

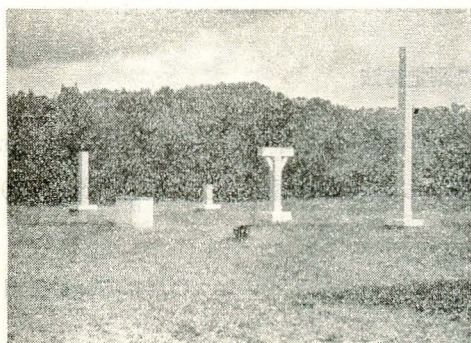
積雪の沈降力(第2報)

(昭和17~21年の結果より)

Tsunahide SHIDEI, Kihei TAKAHASHI: On the settling force of snow (2nd report) from the results obtained in 4 winter seasons ranging from 1945 to 1947

農林技官 四手井 綱 英
農林技官 高 橋 喜 平

積雪沈降力観測設備(地上部)の一部
昭和22年雪季実行分



— 撮影・高橋 —

目 次

I	緒 言	1
II	設備並に測定方法	2
III	測定結果と其の考察	2
	(A) 昭和17年冬期以降の測定結果の概要	2
	(B) 第1期の沈降力に就て	4
	(C) 第2期の沈降力に就て	6
	(D) 第3期の沈降力に就て	19
	(E) 第4期の沈降力に就て	23
	(F) 沈降力を生ずる積雪の「フトン」の形	24
IV	總 括	25
V	結 言	26

I 緒 言

積雪の沈降力(壓)については、既に平田博士が「鐵棒の曲りに就て¹⁾」定性的な研究を發表されており、次で天野一郎氏が定量的な観測を開始されて、其の成果の1部は既に報告されて居るが²⁾、筆者等は同氏の戦死後これを繼承して、同一の装置により、観測を續け、昭和18~19年冬期より、同21~22年冬期に至る4冬期間の結果を得たので、これらを一應取り纏め中間報告として發表する事にした。

現在更に測定條件を種々變化せしめて、研究を續行しているが、これらに關しては引續き報告したいと思つている。

本研究の目的は、

1. 崩雪防止工事等の雪中工作物の強度算定の基礎
2. 林木等の耐雪條件の判定

等があげられるが、近時鐵道關係でも積雪地方の諸工事の雪害防止上、積雪の沈降力の研究が必要となり、各方面で研究を開始したようで、雪害対策樹立上本研究の重要さがうかがわれる。

本試験の現地観測は總て、林業試験場十日町森林治水試験地の露場で實施せられ、観測及測定装置は同地主任の高橋が擔當し、取り纏めは筆者等が協力して行つた。

本報告を發表するに當り、昭和17年冬期以降戰時の惡條件を克服して観測に従事せられた同地の根津技官、渡邊助手等の職員各位並に、結果の整理、圖表の作製等に協力せられた本場防災部の瀧口、柳谷助手等の諸氏に謝意を表し、又取り纏めに際し、終始有力な助言を賜つた平田博士、飯塚防災部長及川口技官に感謝すると共に、本研究費の1部を補助せられた新潟縣廳、數臺の力量計をこゝろよく貸與せられた鐵道技術研究所にも深謝する次第である。

尙こゝに本研究未完成のうちに不幸戰死された先輩天野氏の冥福を祈りたいと思う。

Ⅱ 設備並に測定方法

設備は天野氏の行つたものを其儘踏襲したが、木柱の地上高は年と共に逐次、50cm、100cm、150cm、200cmと變化せしめ、木柱上の横木は除去し、柱の受壓面積を $3.2 \times 3.2\text{cm}$ 、 $10 \times 10\text{cm}$ 、 $50 \times 50\text{cm}$ 等に變更して測定した。

測定用力量計は天野氏使用のものの外、高橋考案のスプリングバランス利用のものを併用したが、其の精度は略同一と見做し得るものである。

測定方法は、沈降力は毎日10時、16時の2回観測とし、是に必要な氣象因子は10時1回観測の外、自記を併用し、雪質の調査は半旬1回観測を實施した。

Ⅲ 測定結果と其の考察

(A) 昭和17年冬期以降の測定結果の概要

天野氏の報告以降、昭和21年冬期に至る迄の4冬期の結果に天野氏の報告した昭和17年冬期の分を加え、5冬期間に第1表に示す15種類の観測を行つたが、この全データを表示する事は資料が多いため、紙面の都合上困難であるので省略する事とし、(資料のみ一括し、別に發表する豫定である)其の経過の概要を第2表に示し、各々特徴のある傾向を有する昭和19~20年及昭和20~21年兩冬期及昭和21~22年冬期のものを第1及第2圖に掲げた。其の他の年度のものは、以下記する所に従い必要な部分のみ表若くは圖で示すことにする。

第2表に示した各年度の経過の概要を説明すれば次の如くである。

1. 昭和17~18年の結果

この冬の測定装置は柱高150cm受壓面 $10 \times 50\text{cm}$ であつて、其の経過に就ては天野氏が詳述しているが、沈降力は積雪開始と同時に現れ始め、受壓面が積雪下に埋没するや爾後、急昇し

第1表 測定装置及方法

年 度	測定用木柱の種類		備 考
	受圧面の 大 小	柱 高	
	cm cm	cm	
昭17~18	50×10	150	測定は力量計による
18~19	50×10	100	同 上
19~20	50×10	100	同 上
20~21	50×10	100	同 上
	50×10	100	スプリングバランスによる
21~22	3.2×3.2	50	同 上
	3.2×3.2	100	同 上
	3.2×3.2	150	同 上
	3.2×3.2	200	同 上
	10×10	50	同 上
	10×10	100	同 上
	10×10	150	同 上
	10×10	150	力量計による
	50×50	100	同 上
	50×50	150	同 上

て2月27日頃約1100kgに達して其の上昇が鈍化し3月11日極大値に達し、3月18日頃より融雪開始と共に下降を始め4月11日には柱が露出している。

この年の沈降力極大日は積雪最深日と良く一致している。

2. 昭和18~19年の結果

この冬は測定用木柱の柱高を100cmとし、受圧面の大きさは前年同様10×50cmとした。

沈降力消長経過も略々前年と同様であつて、積雪開始と同時に沈降力を現出し、受圧面が埋雪すると共に急昇して、2月23日積雪292cm、沈降力1100kgで略々極大値に達し、爾後4月19日沈降力が急減を開始する迄の約55日

間殆んど同一値を持続し、前年同様沈降力に一定の極限值が存在するらしい事を示しているが、只本年は積雪の最深と沈降力の極大値との現出日が可成りくい違つており、沈降力の極大値の方が約40日遅れて現われている。

3. 昭和19~20年の結果

この年の装置も前年と同じであるが、本年は十日町試験地開所以來の豪雪の冬で、最深積雪425cmにも達したが、それにもかゝらず、沈降力の消長経過は前2冬と略同様であつた。積雪深の極大と沈降力の極大とのずれは約6日であり、沈降力がほぼ極大に近い値を持続した期間は約92日の長期間であつた。又極大値は前2冬よりやや大で1168.5kgを示した。

4. 昭和20~21年の結果

以上の3ケ年は何れも巾10cm、長50cmの長方形の受圧面を有する木柱を使用し、柱高は昭和17~18年が150cm、他の2ケ年は100cmであつたが、本年は、受圧面10×50cm、柱高100cmの木柱と、受圧面10×10cm、柱高100cmの木柱の2種の測定装置を設けて、観測した。

この冬は例年に比し寡雪で、最深積雪240cmであり、しかも積雪の増減がはげしかつた結果、受圧面10×50cmのものも837kgの沈降力しか示さず、前3ケ年より約400kg少い。

又前年と異なる點は、沈降力の極大値が一定期間繼續せず、沈降力は極大に達した後直ちに下降を開始している點である。

受壓面 $10 \times 10 \text{ cm}$ の木柱に於ても、沈降力の消長經過は略々同様であるが、極大値は 298 kg で、前者の $\frac{1}{3}$ にすぎない。

5. 昭和 21~22 年の結果

本年は觀測設備を更に擴張し、約 10 種類の異なる受壓面積と高さとを有する木柱を用いて測定した。

これらを通覽すると、沈降力の消長經過は、既往の成果と大體一致しているが、受壓面の大きさ及び高さにより沈降力の極大値に著しい差違が認められる。又沈降力と積雪深との極大値の現れる日の關係は一定しておらず、一般に沈降力の極大値の方が遅れて現れているが、I 號柱は逆であり、II 號柱は略々一致している。極大値の繼續期間にも甚しい差違があり、I 號柱は 100 日、II 號柱は 50 日で、他はある日數極大値を繼續している様であるが、其の間の變動が大きく、昭和 19 年迄の 3 冬期程判然としたものは少ない。

以上各年別の沈降力の消長經過を概觀してわかる點は、次の諸點である。

- (1) 積雪の沈降力は受壓面の大きさ及び高さに関係がある事。
- (2) 沈降力の大きさは積雪の量と質とに関係を持つらしい事。
- (3) 沈降力の消長經過は 4 期に區分して考えるのが妥當と思われる事。

等で、上記の 4 期とは

(a) 第 1 期。積雪開始より受壓面が積雪下に埋設する迄。換言すれば、沈降力が現れ始めてより、急昇を始める迄の期間。(變動期)

(b) 第 2 期。柱が埋設してより、沈降力が略一定の極大値に近くなる迄。即ち沈降力が急昇する期間。(上昇期)

(c) 第 3 期。沈降力が略一定の極大値を持続する期間。(極大期)

(d) 第 4 期。沈降力が融雪と共に急降して受壓面が雪面に露出する迄の期間。(下降期)である。

これらの 4 期中第 3 期は、木柱の高さ、受壓面の大きさにより、或は年により、甚しく長短があり、現出しない場合もあるが、他の 3 期は全測定結果に常に存在している。

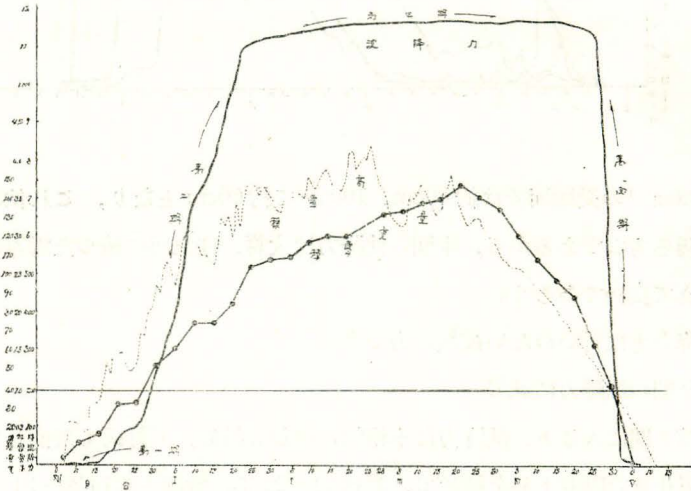
以下 5 冬期の觀測結果をこれらの期間に區分して、埋雪した木柱に作用する積雪の沈降力を解析し、其の原因を考察して行きたいと思う。

(B) 第 1 期の沈降力に就て

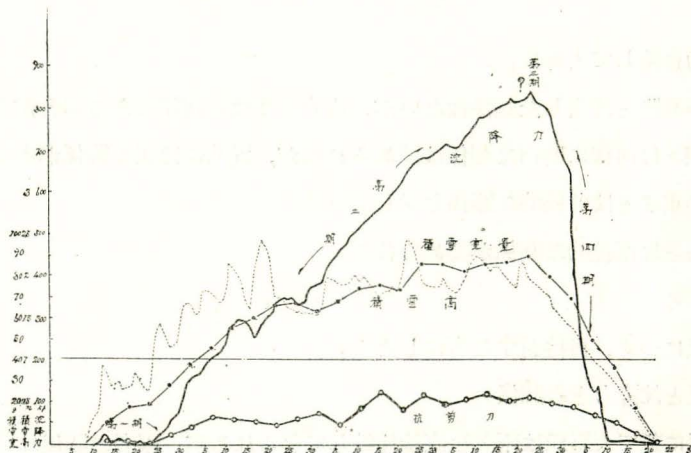
この期間の沈降力は柱の受壓面が未だ積雪面上に露出している間のものであり、天野氏の説明の如く、受壓面上に積つた雪の重さと、柱の含水量の増加との和が其の儘沈降力としてダイヤルゲージに現われたものと見られる。

木柱の受壓面は比較的小面積であるから、それに積る雪冠の高さは、同時に積る地上の積雪より高くはならないし、日射、気温の上昇、風等に影響されて、落下し、減少するから、地上の積雪深の増減とは完全に一致し得ないが、略々両者は比例して増減するものと思われ、各年度共に第1期の沈降力の増減は積雪深の増減に比例して変化している。(第1, 2圖参照)

第1圖 (その1) 昭和19~20年の沈降力消長經過
 受壓面 10cm×50cm 柱高 100cm

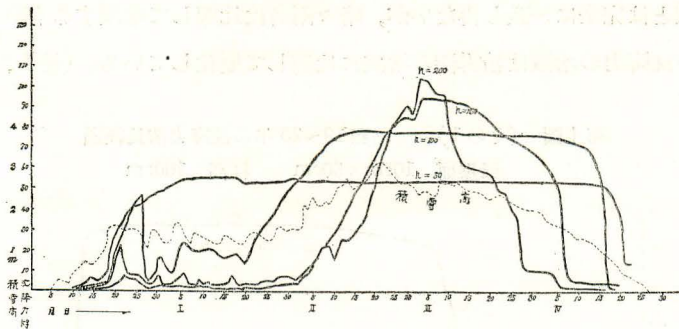


第1圖 (その2) 昭和20~21年の沈降力消長經過
 受壓面 10cm×50cm 柱高 100cm



観測結果より柱上の雪冠の重量を摘録すると、受壓面 500cm² の埋雪直前の値が約 12kg, 100cm² で約 5kg, 10cm² で約 2kg であつて、積雪の密度を 0.3 とし、受壓面より 5cm はみ出した立方體の雪冠を假定し、其の雪冠の高さを計算すると、受壓面 500cm² の時は雪冠の高さ

第2圖 昭和21~22年の沈降力消長経過
受壓面 3.3cm×3.3cm



は約50cm、100cm²の受壓面では約60cm、10cm²で約60cmとなり、これ位の大きさの雪冠は柱上に附着し得るものであるから、本期の沈降力は大體、柱上面に積つた雪冠の重さを示しているものと考えて良いであらう。

即ち所謂沈降力とは言い得ない種類の力である。

(C) 第2期の沈降力に就て

第1期より第2期に入ると、沈降力は本格的に増加し始め、天野氏も指摘している様に、積雪深が著しく變化せぬ限り上昇を續けて、昭和21~22年の數例と昭和20~21年の一例を除く外は次の第3期の極大値に達する。

本期は既に柱が埋雪しているのであるから、本期以後の木柱に作用する力が所謂沈降力である。

本期の沈降力に關して天野氏は、

- a) 氣溫の昇降とは大した關係はないが、質的には負の關係にある場合が多い。
- b) 積雪深とは同様に明白な關係は認められぬが、質的には正の關係がある。
- c) 積雪の重さとは曲線的な關係を示している。
- d) 抗剪力とは直線的な關係が認められる。

と述べていられる。

これらの關係につき、再検討する事にしよう。

(イ) 氣溫と沈降力との關係

氣溫との關係に就て天野氏は兩者を直接比較してをられるが、兩者の關係は2つに區分して考えねばならないと思われる。即ち一つは氣溫の上昇、下降と言う氣象現象と降雪量の多少と言う現象との關聯性に於ての沈降力への影響であり、今一つは氣溫の變化が熱變化として積雪に與える質的の變化を通じての沈降力への影響であつて、氣溫と沈降力とを直接比較する時は當然此の兩者が同時に相關聯して影響するはずであるから、氣溫と沈降力との關係は不明瞭と

なるのは當然である。

雪の降る氣象條件は當地方では、大陸から日本海を越えて来る北西乃至西風(十日町地方では局地的に南西風になる事が多い)による氣流に關係するから、一般に降雪が多い日即ち積雪の増す日は氣溫が低下し、降雪が少いか又は積雪深が低下する日は、氣溫が上昇すると言う關係が成立し、この場合は、氣溫が積雪の増減を通じて、間接に沈降力の増減に影響する事になる。

更に氣溫は熱として積雪に作用し、雪質を變化せしめ、積雪のもつ各種の物理的性質を左右するのであるから、この點でも氣溫は直接沈降力と關聯するものでなく、積雪の質的變化を通じて沈降力に影響するものである。従つて、氣溫と沈降力との關係はむしろ、積雪量及積雪の質的變化と沈降力とを比較して見た方が良いと思われる。

天野氏が指摘されているように、沈降力の増加した時は氣溫の低い時であるが、氣溫の低い時は必ずしも沈降力は増加せず、氣溫の上昇した時は沈降力は減少若くは増加量の少い時であつても、沈降力の増加せぬ時は必ずしも氣溫の高い時とは言えない。むしろ單位積雪量當りの沈降力の増加量は、降雪後の氣溫の上昇した日に常に大である事實も認められるので、氣溫と沈降力とを直接比較するより、積雪量、或は雪質の變化等と沈降力との關係を精査した方が得策であるから、ここでは天野氏の述べられた質的關係で満足して置こう。

昭和18~19年以降の結果に就ても、氣溫と沈降力との關係は略同様の關係で、取り立てゝ述べるような特異點も見出し得なかつた。

(ロ) 積雪量との關係

積雪量と沈降力との關係は、積雪量を單に積雪深として比較すると、大體正の關係を持つて居り、單位面積當りの積雪の重量を求めて、これと沈降力とを比較すると、或る曲線關係を示す事は天野氏も認めておられるが、この場合、單なる積雪深のみを比較の對象とすることには疑問がある。積雪深とは只色々な違つた質の雪層の高さの總和にすぎず、同一深の積雪でも其の密度の差違により單位面積當りの重量は同一にはならないから、さ程密な關係を示さないのは當然である。

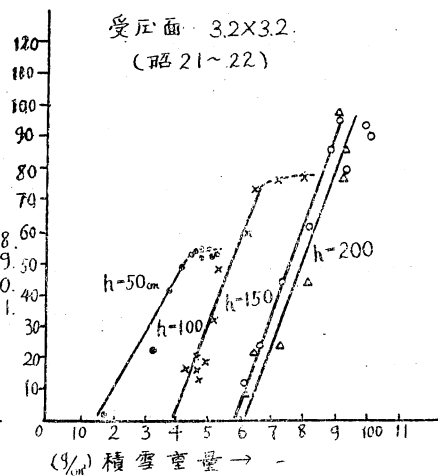
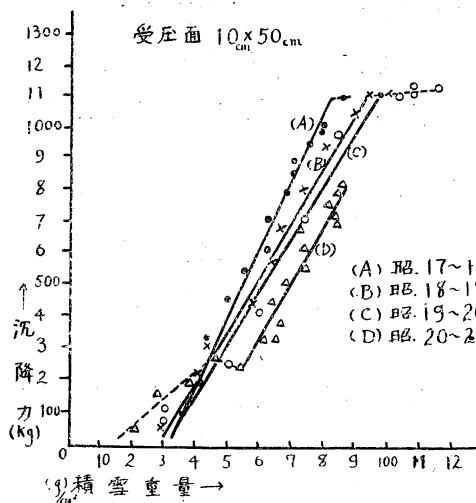
積雪の重さ(單位面積當りの總積雪重量)との關係は上記の様に第1乃至第3期を通じて一つの曲線式を示す事が天野氏により指摘されているが、第2期のみを分離して、沈降力と比較して見ると兩者の關係が一層密であり、其の部分では直線關係が認められる。(第3、4圖參照)

積雪の重さと沈降力の關係は全觀測を通じて一樣に認められ、又其の關係は各年度共甚だ密である。只第3、4圖に示した様に、昭和20~21年の受壓面10×50cmのものと、10×10cmのもの及び昭和21~22年の數例に、兩者の關係を示す直線が途中で切れて折線狀になつてゐる所があるが、これは其の時季に降雨があつたり、可成長い間、氣溫が高く快晴が続いたりし

第3圖 積雪の重さと沈降力との関係 (註、實線が第2期)

その1

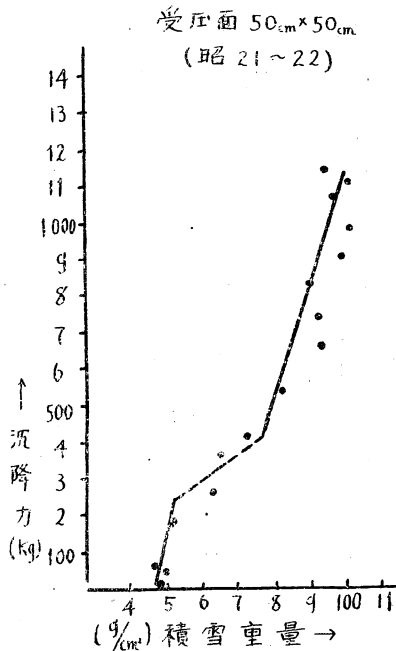
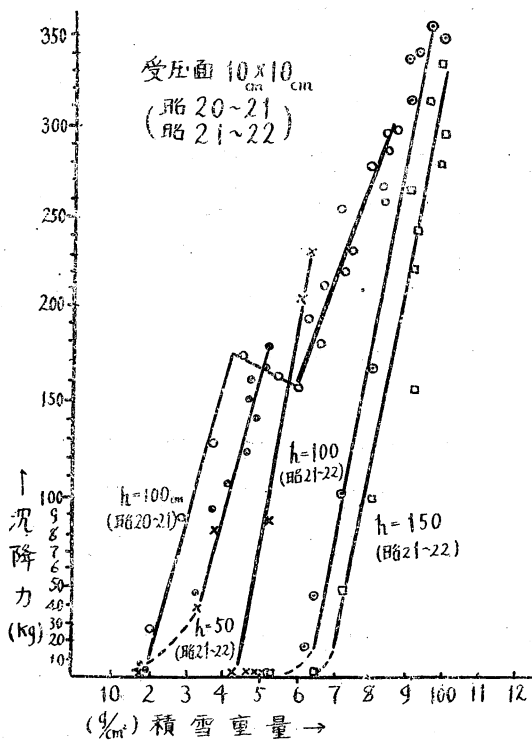
その2



第4圖 積雪の重さと沈降力との関係

その1

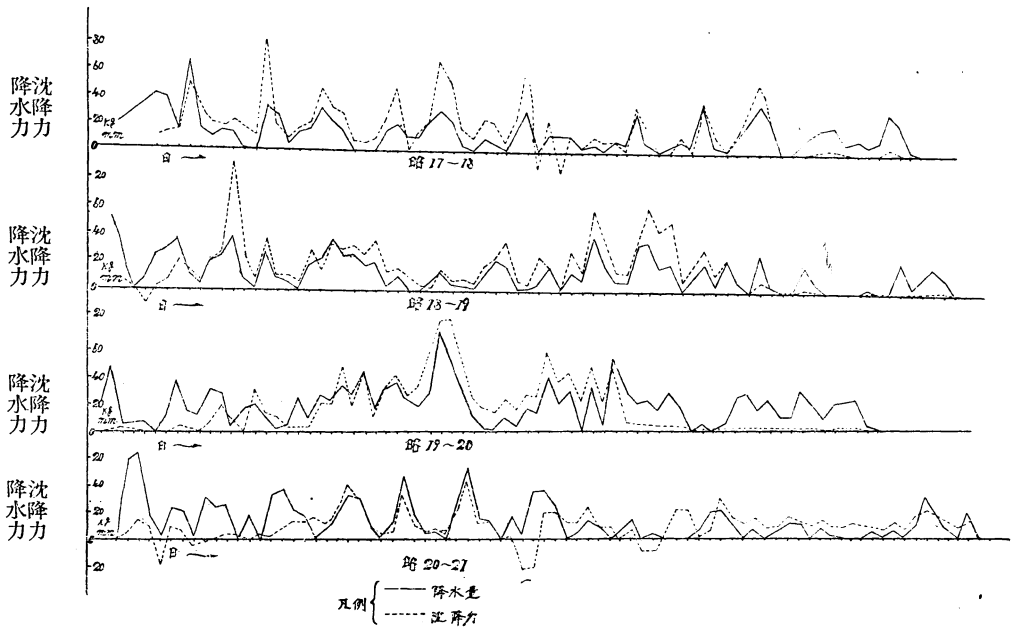
その2



た爲、後述するように、受圧面で支えられていた「フトン状の積雪」が切れて落下した結果、沈降力を作用している積雪の状態が變化した結果と考えられる。

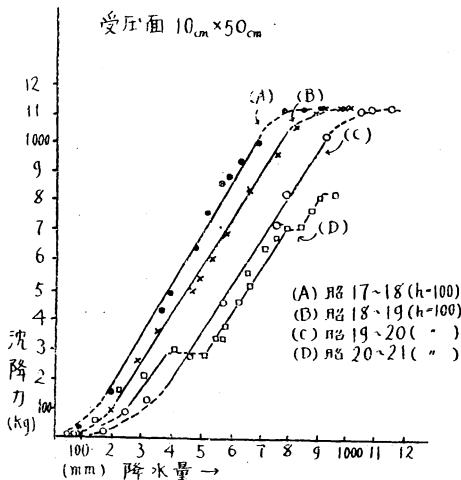
積雪の重さは半旬毎の観測値しかないので、更に日降水量と同日の沈降力の増加量とを比較して見た所、第5圖に示した様に、其の關係は1部の例外を除いて極めて密な事を見出し得た。そこで半旬毎の降水量合計と沈降力とを比較すると、第6、7圖の様になり、積雪の重さとの關係と(第3、4圖)極めて類似した直線關係を示すことが認められる。

第5圖 日降水量と沈降力日變化との關係

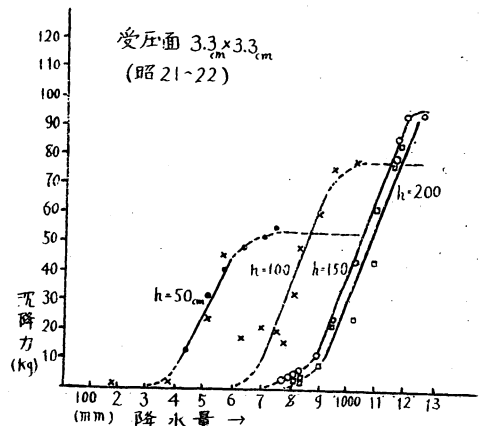


第6圖 總降水量と沈降力との關係 (註、實線が第2期)

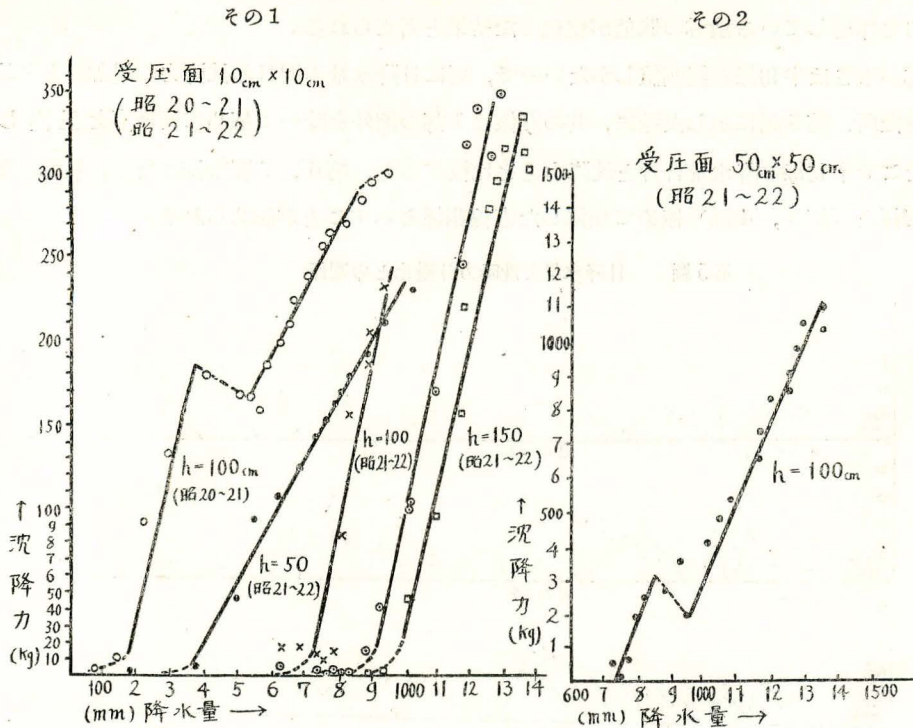
その1



その2



第7圖 總降水量と沈降力との關係



以上の事實は沈降力の原因が積雪の重さと密接な關係を持つことを示すもので、沈降力發生の原因を考究する上に有力な足掛りを與えるものであるから、積雪の重さ及降水量と沈降力との關係を求め、直線式 $y = a + bx \dots (1)$ を用いて、その常數を求めた。

(1) 式の a は柱が埋雪する迄の積雪の重さ、若しくは降水量合計を示し、第2期とは大した關係はないが、 b は單位面積當りの積雪の重量 $1/10\text{g}$ 、若しくは降水量 1mm に應ずる沈降力の増加量 (kg) を表している。(b は又沈降力が柱により支えられた積雪の重さであると假定すると、單位積雪重量或は單位降水量に應ずる、沈降力を生ずる積雪の廣さ (m^2) を表すものとも考えられる)。

この結果は第3表に括めてあるが、相關係數は全觀測結果が $+0.9$ 以上を示し、極めて密であり、式 (1) に於ける常數 (b) は受壓面の大き及び柱高の同一なものに對しては、觀測年度を異にしても略々同一値を示し、同一の受壓面では例外もあるが、地上高が高い程大きな値を示している事が多い。然も、降水量より算出したものも、積雪の重さより計算したものも近似値を示していることが認められる。

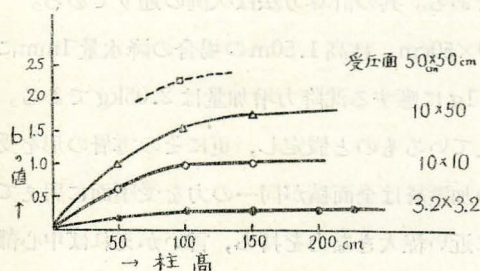
又 b の値を受壓面の周邊長、或は地上高別に圖示すると第8圖の様になり、大略其の關係は一定の曲線で示し得るように思われるが、これは未だ測定回數が少く、にわかに斷定は出来ない。

第3表 沈降力と總降水量及積雪の重さとの關係

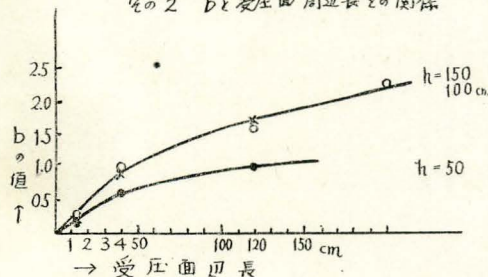
區 分 年 度	受 壓 面 積	柱 高	總 降 水 量 と の 關 係		積 雪 總 重 量 と の 關 係	
			相 關 係 數	降水量 1 mm に 應ずる沈降力 増加量 (b)	相 關 係 數	積雪重量 0.1g/cm ² に應ずる沈降力 増加量 (b)
略	cm cm	cm		kg		kg
17~18	10×50	150	+0.99±0.004	1.72	+0.99±0.004	2.05
18~19	10×50	100	+0.99±0.004	1.55	+0.99±0.004	1.66
19~20	10×50	100	+0.99±0.005	1.43	+0.98±0.008	1.50
20~21	10×50	100	+0.99±0.004	1.75	+0.92±0.03	1.69
21~22	3.2×3.2	50	+0.99±0.006	0.18	+0.99±0.006	0.17
	3.2×3.2	100	+0.97±0.02	0.29	+0.97±0.03	0.28
	3.2×3.2	150	+0.99±0.005	0.27	+0.98±0.03	1.28
	3.2×3.2	200	+0.95±0.02	0.29	+0.94±0.03	0.26
	10×10	50	+0.99±0.004	0.38	+0.95±0.04	0.64
	10×10	100	+0.94±0.04	1.02	+0.94±0.04	1.12
	10×10	150	+0.96±0.02	0.85	+0.91±0.04	0.95
	50×50	100	+0.99±0.004	2.30	+0.90±0.004	2.19

第8圖 受壓面周邊長及柱高とbとの關係

その1 bと柱高との關係



その2 bと受圧面周邊長との關係



以上の如く、沈降力と積雪の重さ或は降水量との關係は非常に密接であるから、この結果より判斷するとすれば、第2期の沈降力は柱の受壓面の大き及び柱高に關し、柱を中心とした一定の廣さを持つ積雪の重量が、柱上面の受壓面にかゝり、生ずるものと考えられる。(第8圖より見ればbの値は受壓面の大きさ(周邊長)には明らかに關係があるが、柱高との關係では、柱高 50cm のものの値が著しく小である以外は柱高に關せず、略同一値であるから、或る高さ以上の柱高ではbの値は一定とも考えられる。しかし、柱高 100cm 以上のものでは、柱頭より下部にある積雪の層が冬期間に完全に沈降、消失する事はなく、柱上に支持

されている雪層の下面の延長部が接地する事はないから、柱高が 100cm 以上あつても、眞に柱高として作用している高さはそれより低い。従つて、沈降力と木柱の柱高との關係を知るた

めには、有効地上高を考えねばならないと思われるが、現在迄の観測ではこれが不明であるから便宜上、柱高をそのまま比較の対照としたので、このような結果になつたものであろう。因に地表面からの融雪量は日量 1～2mm であり、例えば平均密度 0.35、深さ 100cm の積雪が沈降し、完全に消雪してしまうには、他の融雪条件、例えば、雪表面からの流下水による融雪があつたとしても 100～150 日かゝり、冬期間に全く融けざることはないのである。従つて、柱高 100cm 以上の場合、柱高にかゝわらず有効地上高が略々同一であつた結果 b が等しくなつたと考えた方が良くもしいないが、これは今後の研究により、解決したい。

第4表 沈降力と總降水量及積雪の重さとの関係より算出したフトン状積雪の廣さ

受壓面積	區分 柱高	沈降力を生ずる「フトン状積雪」の廣さ			
		cm 50	100	150	200
cm cm 3.2×3.2		cm cm 40×40	50×50	50×50	50×50
10×10		80×80	110×110	100×100	～
10×50		～	110×150	120×160	～
50×50		～	150×150	～	～

次に、この沈降力を生ずる一定の廣さの雪層は柱を中心として、對掌的な擴がりを持つものと考えられ、其の雪層全部が柱の受壓面に均等な荷重を與えているものと假定して略算によりこの雪層の廣さを計算した結果が第4表の数値である。其の計算方法は次例の通りである。

(例) 第3表より昭和 17～18 年の受壓面 10×50cm、柱高 1.50m の場合の降水量 1mm に應ずる沈降力増加量は 1.72kg、又積雪總重量 0.1g に應ずる沈降力増加量は 2.05kg である。

今加壓雪層全部が均等荷重を柱の受壓面に與えているものと假定し、更にその雪層の形を受壓面と同様の矩形であると假定すると（勿論之の加壓層は全面積が同一の力を受壓面に與えているとは考えられない。恐らく實際には受壓面に近い程大きな力を持ち、言いかえれば中心部程力の大きな荷重であろうと思われる）

(i) 降水量より計算した場合

$$1720 = 0.1 (10 + 2a) (50 + 2a)$$

... a は受壓面外へはみ出した雪層の巾

$$\approx 0.1 (10 + 105) (50 + 105)$$

(ii) 積雪の重さより計算した場合

$$2050 = 0.1 (10 + 2a) (50 + 2a)$$

$$= 0.1 (10 + 110) (50 + 110)$$

故に $2a = 105\text{cm}$ 或は 110cm となり、

$a = 5.2.5\text{cm}$ 或は 55cm となる

この表の数値によれば、地上高 100cm 、受圧面 $10 \times 10\text{cm}$ 以上の柱では、沈降力を生ずる雪層、換言すれば柱により支えられている積雪の廣さは、大體受圧面外へ半径約 50cm はみ出したものであると見做し得ることになる。

以上、積雪の重さと沈降力との関係につき考察した所を綜合して見ると、平田博士の述べている如く、沈降力は柱の受圧面により支えられた「フトン状積雪」の作用と見なす事が妥當と思われ、しかも其のフトンの重さが、とりもなをさず沈降力であると見てさしつかえないようである。

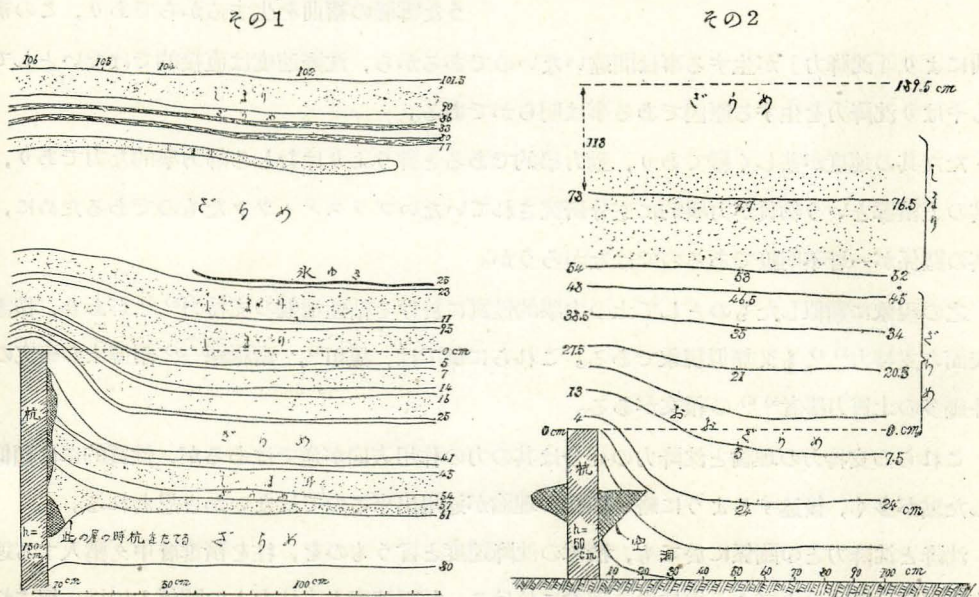
積雪下の本柱の周邊に於ける積雪の斷面をスケッチしたのが第9圖であるが、積雪は本圖に見られる通り、木柱により支えられて、其の部分のみ褶曲し、あたかもフトンを掛けたような状態を呈しているのであつて、上記の計算により略算した雪層の巾は大體このフトンの變曲點迄の巾にあたつており、沈降力はフトン状に支えられた雪層の重さではないかと考えられるのである。

(ハ) 沈降との關係

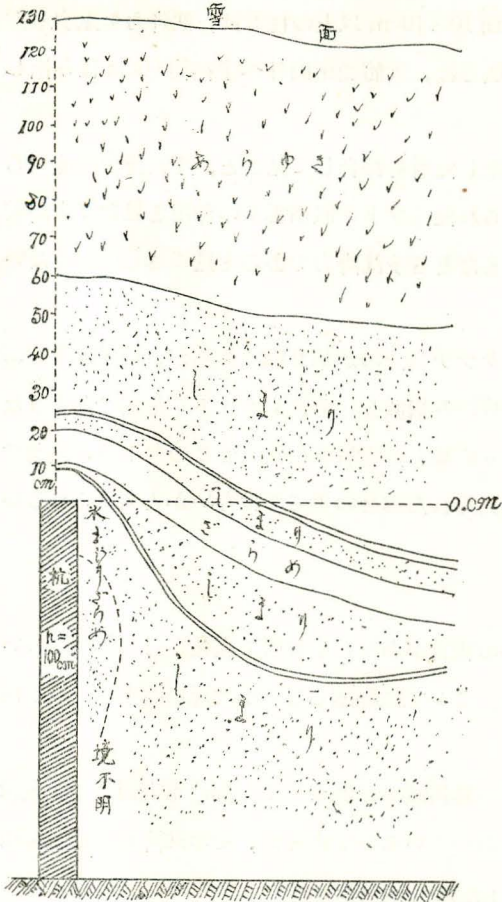
積雪の沈降に關しては、天野氏、平田博士等の報告があり、十日町で高橋が連年觀測しているので、いづれ改めて發表する豫定であるから、こゝでは詳述しないが沈降に關する一般の傾向を述べよう。

積雪の沈降の主原因は雪質の變化による積雪の體積減少にあり、又一部は地表面よりの融雪及雪層内部での融雪による積雪深の減少も加わつているのであるが、その沈降速度は新雪初

第9圖 埋雪した木柱附近の積雪斷面圖



第10圖 埋雪した木柱附近の積雪断面圖 その3



期には雪質變化が急であるために甚だ急速であり、舊雪化と共に漸次緩慢となり、全層が「ザラメユキ」化すると殆んど零に近い定速で直線的に變化するようになる。この末期の沈降は主として、地表面に於ける融雪によるものであるから、いわゆる雪がしまると言う現象によるものではない。「しまる」と言う意味での沈降は新雪から「締雪」の間が主要部分である。従つて一積雪断面では沈降速度は上層部程急で、下層部に至るに従い緩となる。

沈降速度と沈降力との關係は天野氏が、沈降の加速度を求め沈降力との關係を調べて、直接には大した關係は認められないと結論して居られる。しかし積雪が所謂「沈降力」を積雪下の物體に作用せしめている原因は、この物體の上面より下の積雪層が、たえず重力方向に沈下し移動するにかゝらず、物體の上面や周邊の積雪は物體により沈降をさまたげられて取り残され、物體の周邊で上述のような雪層の褶曲を生ずるからであり、この褶

曲により「沈降力」が生ずる事は間違いないのであるから、沈降速度は直接的ではないとしてもやはり沈降力を生ずる原因である事は明らかである。

ただ其の速度が甚しく緩であり、動力學的であると言うよりはむしろ靜力學的な力であり、其の上積雪という物質が力學的に充分研究されていないプラスチックなものであるために、其の關係が一層不明瞭であるのではなからうか。

之の現象に類似したものとして土の力學的性質に於ける粘性地盤の支持力^{3) 4)}があり、積雪表面の支持力^{3) 4)}も又類似現象である。これらに就ては、黒田³⁾、齋藤鍊一⁴⁾ 兩博士の研究の外幾多の土質力學者^{5) 6)}の報文がある。

これらの支持力の理論と沈降力の場合は其の力の作用方向が逆ではあるが、性質的には類似した點が多く、後述するように略々同様の理論が適用出来るのではないかと思われる。

沈降と沈降力との關係に於ても、積雪の沈降速度と言うものを、柱を積雪層中へ壓入する速度を規定するものと考え、支持力の理論に於ける、加壓速度と支持力との關係と同様に解すれ

ば良いのではなからうか。

第5表 沈降速度の一例 (昭和19年12月31日測定開始積雪高215cm)

月日	10h-10h 沈降量	累 計	總沈降量 に對する %	月日	10h-10h 沈降量	累 計	總沈降量 に對する %	月日	10h-10h 沈降量	累 計	總沈降量 に對する %
	cm	cm	%		cm	cm	%		cm	cm	%
XII 31	27.55	27.55	22	18	1.35	107.50		5	0.60	122.60	
I 1	14.15	41.75	33	19	1.25	108.75		6	0.50	123.10	
2	10.80	52.50	41	20	1.20	109.95	87	7	0.40	123.50	
3	7.15	59.60	47	21	1.05	111.00		8	0.45	123.95	
4	6.90	66.55	53	22	1.00	112.00		9	0.35	124.30	98
5	5.80	72.35	57	23	1.00	113.00		10	0.35	124.65	
6	5.10	77.45	61	24	0.95	113.95		11	0.30	124.95	
7	4.65	82.10	65	25	1.00	114.95	91	12	0.25	125.20	
8	3.90	86.75	68	26	0.90	115.85		13	0.35	125.55	
9	3.15	89.90	71	27	0.80	116.65		14	0.25	125.80	99
10	2.60	92.50	72	28	0.90	117.55		15	0.25	126.05	
11	2.95	95.45		29	0.80	118.35		16	0.25	126.30	
12	2.35	97.80		30	0.70	119.05	94	17	0.25	126.55	
13	1.95	99.75		31	0.70	119.75		18	0.10	126.65	
14	1.80	101.55		II 1	0.60	120.35		19	0.10	126.75	100
15	1.60	103.15	81	2	0.55	120.90		20	以下	略	
16	1.55	104.70		3	0.55	121.45					
17	1.45	106.15		4	0.55	122.00	96				

第5表に沈降速度の一例を示したが、積雪初期に於ては日量 20~30cmで、數日中に總沈降量の50%沈降し、其の後は日量 5~6cmとなり積雪後10日以降は日量僅かに1cmにすぎなくなる。其所で速度として問題になるのは、柱が埋雪した直後の數日で、第1期と第2期との變換點附近である。

この時期には、柱の受壓面附近の積雪は未だ新雪であり、積雪の抗剪、抗張力等も甚だ弱いから、沈降速度が大で、柱周邊の積雪が強く下方え引かれると、時には積雪が受壓面周邊で切斷され、受壓面上の積雪と分離する事もあると思われるが、時と共に沈降速度は緩になり、同時に降雪による積雪深の増加が起り、舊雪化による、抗剪、抗張力の増加も加わり、積雪は柱の受壓面周邊で切斷される事なく褶曲して「フトン狀の積雪」を受壓面周邊に形成するようになるものと考えられる。

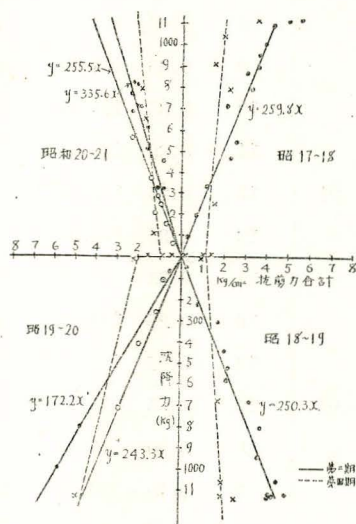
このような状態になれば沈降速度は微小になるので沈降力に關係する事少く、むしろフトンの厚さを増す事が沈降力を増加する主原因となり、前述のように降水量或は積雪の重さが沈降

力と密な直線的な関係をもつに至るのではなかろうか。即ち積雪の沈降速度は第1, 2期の變換點附近で「積雪のフトン」形成に有力な作用を有していると思われるのである。

(二) 抗剪力との關係

抗剪力と沈降力との關係は天野氏も直線的な關係を認められているが、氏の比較された抗剪力は、積雪の柱高以上の部分についての平均抗剪力であるが、柱の受壓面上の積雪層は、第1期の柱上の雪冠が落下しないとすれば、柱により壓縮されてはいるが、大體全積雪層と同量の

第10圖 抗剪力と沈降力との關係



積雪であるはずで、むしろ、全積雪層の抗剪力の總和と沈降力とを比較した方が適當であると考えられるので、十日町で半旬毎に觀測している雪層 10 cm 毎の抗剪力測定値を加算し、積雪全層の抗剪力總和を算出し、これと沈降力とを比較して見た。其の結果は第10圖のようであつて、これも又直線關係が成立する事が分かつた。

前記の「フトン狀積雪」が柱の受壓面で支持されているのは、主として受壓面周邊に於ける積雪の抗剪力が作用して、上部の積雪の荷重を支持しているからであり、抗剪力が弱ければ、積雪は受壓面周邊で切れて落下し、フトン狀積雪の厚さを減じ、沈降

力は減少する事になると想像される。

故に、沈降力は前記のようにフトン狀積雪の重さと解せられる一方、此のフトンを支持している抗剪力等の力とバランスがとれて居らなければならない事になり、その結果、抗剪力と直接的關係を生じたものと考えられよう。たゞこゝに用いた抗剪力は、受壓面周邊で測定したものでなく、露場の一般積雪層で測定したものであるから、この圖のように可成密な關係を求めた事には多分に疑問があるが、全測定結果共、略々同程度の直線關係が認められる故、現在の所は他に良い測定値がないので、これで満足して置くことにする。

この兩者の關係を、直線式 $y = a' + b'x'$ (2) により計算し、 b' の値を求め第6表に示した。(常數 a' はこの場合殆んど0で、直線は原點を通る)。

本表及第10圖によると、同一受壓面、同一柱高をもつた、昭和20～21年の關係と昭和19～20年の關係とが、他の2ヶ年と異つている事が認められる。即ち、昭和20～21年は $y = 335.6x'$ 、昭和19～20年が $y = 172.2x'$ となり、直線の方が可成違つているのであるが、これは前者が寡雪の年であり、後者が近年に無い豪雪の年であつた事より、雪質に差違があり其の結果生じたのではないかと思われるので、昭和20～21年の後半期の著しく低い抗剪力

第 6 表 抗剪力と沈降力との關係

年 區 分 度	相 關 係 數	$y = a' + b' x'$ の b' の 値	備 考
昭 17~18	$+ 0.97 \pm 0.01$	259.78 kg	受壓面 10 × 50 柱高 150 cm
18~19	$+ 0.96 \pm 0.04$	250.28	受壓面 10 × 50 柱高 100 cm
19~20(1)	$+ 0.98 \pm 0.01$	172.18	受壓面 10 × 50 柱高 100 cm
19~20(2)	$+ 0.99 \pm 0.06$	243.26	(1)より異例の數點を除外した
20~21(1)	$+ 0.89 \pm 0.03$	335.55	受壓面 10 × 50 柱高 100 cm
20~21(2)	$+ 0.97 \pm 0.02$	255.50	(1)より異例の數點を除外した

注 第 圖 參照のこと。

(・印の點)を除いた點(○印の點)により b' を計算し、昭和19~20年のものに就ても同様後半期の著しく高い點(・印の點)を除いた點(○印の點)により b' の値を計算した所、他の2例と略々等しい値を得る事が出来た。

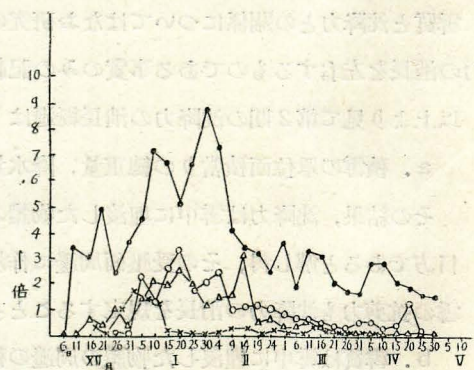
昭和19~20年及昭和20~21年兩年の雪質の差は、昭和19~20年が「締雪」が著しく多く、昭和20~21年は「粒雪」が著しく多い年であるが、抗剪力と雪質との關係、抗剪力と沈降力との關係は項を改めて記るす事にして、こゝでは抗剪力が沈降力と密な關係をもっている事を述べるにとどめる。

(ホ) 雪質との關係

抗剪力との關係に於て言及したように、沈降力は雪質にも關係がある。その一例は前記の昭和19~20年の結果と、昭和20~21年の結果との沈降力における差である。両者は測定裝置が全く同一であるにかゝらず、極大値が400kg違うのであつて、この原因が雪質によるものと考えられる。

第11圖に示した通り、この兩年は積雪の主要組成成分である「締雪」と「粒雪」との割合に可成の差が認められる。締雪と粒雪との割合は概ね其の冬の積雪の多少に支配され、寡雪の冬は粒雪が多く、大雪の年は締雪が多くなる傾向があるから、前記2ヶ年の沈降力差は積雪の量即ち重量の過不足にも原因されていると考えられるが、第10圖の沈降力と抗剪力との關係に於て、この兩年の關係直線の方が可成他の年と異つているのは、やはり雪質の差によるものと考えざるを得ない。

第 11 圖 積雪中の(ざらめゆき)の深さに對する・(しまりゆき)の深さの割合



前項に記したように、昭和19～20年度の「締雪」が主要部分を占めていた時期の數點を除外した線及び昭和20～21年度の「粒雪」が多かつた時期を除外して計算した關係直線は、他の年度と殆んど同一値を示す事から、雪質の變化が沈降力に關係していると解されるのである。この結果より見ると、締雪の割合の多い時は粒雪の割合の多い時よりも一定の抗剪力に對する沈降力の増加量が少い事となる。

締雪は粒雪に比して單位面積當りの抗剪力が著しく大であるのが普通であるから、締雪の方が一定の抗剪力に對する沈降力増加量が少い事は、受壓面が積雪中にそれだけ侵入し難い、その代り深く侵入し得たとすれば、それだけ沈降力が大となると言う事になる。この兩年度の沈降速度を比較すると、粒雪の多い昭和20～21年度の方が速いのであるが、この關係は本報告では省略する。

更に附言すると締雪が沈降速度小で柱が侵入し難いと言う事は柱の受壓面で支持されているフトン狀積雪の廣さが粒雪よりも狭くなる事である。この事も第3表で示した(1)式の b の値の各年度の變化を見ても大體想像出来る。即ち同一測定裝置による昭和18～19年以降3ヶ年の(1)式の b の値は昭和19～20年が最少となつている。

この事實は沈降力が受壓面上に支えられているフトン狀積雪の重さと考えてもよく、逆に此の積雪を柱上に支持するために受壓面周邊に作用している積雪の抗剪力の總和とも密な關係がある事の妥當性を裏付けるものではなからうか。

なお昭和19～20年度をその前年と比較すると、この兩年度にも雪質に可成りの差が認められるにかゝらず、沈降力の極大値の差が僅かに數10%にすぎない。この點から見ると、雪質の差はその極限値に於て大した影響を沈降力に與えないとも見られるが、昭和18～19年度は昭和20～21年度程粒雪が多くないので、その差が少かつたとも考えられる。兎に角「粒雪」が多量に存在する時は沈降力に大きな影響を與える事はたしかで、第5、6圖の降水量と沈降力との相關圖に於ける、直線が所々切れているのも、抗剪力の弱い粒雪によるフトン狀積雪の受壓面周邊に於ける切斷落下が原因しているのであろう。

雪質と沈降力との關係についてはなお研究の餘地が大であるので、この頃では、雪質が沈降力の消長を左右するものである事實のみの記載に留めることにする。

以上より見て第2期の沈降力の消長經過は

a. 積雪の單位面積當りの總重量、降水量及抗剪力と直線的な關係が認められる。

その結果、沈降力は雪中に埋没した物體の受壓面上に支持されている、ある廣さの積雪の目方であると解し得、その受壓面周邊に作用する積雪の抗剪力とも密接に關係する。即ち積雪の抗剪力も沈降力の消長を規定すること。

b. 雪質は雪中に埋没した物體の周邊の積雪の沈降速度に關係し、その受壓面上に支持されたフトン狀積雪の廣さを規定し、抗剪力を増減する事により、沈降力に關係があること。

c. 気温は積雪量及雪質の変化を通じて沈降力に影響すること。

d. 沈降速度は受圧面の積雪中への壓入を規定し、受圧面の周縁に於ける抗剪力に変化を生じ、特に第1期と第2期との移行點に於てフトン狀積雪の生成に有力なようであること等を知つた。

(D) 第3期の沈降力に就て

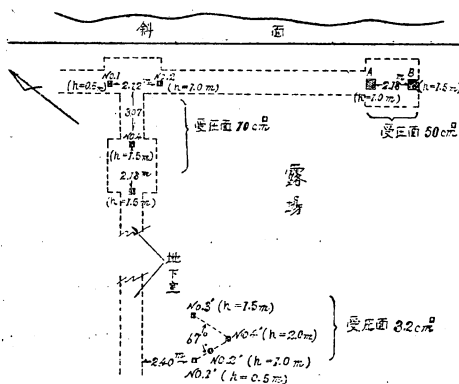
本期に入ると沈降力の増加率は一般に急激に減少し、殆んど増加も示さなくなる例が多い。

殊に昭和17~18年より昭和19~20年に至る3冬期及昭和21~22年の受壓面 $3.2 \times 3.2\text{cm}$ 、柱高 50cm 、 100cm の兩觀測値は判然と第3期を示しているが、一方昭和20~21年及昭和21~22年の他の觀測値は極大値に達した後直ちに降下するか、或は極大値に達して後の變化が頗る大であつて第3期の存在をはつきりと示さない。又昭和17~18年の例は積雪深の最深期と沈降力の極大値と良く一致しているが、他の例は沈降力の極大値が最深積雪期より遅れて現われているものが多い。後者の事實は本文の當初指摘したのであるが、これは積雪深と言うものが密度を考慮していない結果と見られ、密度を乗じて積雪の重さを求めると、沈降力の極大値と單位面積當りの積雪重量の極大値とは略一致して來るのである。(第1.2圖参照)

沈降力が第3期即ち積雪量がいくら多くなつても、受壓面の大きさと、地上高により一定した極大値をもち、それ以上増加しないか否かは、現在迄の觀測値では存否相半しているので、確かな結論を見出し得ないが、第3期を示さない場合を検討して見ると、以下記するような原因が推測し得られる。

先づ昭和20~21年度のもは最大積雪重量が 86.44 g/cm^2 で、積雪の最深も 244cm に過ぎず、同種の柱を使用した他の年に比し可成寡雪であり、前述したように雪質も粒雪が多く、第2期の沈降力上昇曲線も所々高低がある。次々昭和21~22年度の受壓面 3.2×3.2 のものは、柱高の高いもの程、沈降力の曲線形が崩れ、柱高 50cm 、 100cm のものは長期間第3期を持っているに反し、 150cm のものは數日、 200cm のものは第3期を缺除している。受壓面 $10 \times 10\text{cm}$

第12圖 十日町に於ける沈降力測定裝置配置圖
(昭和21~22年)



のものは、柱高各種共全部第3期が不明瞭で柱高の差による沈降力の差さえも判然としな

い。
この原因は昭和20~21年のものは度々記したように積雪の量及び質に於て、第3期に達するには不充分であつたと解せられ、昭和21~22年の受壓面 $3.2 \times 3.2\text{cm}$ のものは柱高の低い場合は第3期が現われているのであるから 200cm 以上の柱高のものに對しては積雪量が不充分で、第3期に達し得なかつたと見る事

が出来、他の數例は第12圖にその設備個所を圖示した様に、斜面の突端にあり、斜面の雪の匍行が影響したらしく、柱は全部斜面側へ傾いて居り、すぐ横にある融雪計の圓筒も同様に傾斜していたので、沈降力の外、斜面の匍行力の分力も作用していたと考えられる。故にこの數例は例外として扱つた方が良い様に思われる。

以上の原因は更に觀測を続けなければ確定は出来ないが、さし當りこれらの特例を除外して考えれば、沈降力は受壓面、柱高に關し一定以上の積雪量のある場合は、各々受壓面の大きさ、形狀及柱高に關し、略一定した極大値を持つものと見て良い事になる。勿論この極大値は前記のように雪質により左右されるので常に同一の價を示すとは斷定出来ない。

第3期の存在を認め、沈降力は或程度以上の積雪量（埋雪した物體の受壓面の狀態一形及び大きさ一、及び地上高に關し）があれば、それ以上積雪量が増しても沈降力は増加しない極限値のある事が事實であるとすれば、その原因を見出さねばならない。

その原因として第9圖の柱周邊の積雪斷面圖を見ると「フトン狀積雪」は柱の受壓面直上部では甚しく褶曲しているが上部に至る程褶曲の度を減じ、積雪表面近くになると殆んど水平になつてしまう。即ち一定の受壓面の大きさ及び柱高に對しては（柱高は前記したように積雪を褶曲せしめて、積雪内へ侵入している部分即ち有効柱高を考えねばならないであろう）雪層の褶曲した部分換言すれば、壓縮層は一定の厚さをもつと言う事である。そしてこの壓縮層のみが沈降力に有効に作用していると見るべきでかく假定すると、自ら第3期の現れる理由が分かつて來るようである。

然しこの場合、第2期に就て記した、沈降力は「フトン狀積雪」の重量であると見做し得る事を併せ考えると、壓縮褶曲してフトン狀積雪となつていない上層部の積雪は柱に何等荷重を掛けていないと言う事、即ち上層部の水平層はそれ自身でバランスがとれていると言う事を認めなければならなくなる。

これに關しては先にもちよつと引用した、地盤や積雪面の支持力の理論を引用し次の如く説明出来るものと思う。埋雪した柱の上面にかゝる沈降力は、地盤⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾や雪面の支持力とは作用方向が全く逆であるが、これを沈降力の場合に適用して一定の形と大きさを持つ受壓面が、或る深さ丈雪中へ壓入されたと考えれば、只位置を逆にした丈で、全く類似した現象である事が認められる。この場合、それにより生じた壓縮層は一定であり、支持力の理論で雪質さえ同一なれば一定の受壓面に一定の荷重を掛けた場合に生ずる沈降量が同一である事と同一の現象であると思われる。

從つて積雪量が少く柱高に比し不十分な時は、柱の壓入により壓縮層が完成されず、第3期を示さない事も有り得るのである。柱の上面即ち受壓面以下の積雪の沈降速度も或期間經過すれば、僅少となり、受壓面の積雪中に於ける相對的位置は略々一定になるから、壓縮層もそれ以上發達せず一定の形をとり、從つて、沈降力は極大値をとつて略一定の値を持続する事にな

るわけである。壓縮層以上の積雪層が水平であると言う事は、その雪層に何等特別の力が加わっていない事であり、又その積雪層が他のものに何等特別の力を加えていない事になるのではなからうか。

以上のように推論する事により、沈降力は一面から考えれば、柱の受壓面により支えられているフトン状積雪の重さ、即ち壓縮層の重さであり、一面から考えればこの壓縮層をその形のまゝで柱上に保持している受壓面に働く積雪の力の合力とも考えられる。この研究に於ける如く観測設備の木柱が固定してあり、木柱自體が、沈降力に降伏しない場合は、この兩方の力は丁度相等しく釣合つておらねばならないはずで、いずれかゞ大きかつたり、小さかつたりすれば、積雪の壓縮層が出来ないか又は破壊して、柱がこの壓縮層の中へ突入するはずである。

故に第2期で記した積雪量の増加或は降水量の増加がその儘沈降力になると言う事には次の事を附言しなければならない。即ち積雪量が直ちに沈降力として現われるのではなく、双方の間には多少の時間的ずれがあり、積雪直後沈降を始め、柱の周邊ではその前の壓縮層上に更にその時期に相應した程度の壓縮層を生じて始めて沈降力として作用することで、この事は沈降力の日變化を観察するとほゞ見當のつく事柄である。(關係圖表は省略する)

積雪量が増加し遂に壓縮層を生じなくなると、その後は積雪量を増しても沈降力には無關係となる。即ち積雪量も柱周邊の壓縮層にならない限り、沈降力としては作用しないと見られるのである。

そこで沈降力は他面から見れば壓縮曲層を柱の受壓面上に保接している積雪内部の力の合力であると言う觀點から、支持力で用いられている次の式を沈降力にも應用して見よう。

粘性土の支持力の公式としてし Housel の次の公式が用いられている。即ち、同一沈下量 Δ に對應する載荷強度を p とし、載荷板の周邊と面積との比 (周邊面積比或は周積比と言われる) を x とすれば、各沈下量 Δ に對して

$$p = mx + n \dots\dots\dots (3)$$

の關係があると言う事で、この式は黒田³⁾、齋藤⁴⁾ 兩博士も積雪の支持力に適用出来る事を認められているものである。即ち積雪の物體支持力には受壓面の面積に比例する部分と周邊の長さに比例する部分があると言う事で前者は積雪の抗壓力、後者は抗剪力による項と考えられる。今沈降力にこれを適用する爲

$$p = \text{單位面積當りの沈降力 (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma_p = \text{受壓面上の抗壓力 kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \text{受壓面周邊に於ける抗剪力 kg/cm}^2$$

$$x = \text{周邊面積比} = P/A \quad \begin{matrix} P = \text{受壓面周邊長 (cm)} \\ A = \text{受壓面面積 (cm}^2\text{)} \end{matrix}$$

とすると (3) 式は

$$p = \sigma_p + \sigma_s x \dots\dots\dots (4)$$

となる。

第7表 受壓面の大きさ別、地上高別の沈降力の極大値

受壓面の 大きさ	受壓面積 A	受壓面 周邊長 P	周積比 x (P/A)	柱高別最大沈降力				単位受壓面積當り 最大沈降力 p			
				50cm	100	150	200	50cm	100	150	200
3.2×3.2 cm	10 cm ²	13 cm	1.3	53.0	77.5	94.8	103.6	5.3	7.8	9.5	10.4
10×10	100	40	0.4	343.0 (200.0)	298.0 312.0	334.4 372.3	~	3.4 (2.0)	3.0 3.1	3.3 3.7	~
10×50	500	120	0.24	~	1136.8 1167.3	1121.9	~	~	2.3 2.3	2.2	~
50×50	2500	200	0.08	~	837.0 1102.0	927.5	~	~	1.7 0.4	0.4	~

注 () を附したものは沈降力曲線より推定したもの

— を附したものは明らかに第3期(極大値)を示したもの

第7表に各観測値の各諸元を示してあるがこれにより σ_p , σ_s を計算すると次の如くなる。

柱高 100cmの場合

$$\left\{ \begin{array}{l} 7.8 = 1.3 \sigma_s + \sigma_p \\ 3.0 = 0.4 \sigma_s + \sigma_p \\ 3.1 = 0.4 \sigma_s + \sigma_p \\ 2.3 = 0.24 \sigma_s + \sigma_p \end{array} \right.$$

であるから

$$\sigma_p = 0.99 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_s = 5.23 \text{ kg/cm}^2$$

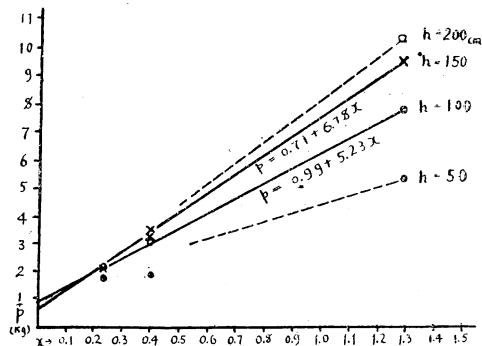
柱高 150mの場合

$$\sigma_p = 0.71 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_s = 6.78 \text{ kg/cm}^2$$

柱高 50, 200cm の場合は例が少く計算出来ないので省略する。

x と p との関係を圖示すると第13圖の如くほぼ直線關係が認められ、柱高一定の場合は沈降力は受壓面の周邊に比例する項と面積に比例する項とが認められるようである。柱高別に引いた線が $x = 0.18$ で交差するようであるが、この事は測定値が少いので眞疑の程は判明しない。又上記の σ_p , σ_s の數値もこれを主として積雪の抗剪力及抗壓力とすると今迄行われた積雪にかんするこれらの測定値

第13圖 受壓面の周積比 (x) と單位面積當りの沈降力 (p) との關係
○は第3期を示さぬもの



とは良く一致しないので、更に検討を要するものと思われる。しかし第2期の所で沈降力が積雪の抗剪力と直線関係にある事は、この数値から見て σ_s が σ_p より著しく大で p 値が殆んど σ_s の値でしめられている点から見て、受圧面の周縁に作用する抗剪力が主として、積雪の壓縮層を支持しているものと見られ、兩者間に直線関係の認められた理由もここにあるのではなかろうか。

以上により第3期の沈降力に就いては

- a. 沈降力は積雪量及雪質が受圧面上に支持された壓縮層を作るに充分である場合にはそれ以上積雪が増加しても變化することのない極大値を持つと思われること。
- b. 第3期はこの壓縮層が完成した時より始まり、壓縮層の厚さ以上に積雪があり、雪質が著しく變化しない範圍で繼續すること。
- c. 第2期の沈降力増加は壓縮層が完成される迄続き、沈降力が積雪の重さに關係すると言う事は、この壓縮層の重さが、沈降力として作用すると言う事でそれ以上の上層の壓縮されていない層は無關係であること。
- d. 沈降力は又一方柱上の壓縮層を支持している、柱の受圧面上及びその周縁に働く積雪の諸力の合力としても表し得ること。
- e. この力は受圧面の面積に作用する力(積雪の抗壓力)と周縁に作用する力(積雪の抗剪力)とにわけて考えられるようであること。即ち、次の式が適用されるらしいことを知つた

$$p = \sigma_p + \sigma_s x$$

(E) 第4期の沈降力に就て

本期に入ると總ての觀測結果が例外なしに沈降力の急降下を示し、短時日の間に零になつてしまう。

第4期の沈降力は第1圖、第2圖に見られるように積雪の重さとは直線關係を示し、第10圖によると抗剪力とも又直線關係を有するが、抗剪力との關係は殆んど縦線に平行で、第2期よりも著しく關係が少い事を示している。この事は第2期には受圧面上にその周縁に働く抗剪力によつて支持せられていた「フトン狀積雪」が融雪期に入り、雪粒子間の連絡がなくなりほとんど抗剪力を失つて乾燥した砂のような状態になり、急激にフトン狀積雪の形がくづれ、受圧面周縁で切れて落下し、これに急速な融雪が加わつて、沈降力が急降下するものと考えられる。

これと同じような現象は、冬期間にも時々見られる。前にも記したように第3, 4, 6, 7圖にも見られる積雪の重さ或は降水量と沈降力との關係圖中、直線が切れている所も同様の氣象因子に作用されたフトン狀積雪の落下によるものであろう。

次に第3, 4期の變換時期に於て、第1圖その1に見られるように、積雪がすでにその量を減少し初めているにかゝらず、沈降力が下らず第3期の状態を續けている事の説明であるが

これは第3期に就ても記したように、沈降力の作用が壓縮層のみによつて起るとし、それ以上の上層の水平になつた層は無關係であるとすれば、融雪期の融雪の主力は雪表面からの融雪であるから、表層に近い褶曲していない層が融解していつても沈降力には無關係であつて良いはずである。表面からの融解が進んで、褶曲層迄融解し始めると、沈降力は減少し始め、その頃になると、積雪の状態も大部分粒雪化し、所々縮雪層を介在する状態になるから、抗剪力等の積雪のもつ力も急減し、これが相俟つて、沈降力は急降下するのである。

第1圖に於ても、第4期に入る時の單位面積當りの重量が約 $70 \sim 80 \text{ g/cm}^2$ であつて、第2期から第3期に移行する點の値と略々等しくなつてゐるから、以上の理論が大體妥當と考えられるのである。

以上第4期の沈降力の急降下より

a. 積雪の雪表面からの急減少と、積雪の粒雪化による抗剪力の減少とによる、壓縮層の破壊により沈降力が急減すること。

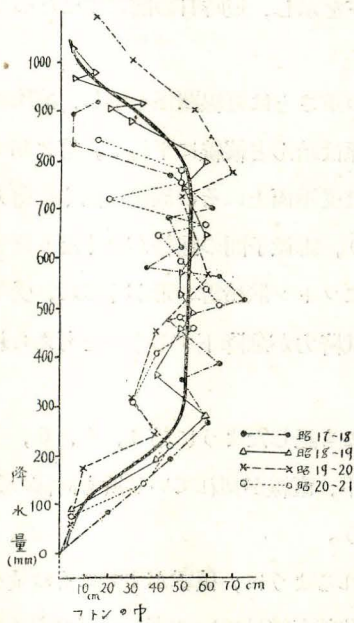
b. 壓縮層のみが沈降力に關係すること。

が分つた。

(F) 沈降力を生ずる積雪の「フトン」の形

以上説明して來た沈降力の4期の経過より總括的に沈降力を生ずる「フトン狀積雪」につき考察して見よう。

第14圖 半旬毎の降水量と沈降力との關係より算出したフトン狀積雪の形



先づ第2期に就ての説明で述べたと同様の算定方法により、降水量 1 mm に應ずる沈降力を生ずる積雪層の廣さを、半旬毎の降水量と沈降力増加量より計算して、沈降力の消長経過をたどりつゝ、その加壓層の廣がりを追求めて見ると第14圖のような形が得られる。(この圖は、第4表に示したフトン狀積雪の廣さと同様にしてその一邊を求めたものである。)

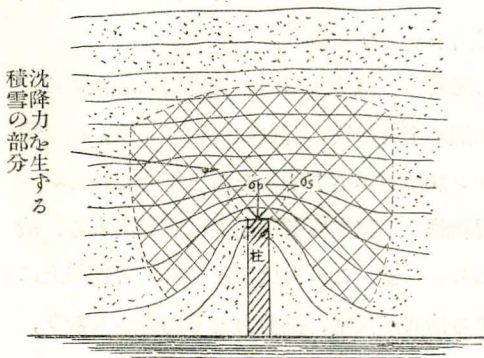
この圖により大體フトン狀積雪の形狀を知る事が出来る。即ち受壓面を中心とし、降雪初期と盛雪期との境目換言すれば、第1、2期の境と第2期と第3期の境界點に於て、くびれを持つた紡錘形の積雪層が沈降力に關係を持つ事を示している。

この形は柱周邊に於ける積雪断面に見られる、褶曲層即ち壓縮された層の形と良く一致し、地盤や積雪の支持力について述べられてゐる壓縮層の形とも良く一致している。

勿論この圖はフトン狀積雪が、そのいずれの部分も均等に柱の受壓面に荷重を與えているものとして計算したもので、實際は受壓面直上程大きく、フトンの裾に行く程小さい荷重であろう事は想像されるから、實際とは大部距離があろうとは思ふが、大體「フトン狀積雪」が沈降力を現わしていると考えても間違ひはないであらう。

言いかえれば、積雪中に受壓面を中心とした一個の雪冠を想像し、その雪冠の重さが沈降力を生じているのだとも言えるであらう。第15圖にその略圖を示した。

第15圖 沈降力を生ずる假想雪冠の形



更に前記したように、この積雪中の雪冠は柱の受壓面により支持されているのであるから、積雪は受壓面の上面及び周縁に於て、これを支持する丈の力をもつておらねばならない。さもなければこの雪冠は崩壊落下するであらう。

この力は受壓面上面及び周縁に作用する、積雪の抗壓力及抗剪力であらうと想像され、積雪の抗剪力合計が、沈降力と直線關係を持つ事も、この事實を裏書するものであらう。

このことは前にも記した所である。

以上により、第1期より第3期に至る沈降力の消長は柱の受壓面を中心として出来る、フトン狀積雪の發達經過と一致し、逆に言えば、この壓縮層—褶曲層—或は雪冠を受壓面上に支持する、積雪の應力の消長と一致するらしい事が分つた。

IV 總 括

沈降力の消長經過を、4期に區分し、各期の沈降力に就き考察した所を總合すると、

第1期 沈降力測定用木柱が、積雪下に埋没する迄の沈降力は、消長を繰返えすが、大體柱上の雪冠の重さと考えられる。

第2期 柱が埋雪してからの沈降力は急昇を續けるが、これは受壓面以下の積雪層の沈降により、柱の受壓面を中心とし、これに支えられたフトン狀積雪の被覆が出来、この褶曲、壓縮した積雪層の重さが沈降力として作用する爲と考えられる。従つて、單位面積當りの積雪の重量或は降水量と直線關係をもっている。

又この期の沈降力は、フトン狀積雪を受壓面上に支持している積雪の力即ち、受壓面上に作用する力(抗壓力)と受壓面周縁に作用する力(抗剪力)との合力により、このフトン狀積雪が支えられており、この合力が沈降力とも考えられる。

又この期の沈降力は雪質にも關係があり、積雪が主として粒雪であるが、締雪であるかにより、沈降力は變化する。沈降力の大きさは受壓面の形、大きさ、及び柱高に關係し、變化し、

大體受壓面が大きい程、柱高が高い程、沈降力は大となる。

第3期 積雪量が、受壓面の大きさ、形、柱高に關し、ある限度以上に達すると、沈降力は極大値を示し、ほぼ一定の極大値を或期間繼續する。即ち沈降力は受壓面の大きさ、形、柱高に關し一定の極大値をもつ。

これは柱の雪層内への壓入により生じた、フトン狀積雪即ち壓縮層が、柱高及受壓面の形と大きさにより、一定の限度があるからで、この壓縮層が沈降力を生ずるからであると思われる。

本期の柱高別の沈降力極大値を受壓面の周積比により圖示すると、直線關係が成立し、粘性土、積雪等の支持力の公式 $p=n+m x$ が適用出来るようである。

第4期 融雪期に入り積雪が主として表層から融解し、減少すると、沈降力は急減する、これはフトン狀積雪が表面から融解するのと、氣溫の上昇による雪質の變化により、柱の受壓面に作用していた積雪の保持力が減少し、フトン狀積雪が落下するためと解せられる。

これらの各期の沈降力經過より、沈降力は埋雪物體の上面即ち受壓面上に假想出来る、積雪の褶曲、壓縮された層よりなる雪冠の重量として表しえ、この力は又その雪冠を物體上に保持するため、物體の受壓面上面及周邊に作用する積剪の抗壓、抗剪力とも釣合つており、その合力によつても表しうるものと思われるのである。

V 結 言

本報告は天野氏の報文に引續き、積雪の沈降力に關する第2回報告として過去4冬期の結果を總括考察したのであるが、なお各部分に單に推論に留る所多く、更に觀測を續け、検討を加えねばならない。緒言にも記したが、そのため引續き十日町森林治水試験地に於て觀測を續けている次第で、その後の成果により更に報告を續けたいと念願している。

積雪には沈降力の外に斜面に於ける匍行力が重要な力として挙げ得られ、この兩力の原因が究明されれば、雪中の諸工作物の設計、或は林木の雪害の防除對策等に大に貢獻するものと思はれる。

次に本報告中より實用に供し得られる事項を列舉して、結言にかえ、林業の參考に供したいと思う。

(1) 沈降力の極大値は $p=\sigma_p+\sigma_s x$ で計算し得られること。

一般の多雪地方の積雪深は 2~3m であり、其の場合工作物の地上高も 150~100cm 位のものが最も沈降力を大きく受けるはずであるから、本報告で算出した

$\sigma_p=0.7\sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_s=5.0\sim 7.0 \text{ kg/cm}^2$ を適用し單位面積當りの最大沈降力を求めれば良いであらう。

(2) 沈降力の極大値は又受壓面上の壓縮層の重量からも算出出来ること。

受壓面の極く小さな物及び地上高の極く低いものを除いて、壓縮層の廣さは大體受壓面外へ

50cm はみ出した大きさと考えてさしつかえないようであるから、沈降力は次の式で略算出来る。

$$P = \rho(a + 2 \times 50\text{cm})(b \times 2 \times 50\text{cm}) \times h \dots\dots\dots(4)$$

P…沈降力, ρ …積雪の平均密度, a, b…受壓面の各邊, h…壓縮層の厚さ

この場合一般には $\rho = 0.35 \sim 0.45$, h は不明であるが、受壓面上の積雪深即ち(積雪深—受壓面の地上高)を用いれば、P の値は過大にはなるが過少にはならぬと思う。

(3) 沈降力の大きさには、受壓面の周積比が関係するらしいから、受壓面積に比し邊長の長いもの程、大きな沈降力がかかることになる。又、大體受壓面の地上高が高ければ沈降力は大となる傾向にある。この事は林木の埋雪倒伏に關係し、冬期葉をもつてゐるスギ、ヒノキのような樹種や、枝の分岐の複雑なカラマツ等の積雪面に近く埋雪した長大な枝は特に強く沈降力を受けることとなり、林木の雪害の原因になるから、理論的には枝葉の受壓面の周積比を小さくし、雪面に近く埋雪した太い枝は出来る丈早く除去することが良く、このためには雪面下になる枝の打下し及び葉先の剪定が必要であらう。

又この事は工作物については、雪中に埋没するものは其の受壓面の形態を出来る丈簡単にし地上高を低くすることが良い事をも意味するものと思う。

(4) 沈降力は埋雪物體の大きさの形狀の地上高に關し、夫々極限值を持つものと思われるが、多雪なればなる程その極大値の持續期間が長く、又雪質も締雪が多くなるから、沈降力の極大値も大となり、その結果被害が増大する事が考えられる。即ち林木等にも沈降力による、屈曲の歪が長くのこり幹や枝の蛇行の原因もこれにより起るのであらう。

参 考 文 献

- (1) 平田徳太郎：積雪の沈降及積雪内に於ける鐵棒の曲りに就て
森林治水試験彙報 第18號 (昭15)
- (2) 天野 一郎：積雪の沈降力
森林治水試験彙報 第20號 (昭19)
雪 氷 第5卷 第11號 (昭18)
- (3) 黒田 正夫：橇の抵抗に關する研究
雪 氷 第4卷 第7.8號 (昭17)
- (4) 齋藤 鍊一：積雪の荷重物體支持に就て
雪 氷 第9卷 第1~5號 (昭22)
- (5) 渡邊 貫：平盤載荷實驗
基礎研究 第2輯 (昭12)
- (6) 最上 武雄：土の力学
物理學集書 12 (昭23)

Summary

In snowy district forest trees as well as engineering constructions under snow cover are damaged by the settling force of snow.

At Forest Flood Control Experiment Station, Tōkamachi, Niigata Prefecture the settling force of snow has been observed. Measurements have been made upon forces acting on the heads of square poles of various sizes and heights set upright in snow. The aim of this study is to make clear the origin and function of this force.

The results obtained are as follows:

1. The hange of the snow settling force on the pole can be classified into four stages.

- a. 1st stage (variable period) :

From the day of the first snow fall to the day when the pole head is buried in snow.

- b. 2nd stage (increasing period) :

From the last day of the 1st period to the day when the settling force reaches a maximum.

- c. 3rd stage (maximum preiod) :

The period during which the settling force keeps constant at the maximum.

- d. 4th stage (decreasing period) :

From the day when the settling force begins to decrease to the day when the pole head comes out of snow. (usually it decreases rapidly by thawing)

2. The settling force in the 1st stage is equal to the weight of snow crown on the pole top.

3. In the 2nd stage the settling force increases in proportion to the total snow weight (g/cm^2) or the total amount of precipitation (mm).

This relation can be represented by the formula

where $y = a + b\alpha$

y = settling force (kg/cm^2)

α = total amount of precipitation (mm) or total snow weight ($^{1/10}\text{g/cm}^2$)

a and b = empirical constants related with the area, perimeter and height of the pole

It, also, has a similar relation with the total shearing strength of snow (kg/cm^2).

4. The length of the 3rd stage that is whether the settling force keeps constant or not depends upon the depth and the quality of snw. In winter when total amount of settled snow layers is larger than that of firm snow layers and the snow on the pole top reaches a certain depth, the maximum value of the 3rd period appears.

Being a function of the height of th pole, area and perimeter of the pole top, this muximum value is independent with the snow depth.

For a pole of a given height, the relation between the settling force p (kg/cm^2), the total shearing strength on the perimeter σ_s (kg/cm) and the total upward compression strength σ_p (kg/cm^2) on the top of the pole can be formulated as shown below.

$$P = \sigma_p + \sigma_s P/A$$

where P = perimeter of the pole top

A = area of the pole top

5. In the 4th stage the settling force has but a little relation with the shearing strength of snow. Owing to the decrease of snowweight and the cohesion between snow grains by thawing, there appears vertical crack in the lense-shaped snow layer over the pole top. This causes the drop of the snow layer around the pole and the settling force decreases rapidly.
6. From the results above mentioned, it is summarized as follows. The settling force is equal to the weight of the lense-shaped snow layer made on the pole, In other words it is said to be a supporting force (shearing force acting around the pole top) against the weight of a "snow crown" made of compressed layer of the snow on the pole.
7. The settling force increases with the area, perimeter and height of the pole. The experimental results shows that for the pole 100m. high in the snow 2.5~4m deep, the settling force is about 50kg for the area of 3×3cm, about 300kg for 10×10cm and 1,200kg for 10×50cm.
8. Practically the settling force can be equallized to the weight of the snow block having the following shape:

$$\text{the shape} = \rho \times h \times (a + 100\text{cm}) \times (b + 100\text{cm})$$

where ρ = snow density

h = snow depth on the pole

a and b = sides of pole top