍であった。

(3) 立木周辺の積雪構造をみると、立木上方の圧縮されている雪層は、それ以外の場所に比べて密度、硬度ともにやや大きかった。上方の根元付近では、融雪期になっても「しまり雪」がみられ、立木に密着している部分に氷化現象がみられた (Fig. 4, 5)。

(4) 立木にかかる雪圧は、A区の場合、最小が 0.2 ton、最大が 1.8 ton であったが、B区では前者が 0.4 ton、後者が 2.9 ton であった (Table 3)。これらを裸地の単独柱と比較すると、平均してA区は約 $\frac{1}{2}$ 、B区は裸地の場合とほぼ同じであった (Table 4)。しかし、これらの測定値はばらつきが大きく、とくに、A区は冠雪の落下、あるいは樹木の動揺などによって誤差が大きく、変動係数はA区が 41.7%、B区は 27.8% であった。

(5) 立木に加わる積雪移動圧の影響範囲は、積雪移動の安定地のため、予想以上にせまく大体 5~10 m² の範囲であった (Fig. 3~6)。

(6) ある立木の周りの木を順次伐採しても、残存木にかかる雪圧は伐採前とほとんど変わらないことが明らかにされた (Table 6)。従来、立木を伐採した場合、積雪の移動圧の負担は他の立木に加わっていくと考えられていたが、本試験の結果からみると、積雪移動の少ない安定地では立木密度と雪圧、あるいは、斜面積雪のクリープとの間にはほとんど関係がないとみなしてよいようである。

(7) 斜面に設置した鉛直・垂直・水平の受圧柱にかかる雪圧は、それぞれ積雪水量の 2 乗に比例して増加した (Fig. 7)。また、雪圧は鉛直方向から計った柱の角度の増加につれて直線的に増加し、鉛直柱にかかる雪圧に比べて、垂直柱の場合は約 4 倍、水平柱の場合は約 9 倍であった (Table 7)。すなわち、積雪移動の少ない安定地においては、移動圧よりも沈降圧の方がはるかに大きい。

(8) 雪圧の垂直分布型はA区とB区で差があり、A区では積雪下方になるにしたがって雪圧が大きくなるが、B区では地上 50cm のところで最大となり、B字型の雪圧分布をしているようである。

(9) 立木の形態別にみると、根元曲りの大きい立木ほど沈降圧を受ける面積が大きいので雪圧も大きくなる。

積雪移動の少ない安定斜面における林木周辺の積雪機構については、以上のとおりの結果が得られた。この調査結果が林木の雪害防除対策、とくに、根曲り木の軽減に役だつ基礎資料、ならびに、なだれ防止林の造成法、更新法についての参考資料となれば幸いである。なお、今後は積雪移動の不安定斜面について調査をする予定である。

文 献

- 1) 新井秀雄・生原嘉穀：積雪防止林の立木密度、雪氷, 19, 6, (1957, 11)
- 2) 古川 巖：斜面積雪圧の研究、雪氷の研究, 1, (1953, 11)
- 3) 古川 巖：立木に加わる斜面積雪の基本的現象の研究、雪と生活, 6, 8, (1954, 8)
- 4) 鎌田正之：なだれに対する林木と杭の強度について、雪氷, 21, 6, (1959, 11)
- 5) 片岡健次郎：林相別による積雪深について、雪氷, 12, 5, (1951, 3)
- 6) 片岡健次郎：枝葉の冠雪、林試研報, 54, (1952, 10)
- 7) 片岡健次郎：積雪量の測定値について、雪氷, 18, 3, (1956, 10)
- 8) 片岡健次郎・佐藤正平：積雪によるスギ造林木の根曲りについて (第二報)、雪氷, 26, 2, (1964, 3)
- 9) 川田正夫・高橋喜平：林相の積雪に及ぼす影響について、積雪試験第 2 報、昭和 13 年日本林学会大会講演集, (1939, 3)
- 10) 川口武雄：森林物理学, (気象編), 地球出版社, (1962, 6)
- 11) 中俣三郎：斜面雪圧一群杭の雪崩防止効果、鉄道技術研究所報告, 322, (1962, 8)
- 12) 中俣三郎：雪崩柵設計上の地表粗度と滑り速度について、雪氷, 26, 6, (1964, 11)

- 13) 大味新学：急傾斜地に於ける積雪移動の実態と森林の影響について，日本林学会誌，**34**，3，(1952，3)
- 14) 四手井綱英：積雪と森林，林業技術シリーズ，23，(1951，4)
- 15) 四手井綱英：斜面の積雪移動圧，雪氷の研究，1，(1953，11)
- 16) 四手井綱英：雪圧による林木の雪害，林業試験場研究報告，73，(1954，10)
- 17) 高橋喜平：林地の積雪に就いて，雪氷，**8**，3，(1946，7)
- 18) 高橋喜平：スギの冠雪に就いて，林試研報，54，(1952，10)
- 19) 高橋喜平：群杭に対する斜面積雪のクリープの研究，鉄道技術研究所速報，**60**，75，(1960，4)
- 20) 高橋喜平・片岡健次郎・佐藤正平：林木の耐雪機能，昭和40年度林業試験場東北支場年報，7，(1966，10)
- 21) 渡辺成雄・大関義男：林内雪圧について，雪氷，**25**，1，(1963，1)

Pressure of Snow Cover acting on Trees (1)

Kihei TAKAHASHI, Kenjiro KATAOKA and Shohei SATO

(Résumé)

The pressure of snow cover acting on trees and on pillars set up on slopes was measured to study the mechanism of the snow damage of forests. Then, with these measurements, the distributions of snow depth, snow density and hardness around the trees were observed.

Observations were made on an east-facing test slope of 35 degrees during the winters of 1962~65 at Yamagata Branch Station, Kamabuchi, Mamurogawa town, Yamagata prefecture. This district is situated in a heavy snow region and is covered by deep snow of about 1.5 meters every winter (Table 1).

(1) The tree age of a forest of *Cryptomeria* in which the pressure of snow cover was measured was 50 years, and the density was 910 trees per hectare in A-area and was 1540 in B-area. In B-area trunks were cut at a height of 2 meters (Photo. 2).

The trees in both areas were successively cut during two years leaving a few stands, but the mean value of the maximum creeping pressure acting on the remaining individual trees showed practically no variation even after the cutting (Fig. 1, Table 3, 4, 6).

The creeping of snow was disturbed by a tree on a slope and a limited area of snow surrounding it remained without creep. By observations on the flexure of the boundaries of snow layers and the distribution of the water equivalent of snow around the trees, the "sphere of influence" in which the snow produces creeping pressure to the stand, extended over a mere 5~10 square meters (Fig. 3, 5). Measurements showed that the maximum creeping pressure increased with the increase of the supposed area of the sphere of influence, but remained approximately constant outside the sphere of 5~10 square meters (Fig. 6).

From the above observations it may be concluded that the influence of a tree on snow creep is limited in area and there is no relation between the tree density and snow pressure to each stand on a "stable slope" in which the total creep of snow (gliding at the bottom of the snow cover) is about 0.5~1 meter during one winter, and no cracks occur in the snow cover.

(2) The snow pressure (P) on pillars which were set up on the slope vertical to the

elevation, vertical to the slope and at a horizontal angle, increased respectively and proportionally to the square of the water equivalent of snow (W) or (Fig. 7),

$$P = aW^2$$

The coefficient (a) represents the pressure ratio to each pillar (Table 7). (P) is expressed by a linear function of the angle (θ) between the plumb line and pillar. When the pressure acting on the pillar set up vertical to the elevation is taken as 1.0, we get

$$P = 0.086 \theta + 1.0$$

The above equation shows that the snow pressure on the horizontal pillar is about 9 times that of the vertical one (Fig. 8). In other words, the settling force is exceedingly greater than the creeping pressure on a stable slope, and the trees with a bent lower part receive a greater settling force.



Photo.1 立木にかかる雪圧の測定（A区）
Measuremens of snow pressure on the trees (A-area).



Photo.2 立木にかかる雪
圧の測定（B区）
Measurement of snow
pressure acting on
the trees (B-area).

Photo.3 異なった角度の柱に
かかる雪圧の測定
Measurement of snow
pressure acting on
the pillars set up
at different angles
on the slope.



— Plate 2 —

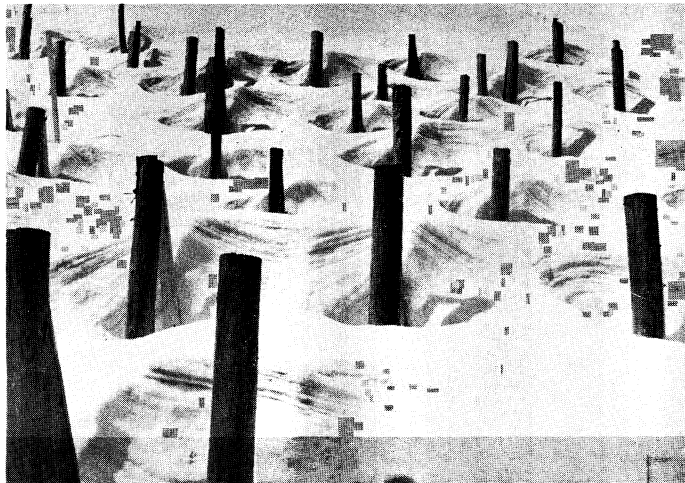


Photo.4 立木周辺の積雪の融解
Melting of snow cover around the trees.

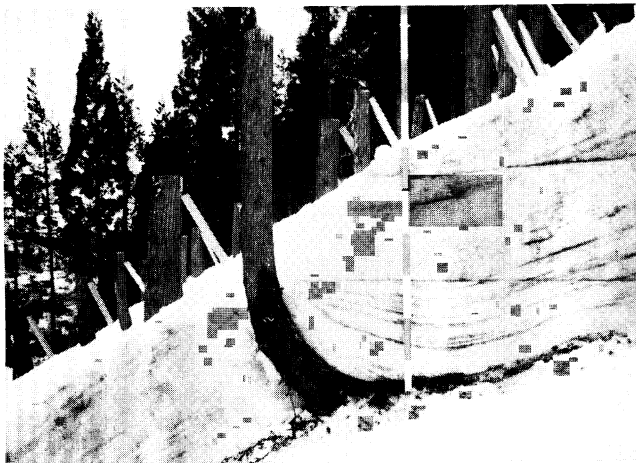


Photo.5 立木周辺の積雪層の垂直
断面（斜面方向に平行）
Vertical profile of snow
cover around the tree
(Parallel to the direction
of slope).

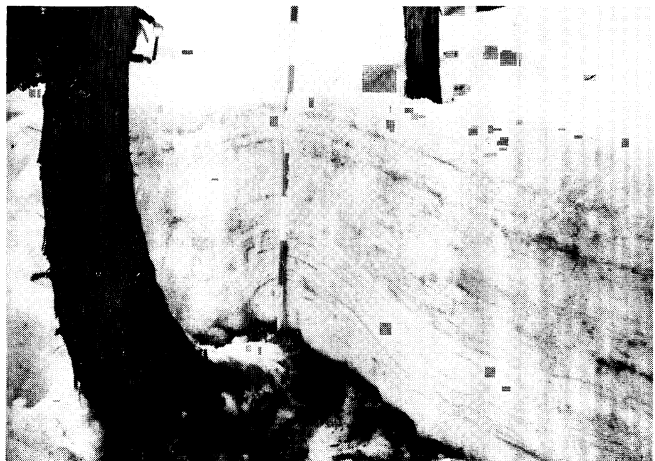


Photo.6 立木周辺の積雪層の垂直
断面（斜面方向に直角）
Vertical profile of snow
cover around the tree
(Normal to the direc-
tion of slope).