

多雪地帯における雪食による 林地荒廃の実態とその防止技術

I 試験担当者

防災部防災第1研究室	工 藤 哲 也
"	松 岡 廣 雄
"	山野井 克 己
"	(故)佐 伯 正 夫
十日町試験地	大 関 義 男
"	庭 野 昭 二
前十日町試験地	渡 辺 成 雄

II 試験目的

多雪・豪雪地帯の急斜山腹における森林の皆伐跡地では、積雪によって誘発される荒廃裸地が生じる現象が見られ、林地保全・土砂災害防止のうえから見過ごすことのできない問題となっている。既往の荒廃地とその復旧対策に関する研究は、雨水が主要な要因である場合がほとんどで、雪食荒廃地についての調査研究はきわめて少ない。この研究では、簡易な斜面積雪のグライド抑制方法と植栽適樹種を検討し、雪食の発生機構と雪食荒廃地の進行の実態解明とともに、効果的な防止・復旧対策についての実行結果を報告する。

III 試験の経過と得られた成果

1. 偏平半球による斜面積雪のグライド抑制方法

従来実施してきた雪崩の発生予防施設は、階段工・雪崩防止柵・雪崩防止林など約10種類ほどある。これらの施設の大部分は積雪グライド(移動)を完全に止めて、雪崩の発生を防ぐように設計されているため、想定以上の豪雪年に遭遇すると、防止柵などは破損して機能が失われることがしばしばあった。もちろんその構造強度を大にすれば良いのであるが、経費の面からあまり強大にしたり、現在以上に密に配置したりすることは実際には困難である。

このグライド抑制方法は、斜面に適当な間隔で配置した偏平半球状の構造物によって、斜面全体の積雪を除々に流動させながら抑制し、雪崩発生を防止することを第一の目的とするが、階段工・柵工などと併用してその間の積雪の移動をさらに少なくする利用法もある。この方法を林試十日町試験地で実験した結果は以下のようである。

1) 構造と特徴

図-1に偏平半球状積雪グライド抑制工の構造を示す。1セットは①偏平半球状構造物(鋼

製またはコンクリート製)②吊下げ用フック③連結用フック④固定杭, から成る。この構造物は偏平半球であるために、構造物に接する積雪層が除々にせん断破壊を起こしてゆっくり流動するので、この構造物に加わる積雪移動圧は、積雪の移動を完全に阻止する構造物に比べて小さく、構造物を保持する鉄棒は本体より数倍長いため、凹凸のある斜面に設置しても安定性が良い。したがってその強度はそれほど大きくなくてもよく、経費も比較的安い。

2) 現地試験

昭和58~59年冬に傾斜40度の裸地斜面にグライド抑制工を設置し、その効果を調べた。この冬は3月には最大積雪深(水量)が368cm(1372mm)にも達し、昭和56年にも匹敵する豪雪年であった。図-2に各試験区の積雪グライド状況を示す。

試験区No.1は無施工区で、他の試験区の対照区である。試験区No.2は雪崩防止柵との併用試験区で、防止柵は斜面上端から19m下方に配置され、グライド抑制工は柵の上側に水平方向および上下に2.5m間隔(160個/10アール)に配置されている。試験区No.3は、抑制

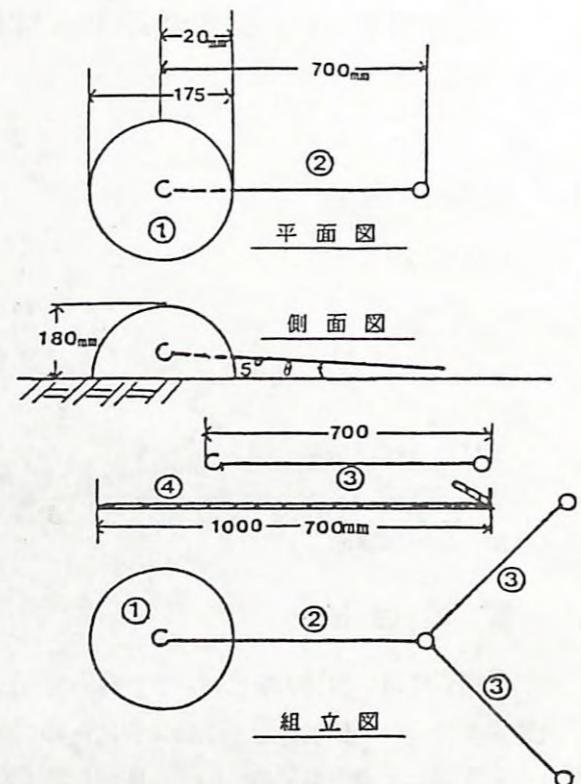


図-1 偏平半球状積雪グライド抑制工の構造

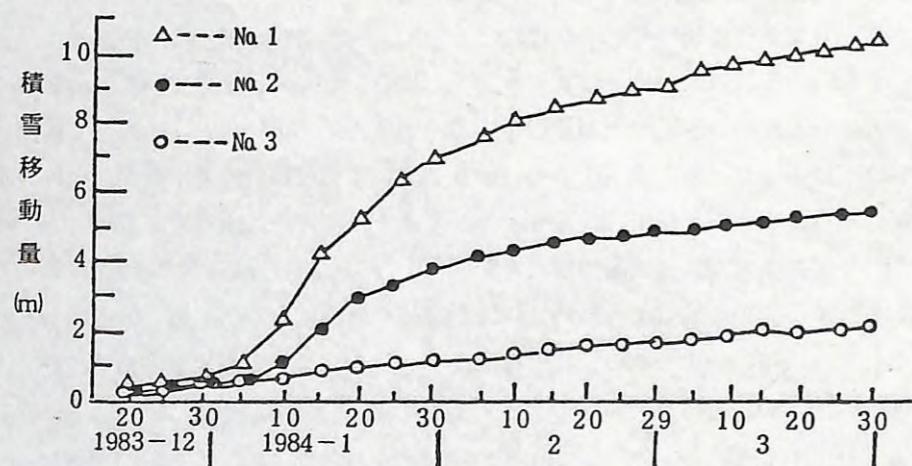


図-2 各試験区の積雪グライド状況

工の1.5m間隔区(500個/10アール)である。

積雪のグライド測定はどの試験区でも、斜面上端より5m下方で行った。この位置は、斜面では最もよく積雪の滑る位置であり、No.2においても防止柵の影響が及んでいないところである。図-2で見るように、試験区No.1では、3月16日までの積雪積算移動量は780cm、日平均では8.5cmで雪崩の発生しやすい状態となった。試験区No.2では、2月上旬に斜面上方にクラックが発生した。3月16日までの積雪積算移動量は455cm、日平均では5.7cmであった。また防止柵に加わる雪圧は、積雪量がほぼ同じ年の約70%程度に減少した。試験区No.3では、3月16日までの積雪積算移動量は176cm、日平均では2.2cmで、この試験区では雪が消えるまで、斜面積雪は安定していた。試験区No.1の積雪グライド量を100として比較すると、No.2では58%、No.3では23%までグライド量が減少している。以上のような実験結果から、このグライド抑制構造物を適度に配置すれば、斜面積雪を安定させうることが分かった。

2. 植栽適樹種

多雪地帯に適応する樹種を選定する基準として次の事項があげられる。

- 着雪性が小さいこと
- 樹体が倒伏しにくいこと
- 成長がよいこと

これらの条件にあてはまる樹種を選定するため、新潟県魚沼地方の多雪地帯に多く自生する樹種10数種類を選び、各樹種10~20本について、樹幹に荷重をかけ倒伏性の難易を調べた。また樹木枝条の着雪性を明らかにするため、実験と観察を行った。さらに、若齢広葉樹(15~20年生)の成長量を固定試験地で調べた。

樹木の倒伏性の難易把握は次のように行った。樹幹に人工的に荷重を加え、それに伴う倒伏角の変位を樹種ごとに測定した。まず自然状態で幹3m位置から根元を結ぶ線と鉛直とがなす角度(θ_1)を測り、次いで幹の3m位置に荷重(W)をかけ、同様に鉛直となす角度(θ_2)を測定する。このようにして荷重による変位角 θ_3 (= $\theta_2 - \theta_1$)から、各樹種の樹幹倒伏係数 θ_3/W (荷重1kg当たりの倒伏度)を求める。調査の対象樹種は、次に掲げる針葉樹1種類、広葉樹19種類で、調査本数は約200本にのぼった。

針葉樹:スギ

広葉樹(高木・亜高木):ブナ・イタヤカエデ・ミズナラ・ウリハダカエデ・ウワミズザクラ・

ホホノキ・ヤマモミジ・リョウブ・クルミ・ケヤキ・ミズキ

広葉樹(低木):ミヤマカラハシノキ・オオバクロモジ・マルバマンサク・タニウツギ

各樹木に対する測定結果から、同じ様な倒伏傾向を持つ樹種を5つのグループに分けて図-3に示した。直径は根元から1.2m位置の値をとった。図で見るように、各樹種とも直径が太くなるに従って、倒伏係数が小さくなる。直径が6cmをこえる太さになると、樹種間の差および各

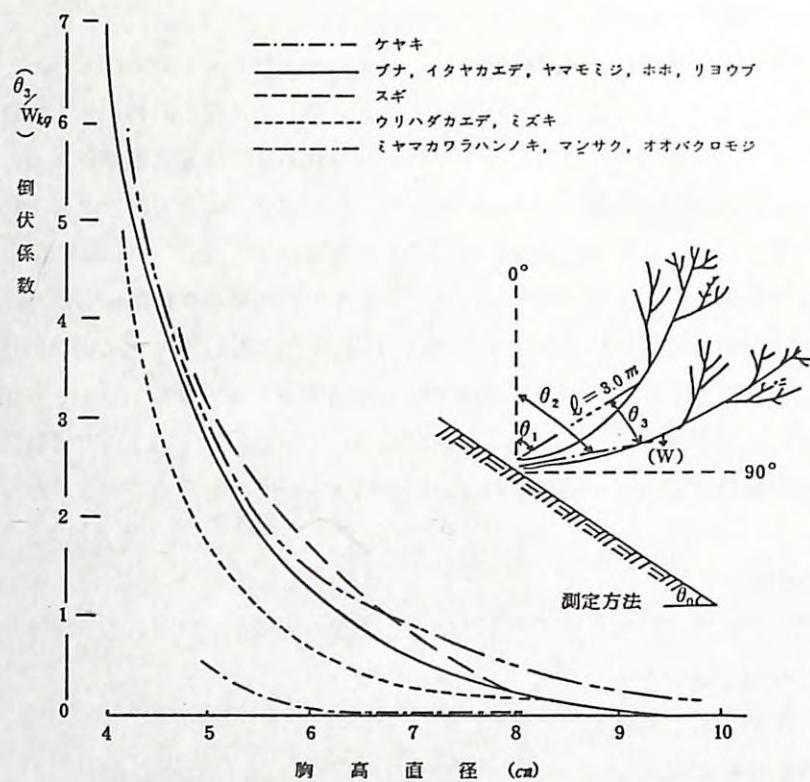


図-3 樹種別にみた倒伏性の難易

グループ間の差も小さくなる傾向がみられる。さらに直径が9cm程度になるとグループ間の差はほとんどなくなってくる。

次に直径が5~6cmの段階で倒伏係数の大きい(倒伏しやすい)順に樹種と係数をあげる。

- ミヤマカワラハンノキ・オオバクロモジ・マルバマンサク・タニウツギでは平均3.2
- スギでは2.7
- ウワミズザクラ・ホホノキ・クルミ・ミズキでは平均2.6
- ブナ・イタヤカエデ・ミズナラ・ウリハダカエデ・リョウブでは平均2.3
- ケヤキでは1.4

aのグループは、雪崩常習地に多く生育する灌木性の樹種である。最も倒伏係数の小さかったケヤキは、一般的に幼齢期の生長が遅く、樹幹は他樹種に比べて硬い。

樹木の着雪性について調べた結果は以下のようである。降雪時、樹木の枝葉に積もる雪は次第に容積と重量を増し、冠雪となって樹木を傾斜させる。いろいろな樹種の冠雪の発達を明らかにするために、十日町試験地構内で樹木の冠雪実験をおこなった。供試樹種は多雪地帯に多く生育している樹種のうちから、樹形にそれぞれ特徴のあるヤマモミジ、リョウブ、ホホノキ、カラマツ、スギなど7種類とした。その結果、冠雪がよく発達するのは、気象条件としては、気温が(+)

表-1 樹種別枝条構成

樹種	リョウブ	ヤマモミジ	ミズナラ	ブナ	ホホノキ	カラマツ	スギ
調査本数(本)	2	2	2	2	1	3	4
平均樹幹長(m)	1.5	1.8	1.7	1.7	1.0	1.2	1.2
平均直径(cm)	1.8	1.7	1.8	1.9	1.5	1.7	2.2
枝の平均分岐度(度)	38	30	50	38	27	72	53
1次枝平均本数(本)	20	19	17	16	6	32	32
全枝条延長(m)	15.5	18.2	20.0	21.2	3.0	34.0	37.6

から(-)に移行し、雨一みぞれ一雪になる場合であり、樹木側の条件としては、枝の分岐角が狭く、小枝の本数・枝の総延長の長いほど多くなることが判明した。そこで実験に用いた各供試木の枝条構成を調べた。供試木は樹高5~6mの樹木の梢頭部を1.0~1.8mに切り取ったものを用いた。測定結果を表-1に示す。各樹種の分岐状態についてみると、カラマツが最も直角に近い分岐角で平均72度、リョウブ・ブナ・ヤマモミジは30~37度で、最も狭かったのはホホノキの27度であった。また幹から分岐している1次枝の本数はスギ・カラマツで平均32本、リョウブ・ブナ・ヤマモミジ・ミズナラなどはあまり大きな差がなく16~20本で、最も少なかったのはホホノキの6本であった。1次枝から4次枝までの総延長を比較すると、カラマツ・スギが34~38m、リョウブ・ブナ・ヤマモミジ・ミズナラでは15~20m、ホホノキで約3mであった。

この調査の結果、冠雪の発達しやすい樹形を持つ樹種はスギ・カラマツで、次いでミズナラ・リョウブ・ブナ・ヤマモミジとなり、冠雪しにくいのはホホノキ型の樹種であることが分かった。

以上、樹木の着雪性・樹幹の倒伏難易性・生長性の要素を総合すると、多雪地に望ましい樹種は次のように考えられる。

斜面上部：ブナ・イタヤカエデ・ウリハダカエデ・コバノトネリコ・ウダイカンバ

斜面中腹：上記樹種のほかにスギ・リョウブ・ハンノキ・ホホノキ・トチ

斜面下部：スギ・ホホノキ・クルミ・ウワミズザクラ・キハダ

3. 雪食の発生機構と雪食荒廃地の推移

多雪・豪雪地帯の急斜面では森林のみならず、皆伐後の伐根にも雪崩発生を防止する効果、すなわち雪崩防止杭としての効果が期待されてきた。

しかし現実には、豪雪地である新潟県中魚沼郡の山地では、森林の皆伐後大規模な雪食の発生と進行が見られた。雪食の発生機構とその推移を以下に述べる。

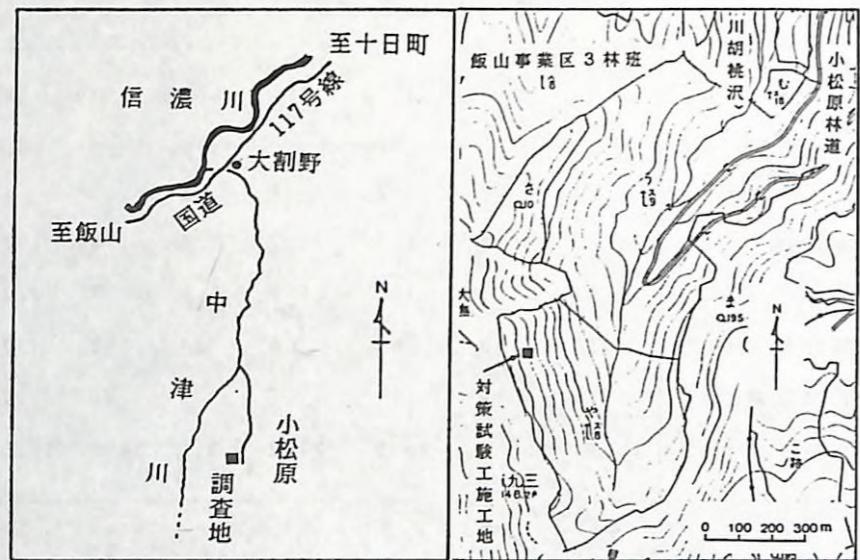


図-4 調査地の位置と地形

1) 調査地の概況

調査は新潟県中魚沼郡中里村の中津川支流川胡桃沢の最上流域にある小松原国有林（長野営林局飯山営林署管内飯山事業区3林班）で行った。対象流域はほぼ南北に流れる沢に沿って細長い形状を持ち、その両側の東西斜面の中腹以上は、35~40度の急斜面地が占めている。調査地の最上部や小班の最高地点は約1350mで、冬季の積雪深は4~4.5mとみなされる豪雪山地である。地質は第三紀安山岩、土壌はBd型である。調査地の位置と地形を図-4に示す。

2) 雪食の発生機構

小松原国有林3林班では、昭和43~45年に320haの天然生ブナ林（林齢190年）が皆伐され、伐採跡地の大部分にスギが植栽された。伐採から5~7年目にあたる昭和50年の現地観察では、伐採木の根の腐朽が進行し伐根の転倒が始まった。樹種はブナ・ウワミズザクラ・イタヤカエデ・ホホノキなどが多かった。伐根の直径・伐根高と転倒との関係を調べた結果を図-5に示す。健全であった伐根は直径50cm以下、伐根高50cm以下のものが大多数を占めたのに比べ、転倒・脱落した伐根は直径の大きさにはあまり関係なく、伐根高50cm以上のものに多く見られた。このことは、伐根高が高くなれば斜面雪圧によるモ

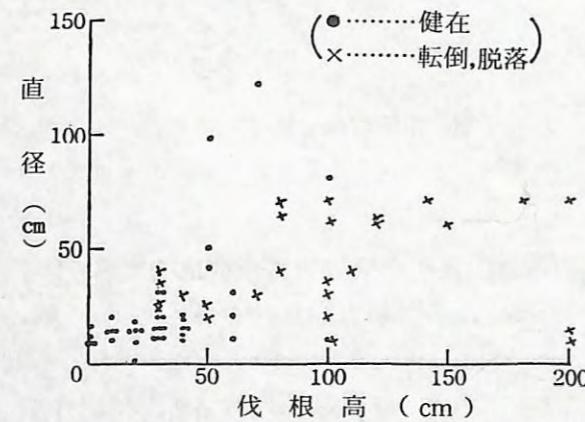


図-5 伐根の直径・高さと伐根の状態

メントが大きくなるので、より転倒しやすくなるものと考えられた。なお、直径が細く伐根高が低い伐根が健在であった理由は、移動圧のモーメントが小さいだけでなく、萌芽して生存したこととも一因と思われる。また一般的傾向として、形状比（伐根高/直径）の小さいズングリ型伐根は、形状比の大きいものよりも2年ほど遅く脱落し、傾斜が緩くても風背の吹き溜り斜面にある伐根の方が、急斜面の伐根より早く脱落した。

伐根が脱落・転倒すると、地表には孔状の裸地ができる。孔の大きさは伐根の根の張り方や、深さ・土質によって異なるが、直径50cm程度のブナ伐根の転倒では深さ40cm、直径1.8m以上の楕円状裸地が出現する（雪食初期）。そして地表上の巨大な突出物となった転倒伐根は斜面雪圧によって、表土をブルドーザーの排土板のようにえぐりながら年々下方へ滑動し、2~3年内に筋状裸地を形成する（雪食中期）。以上の過程を図-6に示す。

3) 雪食荒廃地の推移

雪食荒廃地の拡大の実態を把握するために、昭和52年、57年に撮影された空中写真（山796、C5-14(S.52.9)および82-24、C5-13(S.57.6)）を用いて、小松原国有林3林班う・さ・や小班約80ha内の雪食地の面積と個数を調べた。面積を読み取る際に、通常の空中写真では歪みの影響をまぬがれないので、1/5,000の正射写真を作製して、ミニマスターにより面積を読み取った。

両年度の正射写真上で読み取った雪食地の個数を面積規模別に集計し図示すると、図-7のようである。雪食地の発生総数は、52年時点（伐採後7~9年）で350となったが、さらに5年を経た57年には590と1.7倍にも増えた。裸地面積が10m²以下の雪食地は、伐根が脱落・転倒後の円形状のものが多かったが、52年では全体の73%を占めた。これに対し57年には10m²以

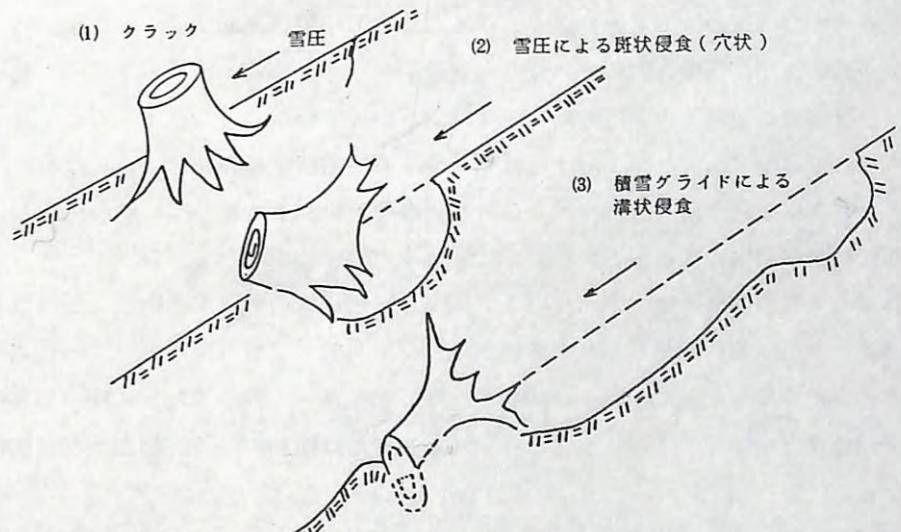


図-6 斜面雪圧による雪食の進行

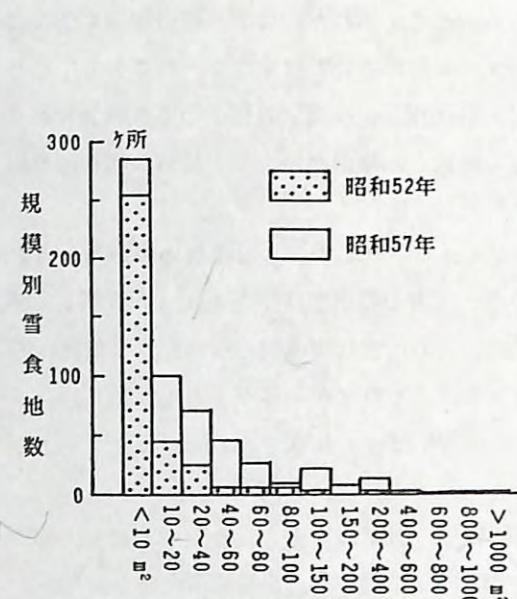


図-7 雪食地数の分布

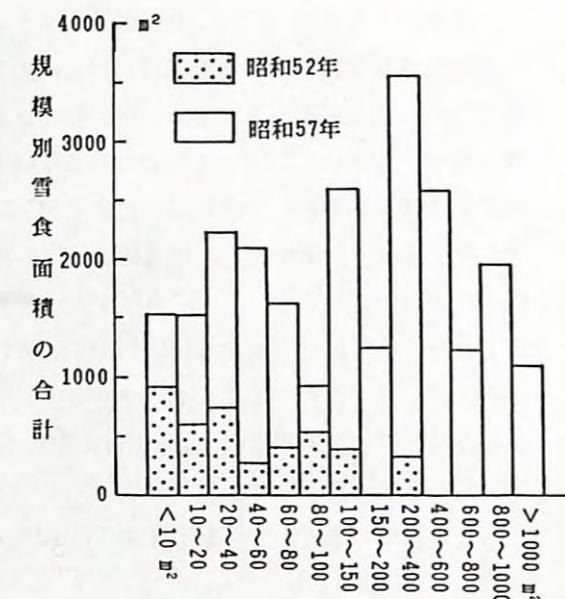


図-8 雪食地面積の分布

下の箇所数はやや増加したが、その割合は49%までに低下して、裸地面積の大きな雪食地が増えた。次に両年における雪食地の総面積についてみると、52年には4,330 m²であったが、57年には7.1倍の30,600 m²にも拡大した。この状況を裸地面積の規模別にあらわしたのが、図-8である。図からわかるように、1階級の面積は52年には小雪食地は大きく、おむね大雪食地は漸減する傾向があるが、57年には100 m²以上の大雪食地面積が大きな割合を占めるようになった。また雪食裸地の形状からみると、52年には円形斑状および筋状の裸地面がほとんどで、雪食初期から中期へ進行中であったが、57年に至るまでに斑状・筋状の裸地が縦横につながり、急速に大面積の裸地が形成されていった(雪食後期)。

一方、伐採後の斜面積雪の安定性については、う小班でいくつかのクラックと1カ所の雪崩発生がみられる程度であったが、52年にはう・や小班で雪崩が散発するようになり、記録的な豪雪のあった56年の融雪期には、う・や小班西側斜面のいたるところで雪崩が発生し、以後これらの斜面は雪崩発生の常習地と化した。

この時期の雪食地の拡大は、積雪グライドによる転倒伐根の滑動が原因である裸地形成は少なく、灌木と3 m以上に成長したスギ造林木とその根系層が全層雪崩によって一体となって剥落する形態が多くなった。58~61年春の現地観察によると、この全層雪崩に伴う雪食地拡大と裸地の表面侵食は一層激しく進行しており、スギ造林地は傾斜のゆるい斜面下部に団地状に残在している。

一方、調査対象とした川胡桃沢上流域80 haの、東側急斜面で発生した雪食地は52年にはなく、57年には5カ所(合計面積90 m²)のみであった。これは急斜面の上半分(ま小班の一部)

が、伐採されずに残った天然生林で覆われているためと思われ、激しい荒廃地となった西側斜面と比べ、著しい対照を見せている。

4. 雪食対策試験工の施工と効果

前述のように雪食地の発生と拡大は、積雪のグライドあるいは全層雪崩によって引き起こされるものである。したがってその防止を図るためには、なんらかの方法によって積雪層の移動を軽減・抑制しなければならない。このため、小松原国有林の雪食地において対策試験工を実施し、その効果を検討した。

施工地は3林班や小班の西側(東向き)斜面で、山腹の上部に位置する標高1,200 m地点である。ここでは雪食により植被がほとんどなく、裸地面のところどころにススキ・ササが残る程度で、40度前後の急斜面のため雪崩常習地となっていた。

施工地の大きさは幅45 m、斜面長20 mほどで、その中に階段工と偏平半球グライド抑制工(1で既述)・植栽工の間隔を変えた3区を設定した。施工は飯山営林署が担当し、昭和59年10月に完成した。施工地の展開図と断面図を図-9に示す。3区の設定は次のようにある。

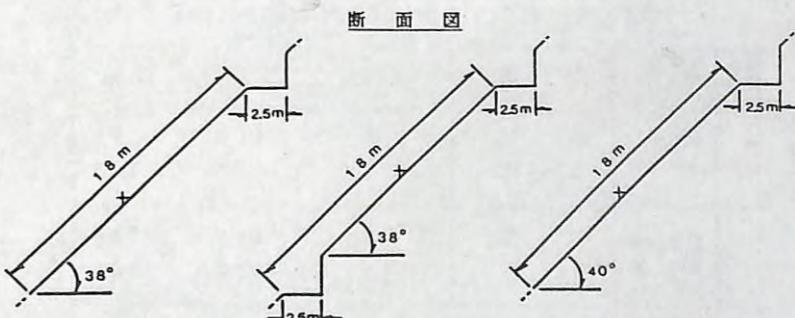
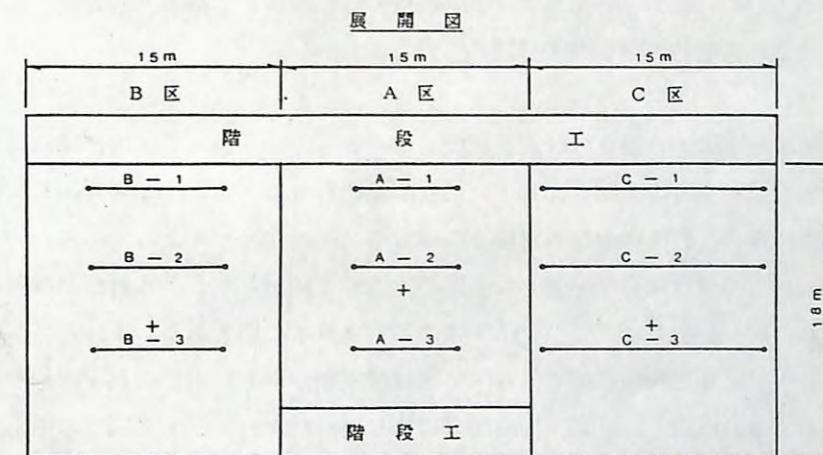


図-9 雪食対策試験工の状況(A-1~C-3は侵食測定用の測線、+印は積雪移動量測定杭)

A区: 15m × 15m, ブナ植栽 1.8m 間隔, 傾斜38度, (対照区)

B区: 15m × 18m, 偏平半球グライド抑制工, ブナ植栽 1.8m 間隔, 傾斜38度

C区: 15m × 18m, 偏平半球グライド抑制工, ブナ植栽 2.5m 間隔, 傾斜40度

植栽されたブナは山引き苗が用いられた。試験工の効果を検討するために、昭和60年から62年までの積雪期と融雪後および根雪前に現地調査を行い、施工地における雪崩発生の有無と、積雪グライド量・土壌侵食量、グライド抑制工、ブナ植栽木の状況を調べた。その結果は以下のようにある。

1) 雪崩発生の状況

施工前には雪崩発生の常習地であった施工地では、60年～62年の3冬季の現地踏査によって、雪崩は発生しなかったことが明らかになった。このことはA・B・C各区の中心位置と下部に、積雪前に設けた積雪移動杭を用いた積雪移動量によっても確認できた。表-2は3冬季の各区における積雪移動量(中心と下部6m位置)を示す。A区はグライド抑制工を持たないが、斜面の上下に階段工が施工されているため、グライド量は、3区内では小さいことが多かった。C区でのグライド量は、B区より3例中2例まで大きく、グライド抑制工の配置密度の違いが現れたものと思われる。3冬季のグライド量は、3区を通して最大2m程度で極めて小さく、当試験工による雪崩防止効果は十分認められた。

2) 土壌侵食

雪食対策試験工の土壌侵食の状況を把握するために、A・B・C区内に定測線を3本ずつ設け、融雪後(6月)と降雪前(10月)に横断測量を行った。昭和60年6月から62年6月までに得られた各時期の、各区における平均土壌侵食深は図-10に示すようである。また、積雪移動による雪食地での侵食深(平均値)の1例を、表-3に示したが、これは試験工施工地から約700m離れた同一斜面(標高1,100m)にある雪食裸地の値である。1区と2区は伐根の転倒通行により生じた矩形状の裸地であり、3区は灌木類が面的に剥落した平滑地である。侵食深は各区とも4本の測線を設けて、横断測量により得られた。1区・2区での侵食深は7cm前後

表-2 試験工における積雪移動量(cm)

No	測定月日	位 置	A 区	B 区	C 区
1	昭和60年 6 月	中 部	5 0	1 0 0	7 0
		下 部	4 0	9 5	1 1 5
2	昭和61年 6 月	中 部	1 0 0	1 0 0	2 3 0
		下 部	1 3 0	5 0	2 0 0
3	昭和62年 6 月	中 部	8 0	2 4 0	--
		下 部	1 4 0	8 0	2 0 0

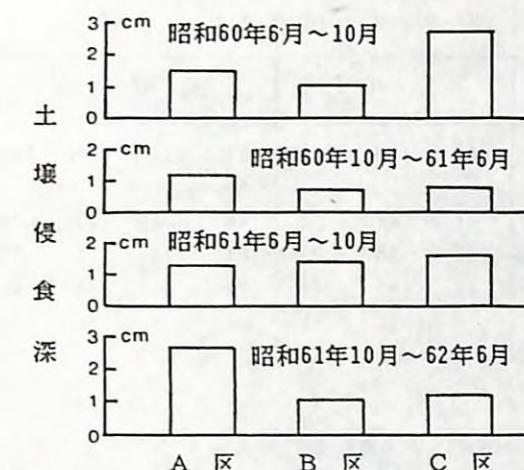


図-10 各試験区における土壌侵食深

表-3 雪食裸地における侵食深

No	面 積 (m ²)	方 位	傾 斜 (度)	積 雪 深 (m)	侵 食 深 (cm)
1	7 7	N E	3 7	3 . 0	6 . 5
2	1 1 5	N E	3 8	3 . 0	7 . 5
3	2 2 1	N E	3 7	3 . 0	1 . 3

* 昭和56年10月～57年5月

でかなり多く、3区では基岩が露出しているため1cm強と少ない。これに対し試験工施工地における侵食深は、ほとんどの場合1cm前後であり、A区で62年に若干多かった。61年・62年ともA区における侵食深はB・C区より常に大であった。前述のように施工地では雪崩発生の見られなかったこと、およびグライド量も少なかったことから、どの区でも積雪移動による侵食は、ごく僅かであったといえる。無雪期(6月～10月)の侵食深は60年のC区が2.7cmとや大きかったほかは、1.0～1.6cmと小さかった。調査期間中、施工地内で最も大量の土砂移動は、階段工法面上部の崩落によるもので、いずれも融雪期に起きたと思われる。上部階段では施工直後の60年春に、幅45mのうち33mで19.6m³におよぶ多量の土砂が崩落した。61年・62年の崩落量は3.2m³・2.8m³であった。A区の下部階段では60年・61年に7.5m³・3.7m³崩落した。

3) 植栽木の生育

A・B・C区内に植栽された山引きブナの消長を60年6月から62年6月までの各時期に調べた。その結果を表-4に示す。表中、A・B区で年によって調査数が異なるのは、補植が行われたためである。また平均伸長量が年毎の平均苗長の差とならないのは、61年・62年6月に生

表-4 ブナ植栽木の生育状況

試験区	A区			B区			C区		
調査年(6月)	60年	61年	62年	60年	61年	62年	60年	61年	62年
調査本数	21	42	42	30	36	37	30	30	30
活着(生存)率(%)	52	38	29	87	75	68	70	53	27
平均苗長(cm)	43	39	41	62	52	55	65	54	63
平均伸長量(cm)	—	-14	-1	—	-7	8	—	-8	0

存する同一個体の、前年との差をとったためである。表で見るように、ブナの活着率(生存率)はA区で悪く、植栽後3年目の62年6月にはC区と同様に、30%まで低下している。また各区における年毎の上長生長は、62年のB区のほかはマイナスか横ばい状態である。活着率(生存率)低下と生長阻害の原因は、すべての植栽木が毎年野兔の喰害を受けるためであり、現状ではブナ植栽木の正常な生育は期待できないと思われる。

IV あとがき

本研究で行った雪食対策試験工により、施工地周辺における雪崩の発生は防止され、地表侵食も僅少となった。試験工の問題点としてはまず、直切りの階段法面が崩落するので、整地と法面保護が必要である。次に、ブナ植栽木は野兔害が著しく、正常な生育をしないので、スギなど他の樹種に転換しなければならない。

調査地内の雪食地拡大は現在も進行中であり、このまま放置すれば西側急斜地は全面的に裸地化する恐れがあるので、早急な復旧事業の実行が望まれる。