

多雪地帯の経済的治山工法の研究 (第1報)

復旧工法の試験(I)

高橋喜平⁽¹⁾・佐藤正平⁽²⁾・片岡健次郎⁽³⁾

Kihei TAKAHASHI, Shohei SATO and Kenjiro KATAOKA:

Studies on the Economical Erosion Control Work for the Restoration
of Denuded Hillsides in the Heavy Snowy Regions (Report I)

An examination on restoration works (1)

要 旨: 積雪が障害になっている多雪地帯の荒廃地における合理的・経済的治山工法について検討するため、山形県蔵王山に総合工種の試験地7区を設定して各種山腹工を施工し、山形分場構内に単独工種の試験地として傾斜角度別の実験斜面4区と、雪庇防止区、植栽試験区を設定した。試験は10か年計画のもとに1960年から開始されたが、5か年間に明らかにされた諸点はつぎのとおりである。

(1) 蔵王試験地内の積雪分布は非常に複雑で積雪深に極端な差があり、稜線には巨大な雪庇が形成された。

積雪の多いところでは、積雪の移動によって編柵工の大半が破壊され、全層なだれによって空積が全壊したが、雑積は破壊されなかった。各種筋工の被害も現在のところは少ない。積雪深に大きな差があるため、個々の工作物の治山効果を比較することはできなかった。

植栽樹草の生育は非常に悪く、侵入植生も少なかった。それゆえ、施工後も土砂流出量はほとんど減少していない。積雪の少ない所では、凍結・融解による著しい侵食が見られた。

(2) 法切りした実験斜面の傾斜が40°以下の場合、積雪の移動速度は積雪量や気象条件に直接左右されることなくほぼ等速で、移動量は自然斜面に比べて1/10~1/3程度にすぎなかった。しかし、45°斜面では移動量が大きく、移動のしかたは不安定であった。

筋工に加わる雪圧は、40°以下の斜面では傾斜によってあまり変わらないが、45°斜面では急増した。積工の積雪移動に対する防止効果についてはまだ明らかにすることができなかった。

目 次

I ま え が き	32
II 多雪地帯の経済的治山工法の研究計画	33
1. 研究の目的	33
2. 研究計画の前提	33
3. 研究の計画	34
4. 実施分担	38
III 復旧工法の試験計画	38
IV 総合工種の試験	39
1. 試験地の概況	39
2. 試験地の設定	40
3. 調査方法	44
4. 調査結果	45
V 単独工種の試験	54
1. 試験地の概況	54

2. 傾斜別斜面区の試験	54
3. 雪庇防止区の試験	65
4. 植栽区の試験	69
要 約	70
文 献	72
Summary	73
Plate	1 ~ 8

I ま え が き

わが国における治山事業の過去の実績ならびに経過をみると、それぞれの地帯の特色を軽視して画一的に施工が行なわれてきたところが多く、そのため損失と失敗の例が少なくない。しかし、近年になってそのことが問題となり、治山事業の合理化と能率化の観点から、施工地における合理的経済的治山工法の確立が要請されるようになった²⁾。そのためには、全国を気候・地質、その他の立地条件から数地帯に分け、それぞれの地帯の特色に応じた工法が確立されなければならない。

その一環として、日本の代表的多雪地帯である東北地方の裏日本地帯の荒廃地を対象に、積雪が障害となっている場合の山腹工法について検討することにした。本研究は復旧工法の試験と既施工地の取扱い法の試験の2項目から成り立っているが、復旧工法の試験は山形分場が担当した。

従来、山地における積雪の移動や、森林の積雪移動防止機能についての研究実績はあるが、荒廃地の復旧工法との関連についてはほとんど研究されていない。したがって、この研究を行なうには、多雪地帯の荒廃地に、既往の研究成果から選びだされた施工法をもとにして、単価の高いものから単価の安い復旧工法および処理方法を施工し、その結果を総合するとともに、山腹工事に用いられる種々の工作物が、積雪に対していかなる能力を発揮するかを、単純な条件の下で個別に検討することが必要である。このため、山形県山形市の蔵王山麓川流域内の荒廃地に総合工種の試験地を設定して各種工法を施工し、10年間にわたって経年変化を観測するとともに、同県真室川町釜淵の山形分場構内に実験斜面を設定し、個々の工作物の影響を調べるため、単独工種の試験もあわせて行なうこととした。

本研究は1960年から10年計画のもとに着手されたが、その計画の立案、設計、試験地の選定には林業試験場防災部、山形分場がこれに当たり、防災部の川口武雄、難波宣士、岩川幹夫、武田繁後、壺山徳治、杉山利治、山形分場の高橋敏男、高橋喜平がこれに参画した。蔵王試験地の施工は山形営林署の白田一郎、奥山照夫の両氏が実行し、調査、測定は山形分場多雪地帯林業第2研究室の高橋喜平、佐藤正平、片岡健次郎が担当した。

試験地の設定は1961年に完了したのであるが、蔵王試験地については施工後導入した植生の生育がきわめて不良であったので、1965年に早期緑化を目的とした植生の導入や、土壤改良などを考慮した補修工事を行なった。

現在のところ、計画による試験期間はまだ終了しておらず、十分な検討を加えるまでにはいたっていないが、取りあえず、今回は補修以前の5冬季間の経過について一応取りまとめを行ない、中間報告をすることにした。

この試験の実行に当たって、種々ご支援を賜った林野庁、秋田営林局、山形営林署の関係各位をはじめ、川口武雄（防災部長）、難波宣士（治山第1研究室長）、岩川幹夫（治山第2研究室長）、村井 宏（東

北支場経営第4研究室長）の方々、測定に協力をいただいた山形分場の小野茂夫、川口利次、報告の取りまとめに助言をいただいた石川政幸（山形分場多雪地帯林業第2研究室長）の方々に心から感謝の意を表する次第である。

II 多雪地帯の経済的治山工法の研究計画

本研究の全体的な研究計画はつぎに示したとおりであるが、細部については種々のつどいで一部変更して実施した事項もある。

1. 研究の目的

現在、治山事業の能率化の観点から経済的治山工法の確立が要請されている。経済的治山工法としては全国を数地帯に分け、それぞれの地帯の特色に応じた工法が確立されなければならないが、その一環として、日本の代表的な地帯とみられる多雪地帯の山腹工事（既施工地の取扱い法も含む）について、その経済的治山工法を検討しようとするものである。

2. 研究計画の前提

1) 試験の対象

多雪地帯の荒廃地は積雪以外の因子（豪雨・地震など）が発生の原因となったものと、積雪が発生の原因となったものの2種に大別されるが、ここでは発生の原因は問わず、しかも最深積雪深が2m以上（降雪水量800mm以上）の荒廃地で、

A) 荒廃地を復旧するにあたり、積雪の移動（なだれ、クリープなど）がおもな障害になる場合の山腹工事

B) 山腹工事の既施工地を更新・保育するにあたり、積雪の移動が問題になる場合の取扱い法を試験の対象とする。

2) 立地条件からの要請

多雪地帯の荒廃地では、積雪の移動圧によって山腹に施工された工作物が破損しやすく、土壌の安定が期しがたい。しかし、この移動圧をうまく処理し得れば、一般に植栽樹草のための条件は恵まれている。したがって、この移動圧の実態を把握し、これに対していかなる処理を行えばよいかを求めることが、本地帯の山腹工事や既施工地の取扱い法の経済的工法を定める上での特徴となる。

また、多雪地帯では、はげ山地帯におけるように相似た条件下で荒廃地が広く分布するのではなく、小荒廃地が点在するという特性がある。このことは、当面問題となる積雪の移動状況が地形などの影響を大きく受けることと相まって、実態の把握、研究結果の適用を困難にしており、研究実施上格別の考慮が必要となる。

3) 研究実態からの要請

山地における積雪の移動については、林地におけるなだれ防止のための階段、森林の積雪移動防止機能についての研究実績はあるが、荒廃復旧工法との関連ないし既施工地の問題はほとんど研究されていない。したがって、この研究を行なうには、多雪地帯内の荒廃地および治山施工地に単価の高いものから単価の安い復旧方法および処理方法を施工して、その結果を総合的に検討することのほかに、山腹工事に用いられる個々の工作物が、積雪に対していかなる能力を発揮するかを、単純な条件下で個別的に検討することが必要になる。

3. 研究の計画

1) 試験の方針

秋田、青森営林局管内の多雪地帯および林業試験場山形分場の構内に、復旧工法の試験区Aと既施工地の取扱い法の試験区Bを設定し、この試験を本研究の主体とする。復旧工法に関しては、A-1：総合工種の試験区、A-2：単独工種の試験区の2試験区を置く。

総合工種の試験としては、積雪の移動圧を十分に考慮に入れた工法と、積雪の移動圧をまったく考慮に入れない工法とを両極端とし、その間に適宜に数種の工法を含めて比較を行ない、施工経費と治山効果の関係を検討する。

単独工種の試験としては、この地帯で一般に利用されている積工・編柵工などの個々の工作物を抜きだし、そのおのおのについて山腹傾斜別・施工法別の比較を行ない、積雪の移動に対する効率的な配置法の基準を得るための検討を行なう。

既施工地の取扱い法に関しては、伐期にきた森林の伐採、更新法の試験区および或林させるための保育方法の試験区を設定し、そのおのおのに各種の試験処理を行なって、積雪条件下における施工地の取扱い法を比較検討する。

調査測定は約10年を予定する。

2) 試験地

A：復旧工法の関係

A-1：総合工種のための試験地を山形営林署管内蔵王山の蔵川流域内荒廢地に設定

A-2：単独工種のための試験地を林業試験場東北支場山形分場構内に設定

B：既施工地の取扱い法の関係

川尻営林署管内8林班および16林班内の既施工地に設定

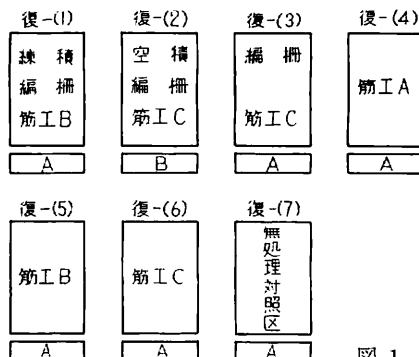
3) 試験方法

A) A地区の部

(1) A-1 関係 (蔵王)

i) 工 種

本地区内の荒廢地のうち約1haを選び、つぎの6種の施工区および無処理対照区を小流域単位に1区ずつ合計7区を設ける(図1)。各区の下端には土砂流出量測定装置(箱または谷止)を付属させ、必要箇所には埋設空積および水路を設け、階段またはこれに準ずるものの延長は3,000~4,000m/haとする。



植栽方法は現在この地区で主として用いられている方法に統一する。

線積：高さ2m，斜距離間隔約30m。

空積：高さ2m，斜距離間隔約30m。

編柵：斜距離間隔約10m。

筋工A：実積を主体とし，斜距離間隔約1m。

筋工B：補強材料(石または丸太)を伴う筋工。

筋工C：補強材料を伴わない筋工。

□ A：土砂流出量測定用の箱。

□ B：土砂流出量測定用の谷止。

図 1. 蔵王山の試験区

ii) 結果の判定

各工種の破壊程度を観察することが第1の結果判定の基準となるが、さらに、積雪の移動圧および移動量、土砂流出量、主林木の生育状態も判定の基準に加え、つぎのような方法で測定を行なう。

イ) 積雪の移動圧および移動量：各区の階段間斜面および階段水平部に数本の支柱を置き、それに取り付けられた鉛コーンによって移動圧を推定する。移動量は一端を固定したワイヤーロープに連結された木球を、数個置くことによって推定する。これらの設備は降雪前にセットし、融雪後測定を行なうものとする。

ロ) 土砂流出量：各測定容器内および谷止背後に堆積した土砂の容積と、その測定時の平均密度を土壌採集円筒などで測定する。測定は融雪後1回、降雪前に1回を原則とする。

ハ) 主林木の成長量：階段またはこれに準ずる所に生育する主林木の樹高および根元直径を測定する。土壤条件などから考えて層別可能の場合は上下または上中下に区分し、1区において約10mの筋を10本ほど抽出し、各樹種ごとに50本程度の平均値を求める。測定は2年に1回、10月に行なう。

iii) 年次計画

- 1960年度 1. 試験区および試験工種の決定
- 2. 予備資料の集収および予備調査
- 1961年度 1. 各工種の施工
- 2. 測定装置の設定
- 3. 施工時の現状調査
- 1962年度以降 1. 変化過程の調査測定

(2) A-2 関係（釜淵）

A-1区では、試験区として取りうる区の数に制限があるため、工作物の施工様式、植栽方法などは数種類に限定し、それらを総合して各種の施工を行なったが、これら工作物や植栽樹種の一般化をはかるには、積工・編柵工・植栽工などの各工種をそれぞれ分離し、それらの各個別工種について比較検討しなければならない。このため、林業試験場山形分場構内に、1区の大きさが、幅15m、高距約20mで、傾斜30°、35°、40°、45°の4斜面（傾斜別斜面区）および雪庇防止柵、堆積土砂部の植栽の2試験を可能にする斜面をそれぞれ各1区（雪庇防止区と植栽区）設定し、つぎのような試験を実施する。

i) 工 種

a) 傾斜別斜面区：傾斜がとくに問題になる積工・編柵工・筋工・植栽工について順次検討する。各工種のうち各種類についての検討期間はほぼ1年を原則とする。

イ) 積 工

練積について、有効高1.5mで直高間隔15m、有効高1.0mで直高間隔15mの2種

ロ) 柵 編 工

直高間隔を5mと10mとした場合の2種

ハ) 筋 工

直高間隔を1mと2mとした場合の2種

ニ) 植 栽 工

土壤条件のよくないところに用いられる治山樹種として、ヤマハンノキ・タニガワハンノキ・ヒメヤシ

ャブシ・ケヤシャブシを選び、それらを混植する。

b) 雪庇防止区：長さ約40mの稜線部を半分ずつ使って透過性と半透過性の柵について高さ別に比較する。各高さについての検討期間は1年を原則とする。

イ) 雪庇防止工

地上高2.5mで50%透過性の柵と不透過性の柵、および、地上高1.5mで50%透過性の柵と不透過性の柵の2種

c) 植栽区：治山施工地内の堆積土砂部で考えられる経済樹種としてつぎの樹種を選び、幅15m、長さ10mの区画を単位に植栽して比較する。検討期間は約10年とする。

イ) 経済樹種

スギ・ドイツウヒ・リギダマツ・アカマツ・ヒメコマツの5種

ii) 結果の判定

基本的にはA-1の場合に準ずるが、測定事項としては積雪の移動圧および移動量を主体とする。測定機械には雪圧測定用の磁歪計も併用し、測定は随時行なうものとする。

iii) 年次計画

- 1960年度 1. 試験斜面の整地
- 2. 施工前の予備調査
- 1961年度 1. 試験斜面の整地
- 2. 施工前の予備調査
- 1962年度 1. 試験斜面の完成
- 2. 積工、雪庇防止工の施工
- 3. 本調査の開始
- 1963年度以降 1. 各工種の検討
- 2. 本調査の継続

B) B地区の部

山腹工事の既施工地の取扱い法の検討を行なうため、川尻宮林署管内の16林班、および8林班内のなだれ防止工事施工地を試験区とする。

16林班内の試験区は、よく成林し伐採収穫が可能になった場所で、林木のなだれ防止機能を保持させながら林木の伐採・更新をはかる方法を検討する区（伐採区・更新区）とする。

8林班内の試験区は、植栽木の生育が不良で、まだ良好な林相となっていない場所で、林相を改良するための保育方法を検討する区（保育区）とする。

(1) 伐採・更新区（16林班）

i) 処理法

本地区内のなだれ防止工事施工地のうち約2haを選び、つぎの4種の処理区を階段工の施工区とそれ以外の工事（柵杭）の施工区に各1区、計8区を設ける。各区の大きさは縦125m、横30mを原則とし、各処理区下方には約30m幅の保護林帯を残しておく。伐採跡地には1.5m間隔にスギを植栽する（図2）。

ii) 結果の判定

結果の判定の基準を、イ) 積雪の移動圧および移動量、ロ) 残存林分の生育、ハ) 植栽木の生育に主眼

を置く。各項目の測定方法はA-1区の測定法に準ずる。

iii) 年次計画

- 1960年度 1. 試験地の選定
- 1961年度 1. 試験処理前の基礎調査
2. 試験処理法の決定
- 1962年度 1. 各区の処理
2. 測定装置の設定
3. 施工時の現状調査
- 1963年度以降 1. 変化過程の調査、測定

(2) 保育区(8林班)

i) 処理法

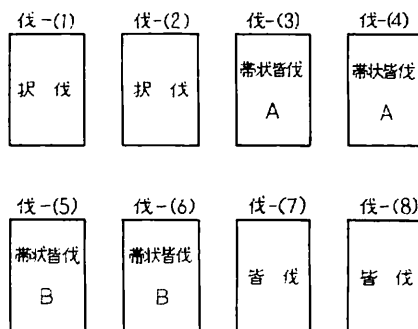
本地区内のなだれ防止工事施工地のうち約2haを選び、8種の処理区を各1区、無処理対照区を1区、計9区を設ける(図3)。各区の大きさは縦50~80m、横15~30mを原則とし、新植苗木および階段部の既植ケヤキには一定の施肥を行なうものとする。なお、数種の適正と思われる樹種(ドイツトウヒ・リギダマツ・タニガワハンノキ)などの比較をするため、上記の9区のはかに樹種試験区を1区設定する。

ii) 結果の判定

結果判定の基準を、イ) 新植苗木の生育、ロ) 既植の林木の生育、ハ) 自然侵入の有用高木類の生育、に主眼を置く。各項目の測定方法はA-1の主林木の成長量の測定方法に準ずる。

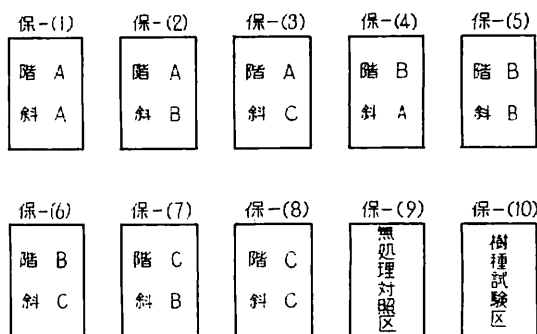
iii) 年次計画

- (1)の伐採・更新区と同様である。



択伐: 伐採率50%の単木伐採。
 帯状皆伐A: 伐採率15m、残存帯15m(伐採率50%)。
 帯状皆伐B: 伐採率15m、残存帯5m(伐採率75%)。
 皆伐: 山側からみて伐採高0.6mの高伐。

図2. 川尻営林署16林班の試験区



階: 既設の階段およびその下方数m。
 斜: 階の区域以外の斜面部。
 階A: 階部を全伐し、伐採跡にスギ・ヤマハンノキを混植。スギ・ヤマハンノキの交互植栽。間隔は、1m列間間隔は1.5mとし、列数は5列を原則とする。
 階B: 階部のケヤキおよび有用高木類(ナラ類、カエデ類)を保育対象として、つる切り・除伐をおこない、ヤマハンノキを植栽する。植栽方法は階Aに準ずる。
 階C: 階部のケヤキおよび有用高木類を保育の対象として、つる切り・除伐のみをおこない、除伐木等は搬出せず林地の被覆に用いる。
 斜A: 斜部の有用高木類を保育の対象として、つる切り・除伐をおこない、イタチハギを1.5m間隔に植栽する。
 斜B: 斜部の有用高木類を保育の対象として、つる切り・除伐を行ない、除伐木等は搬出せず、林地の被覆に用いる。
 斜C: 斜部を全伐し、伐採跡にヤマハンノキを植栽する。間隔は縦横とも1.5mとする。

図3. 川尻営林署8林班の試験区

4. 実施分担

1) 試験計画の立案

全体的事項については林業試験場防災部、復旧工法の関係については林業試験場東北支場山形分場、既施工地の取扱いの関係については、林業試験場東北支場が担当する。

2) 現地事業の実行

A-1 関係（蔵王）の治山工事の実行、測定設備の設置は秋田営林局、A-2 関係（山形分場）の実行は山形分場、B 関係（川尻）の実行は青森営林局で行なう。

3) 調査関係

A 関係の調査測定は山形分場、B 関係の調査測定は東北支場で行なうが、一部事項については所管営林署に依頼することがある。

III 復旧工法の試験計画

復旧工法の試験計画については前章にも述べられているが、計画決定までのいきさつ、ならびに実行段階で一部変更になるかもしれない点について若干ふれることにする。

当初、本研究が立案されたとき、総合工種の試験地は秋田営林局管内から選出することとし、次の条件を満たすことが望ましいということであった。すなわち、イ）多雪地帯を代表する崩壊地であること、ロ）その地帯は治山の既施工地であること、ハ）交通関係が便利で、なるべく現地の近くに治山事業所があること、の3点であった。その結果、秋田営林局治山課から推薦されたのが蔵王山の崩壊地である。

試験地は、それぞれ独立した3崩壊地で、これに7試験区を設けることにした。しかし、地形および崩壊の状況がそれぞれ異なるので、各試験区の成績を比較検討する場合、その点の取り扱いにかなりの難点があったが、他に適地が見当たらないので、やむをえず決定した。

工種については、現地の積雪のことは一応無視して、前掲の図1に示したような組合せとし、1961年に施工を終わったのであるが、その後なだれによる工作物の破壊、植栽木の生育不良のために補修を行なった。

計画当初、単独工種の試験地としては新庄営林署管内の肘折地区が候補にのぼり、現地での作業を進めたのであるが、種々のつごうで取りやめとなった。その後も他の候補地について踏査したのであるが不適当ということになり、結局、計画を変更して山形分場構内に実験斜面を人為的に構築して実施することになった。

実験斜面における試験は、現地試験の結果を一般に普及させるときに、その基準となるべき事項について詳しく検討する必要があるという見地から設定されることになったもので、主として積雪の移動に対する各工種の影響を明らかにするのが目的である。

この主旨に従って最終的に決定した計画案は、分場構内の山地に1区画の大きさが幅15m、高さ20m、傾斜角30°、35°、40°、45°の4斜面を作り、この斜面で積工・縦柵工・筋工・植栽工について、積雪との関係を順次検討するというものであった。そして1960年度から直営で施工に着手し、翌年度に完成したが、その過程でつぎのことが追加された。すなわち、1960～61年冬期の積雪調査の結果、実験斜面の積雪形態および積雪深をなるべく同一条件にするための設備が必要であり、また、斜面の掘取り上砂を整地する必要があることがわかり、それらも試験の一部に組み入れて、前者では雪庇防止柵の効果⁴⁾⁶⁾⁹⁾¹¹⁾につい

て調べ、後者では多雪地帯の経済的樹種¹²⁾¹¹⁾¹⁵⁾を植栽して、その成績を調べることにしたのである。

なお、傾斜別斜面区では、試験期間（10年）内に各工種について順次検討することになっているが、毎年の積雪状態の変動や、一部の測定方法の不備のためによい結果が得られなかった点もあるので、実施が一部後にずれ、また植栽工の試験などは斜面に岩が露出している所もあるために実施が不可能になるかもしれない。

IV 総合工種の試験

1. 試験地の概況

蔵王試験地は、山形市から南東へ直線距離で約12kmはなれた、山形営林署管内の蔵王横倉山国有林36林班内の崩壊地にある。当該地は群川支流蔵川の左岸、海拔約1,200mのところの位置し、5万分の1地形図にも崩壊地として記載されている所である（図4、写真1）。

試験地付近一帯は緻密質の灰色・赤色の橄欖石複輝石安山岩からなる鳥兜山溶岩³⁾が基岩となり、その上に褐色火山灰⁸⁾が堆積している。火山灰はあらい砂分が多くて結合力が弱く、地表流下水によって容易に侵食されやすい。

試験地付近の年平均気温は、蔵王温泉における資料²²⁾から推定すると、6℃内外と考えられ、冬季間は寒さがきびしく、1～2月の最低気温の平均値は約-8℃であるが、-15℃を下る場合がしばしばみられるようである（表1）。年間降水量は1,600mm内外でほぼ1,300～2,300mmの範囲にある。このうち

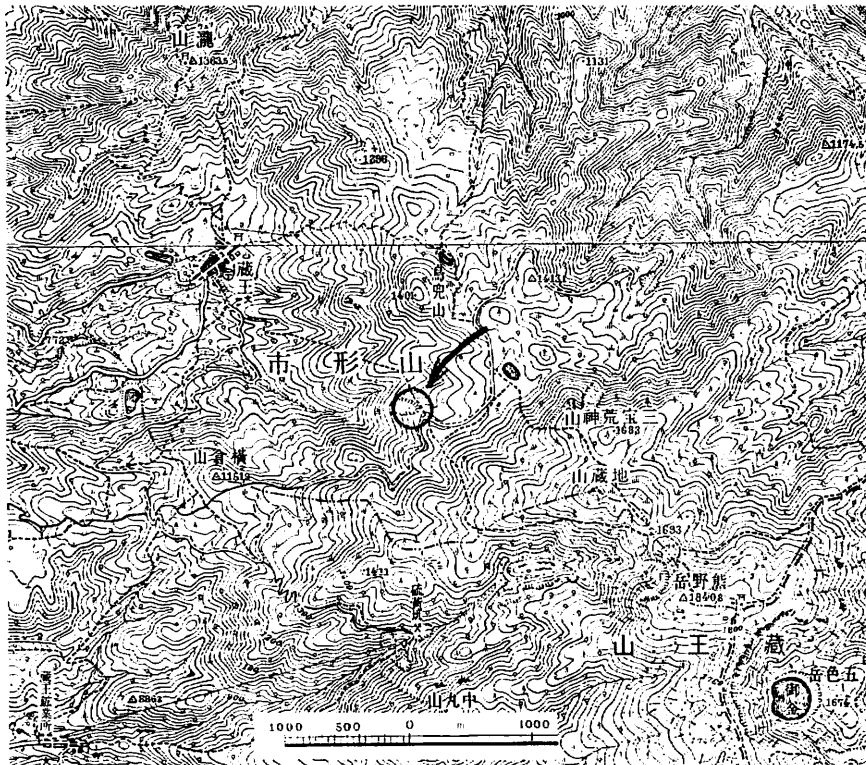


図4. 蔵王総合工種試験地位置図

表 1. 蔵王温泉*の気温と降水量 (1956~64年)

月	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	平均気温 (°C)	降水量 (mm)
1	-1.2	-7.8	-4.5	164
2	-0.4	-7.5	-3.9	138
3	3.6	-5.5	-0.9	97
4	11.9	1.0	6.4	68
5	18.0	6.7	12.4	82
6	19.7	10.6	15.1	132
7	23.7	15.5	19.6	262
8	25.1	16.0	20.5	171
9	20.4	11.7	16.1	176
10	13.9	5.6	9.8	108
11	8.2	0.5	4.3	89
12	2.5	-4.1	0.8	158
平 均	12.1	3.6	7.8	—
合 計	—	—	—	1645

注*: 標高 880m, 蔵王試験地から直線距離で 1.5km はなれている。

夏季の降雨量は 1,000mm を越え、台風の襲来する 7~9 月に多い傾向がみられる。

このように冬季に低温になるので、全層なだれなどによって地表面が露出する場合には、凍結・融解による風化が促進され、雨量も比較的多いから、地質・土壤条件が悪いことと相まって、植生の回復が容易に行なわれないものと考えられる。

試験地の設けられている崩壊地はいずれも 40°以上の急傾斜地で、特に 1 区、4 区の上部斜面は 50°近い急傾斜地となっている。

2. 試験地の設定

前述のように、積雪の移動圧を十分に考慮に入れた堅固な工法と、まったく考慮に入れない簡易な工法

表 2. 蔵王試験

試験区名	面積(ha)	施工前の状態	方 位	傾斜 (°)	斜面長(m)
復 1	0.093	崩 壊 地	NNW	47	41
2	0.167	同、一部ガリー	NNW	45	67
3	0.144	同、一部ガリー	NNW	43	57
4	0.147	同、一部低木林	N	45	50
5	0.053	崩 壊 地	SSW	45	24
6	0.053	同	SW	44	22
7	0.216	同	SW	40	56

注*: 植栽樹種のヤナギ類はさし木、ヤマハシノキ、ヒメヤシロブシは山引苗、合計 5,000本 (9,860本)。

*2: () 内は補修数量。

を両極端とし、適宜に組み合わせた数種の工法によって比較検討を行なうため、面積 0.05ha～0.2ha の 7 試験地を設けた（写真 2）。その施工内容は表 2 に、工種の配置は図 5 に示すとおりである。

練積と空積は高さ 2 m、斜距離間隔を約 30m とし、編柵は斜距離間隔を約 10m とした。

筋工 A（復一 4 区）は実播を主体とし、幅員 0.4m の切取り階段を斜距離間隔約 1 m ごとに施工し、階段上にイタチハギ・ヨモギ・イタドリ種子を混播した。またヤマハンノキの苗木を 1 m ごとに植栽した。

筋工 B（復一 1 区、5 区）は補強材料（石または丸太）を伴った筋工で、幅員 0.8m の切取り階段を斜距離約 5 m ごとに施工した。階段の中央部にヤマハンノキ・ヒメヤシャブシの山引苗を植栽し、階段先端部にイタドリ・ススキなどを植栽した。

筋工 C（復一 2 区、3 区、6 区）は補強材料を伴わない筋工で、幅員 0.5m の切取り階段を斜距離約 5 m ごとに施工したものであり、階段上に植栽した樹草は筋工 B と同様である。

なお各工種とも施肥は行なわなかった。各工種の構造は図 6 に示すとおりである。

試験区別の所要経費を表 3、工種別の単価を表 4 に示した。ただし、これらの経費のうち、積工の石材、編柵の小丸太、粗朶、筋工の丸太などはいずれも現地付近から採集して支給したものであって、その

地 の 施 工 内 容

施 工 内 容	植 栽 樹 種 ^{*1}	備 考 ^{*2}
山腹練積、編柵、石筋、植栽	ミネヤナギ、ミヤマヤナギ、イヌコリヤナギ、ヤマハンノキ、ヒメヤシャブシ	山腹練積 2 段、計 75.6m ² 、編柵 44.7 m、石筋 148.2m
山腹空積（山腹練積）編柵、イタドリ筋、植栽	〃	山腹空積 29.8m ² （山腹練積 49.0m ² ）、編柵 102.5m（64.0m）、イタドリ筋 338.5m
山腹空積、編柵、イタドリ筋、植栽	〃	山腹空積 54.1m ² 、編柵 49.0m（10.0m）イタドリ筋 157.5m
実播、植栽	イタチハギ、ヨモギ、イタドリ	実播 685.0m
丸太筋、植栽	ミネヤナギ、ミヤマヤナギ、イヌコリヤナギ、ヤマハンノキ、ヒメヤシャブシ	丸太筋 140.2m
イタドリ筋、植栽	〃	イタドリ筋 137.5m
無施工		

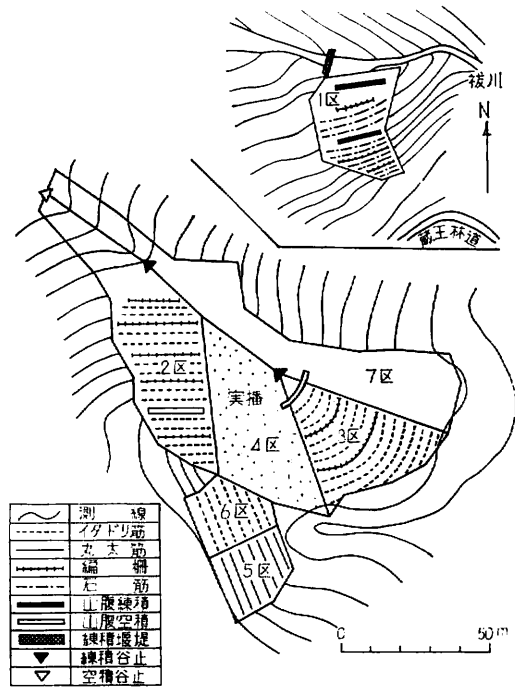


図 5. 蔵王試験地の工種配置図

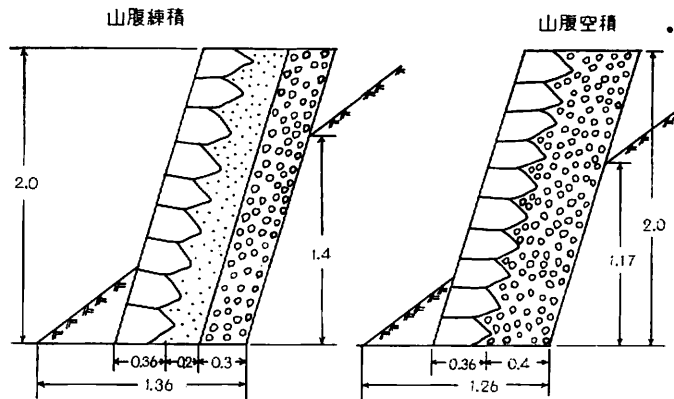


図16A. 山腹工構造図 (単位 m)

表 3. 工 種 別 の 所

試験区 No.	1		2		3	
面積 (ha)	0.093		0.176		0.144	
工 種	数 量	金 額	数 量	金 額	数 量	金 額
山 腹 練 積 (m ²)	75.6	315,648	(49.0)	(238,105)		
山 腹 空 積 (m ²)			29.8	55,295	54.1	88,768
編 冊 工 (m)	44.7	6,794	(64.0)	(22,400)	(10.0)	(3,550)
石 筋 工 (m)	148.2	16,523	102.5	15,580	49.0	7,448
イタドリ筋工 (m)			338.5	14,894	157.5	6,930
丸太筋工 (m)						
実 播 工 (m)						
整 地 (ha)		5,294		10,019		8,197
植 栽 (本)		(6,683)		(25,293)		(20,695)
		2,852		5,694		2,994
諸 掛 (円)		2,314		(152,933)		(2,055)
				4,379		3,582
合 計 (円)	356,108		544,593		144,169	
haあたり換算 (千円)	3,829		3,094		1,001	

注: () 内の数字は補修経費を示す。

表 4. 工 種 別 の

工 種	山 腹 練 積 (m ²)	山 腹 空 積 (m ²)	編 冊 工 (m)	石 筋 工 (m)
数 量	(49.0) 75.6	83.9	(74.0) 196.2	148.2
金 額 (円)	(238,105) 315,648	144,063	(25,900) 29,653	16,523
単 価 (円)	(4,859) 4,175	1,717	(350) 152	112

注: () 内は補修時の経費を示す。

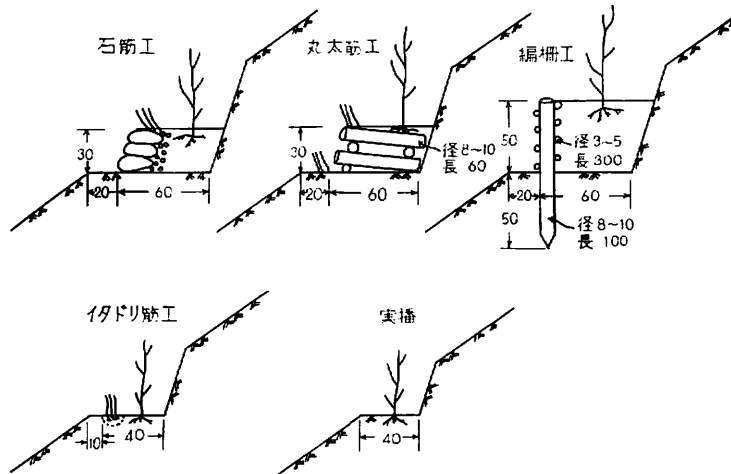


図 6B. 山腹工構造図（単位 cm）

要 経 費 の 明 細 表

4		5		6		7		合 計	
0.147		0.053		0.053		0.216		0.887	
数 量	金 額	数 量	金 額	数 量	金 額	数 量	金 額	数 量	金 額
								(49.0)	(238,105)
								75.6	315,648
								83.9	144,063
								(74.0)	(25,900)
								196.2	29,822
								148.2	16,523
								633.5	27,874
								140.2	24,762
								685.0	9,952
								0.67	37,912
								(9.860)	(70,850)
								5.000	23,607
								0.67	(154,988)
									16,570
41,125		34,666		15,915				1,136,576	
280		654		300				1,289	

平 均 単 価 表

イタドリ筋工(m)	丸太筋工(m)	実播工(m)	整 地(ha)	植 栽(本)	諸 掛(円)
633.5	140.2	685.0	0.67	(9,860)	(0.32)
				5,000	0.67
27,470	24,762	9,952	38,142	(70,850)	(154,988)
				23,672	16,668
44	177	15	56,928	(7)	(484,335)
				5	24,878

素材購入のための経費は含まれていない。

工事は山形営林署が1961年に直営で実行した。施工前後の試験地の状況は写真1、2に示したとおりである。ところが、その冬、2区と3区から全屑なだれが発生し、工作物の大半が破壊されたので、1962年に2区と3区の編柵を補修し、2区の空積を練積に変更した。また、各区とも植栽木の生育が不良であったので、1963年にダケカンバ・ヤマハンノキの植栽と、ミネヤナギ・オノエヤナギ・イヌコリヤナギなどのさし木による補修を実施した。これらの補修に要した経費は表3、表4の()内に示したとおりである。

3. 調査方法

前述のように、各試験区は地況条件も施工工種もそれぞれ異なるので、その結果の比較は、各工種の破壊程度と、それに積雪の影響、土砂の流出、植生の推移を加味して、総合的な観点から行なうことが必要である。そこでつぎのような項目について調査を行なうことにした。

1) 積雪調査

各試験区の積雪の分布、雪質などを明らかにするために、冬季1～3回にわたって、主としてスノーサンプリャーによる積雪調査を実施した。とくに、蔵王の雪質の特徴とみられるしもざらめ雪¹⁹⁾の観察に重点をおいた。調査はなるべく林業試験場防災部で決定した「積雪調査要領」に従って行なうことにした。

2) 積雪の移動および移動圧の測定

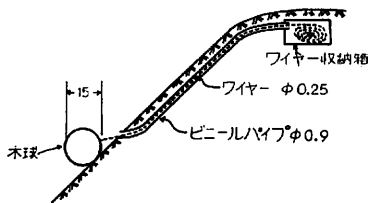


図7. 積雪の移動測定装置（木球法、単位 cm）

各試験区において、工作物におよぼす積雪の影響を知るために、積雪の移動量、および雪圧の観測を行なうことにした。

図7は積雪の移動量測定装置を示したもので、地上に放置してある木球が積雪の移動によって運ばれると、地面下に設置した箱内のドラムに巻いてあるワイヤーが引き出される仕組みになっており、これを降雪前に設置して冬季間放置し、

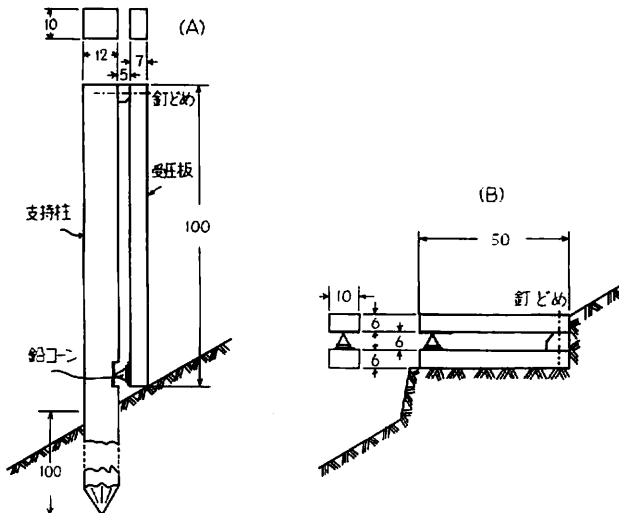


図8. 簡易雪圧測定装置（単位 cm）

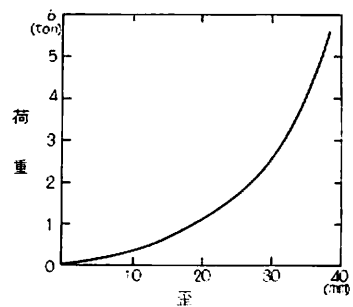


図9. 鉛コーンの歪と荷重との関係

消雪後にワイヤーの引き出された長さによって積雪の移動を知るようにしたものである。

この装置の欠点は木球を地上に放置してあるため、積雪の移動過程で、雪圧のために木球が地中にめり込んでしまうおそれのあることであるが、施工地であるために移動量が少ないものと予想されること、および他に適当な方法が考えられないことなどの理由で、あえて欠点を承知しながらこの方法を採用することにした。

つぎに図8に鉛コーン1点式の雪圧測定装置を示した。Aは移動圧、Bは沈降圧を測定するもので、Aを9個、Bを19個設置した（写真3）。

この装置は降雪前に設置し、消雪後における鉛コーンの歪量から雪圧を算出しようとするものであるが、鉛コーンの歪量と荷重の関係は図9のとおりである。鉛コーンは、荷重に変化がなくても、鉛自体のクリープのために経過時間に比例して歪量が増大するので、真の雪圧を知ることはできないが、測定値相互間の相対値を知るための簡便な方法である。これらの装置は図10に示す位置に設置した。

3) 土砂流出量の測定

各試験区の下端に土砂受箱を設置して、流出土砂量を降雪前と消雪後に2回測定することにした。ただし、豪雨などのために必要と認めたとき

には臨時に測定を行なうことにした。また、これと同時に各試験区の斜面上部・中部・下部（図10）にそれぞれ鉄製のピン10本を10cmおきに地面に差しこみ、ピンの頂点を基準にして、それから地表面までの高さを測定し、その増減から土砂の侵食と堆積の経過を調査した（写真4）。

4) 植栽木の生育調査

各試験区の導入種および侵入種を含めた植生の概況を観察した。また、斜面の上・中・下別（図10）に3 m²の方形区を任意に抽出し、わく内の導入種・侵入種の種類と成長を調査した。

4. 調査結果

1) 積雪の形態と分布

各試験区の施工前の積雪状態を知るために、1961年3月21日に初めて積雪調査を行なった（写真5）。

その結果、この地帯の冬季の主風は北西風であるが、斜面の向きにかかわらず、沢沿いの吹き上げ気流によって、一般に積雪は斜面の中心部では吹き払われる傾向があり、稜線では吹き払われたり、吹き溜りになったり、あるいは二重雪底になるなど、複雑な積もり方をしていることがわかった。

二重雪底の成因は図11に示すように、背後斜面からの吹き越しと、沢沿いの吹き上げによるものであって、おそらく、風の息により両者が交互に作用してできるものと推定される。

つぎに、施工後3回にわたり積雪調査を実施した結果によると、積雪形態の年による変化はほとんどみられなかったが、場所的な積雪量・積雪形態には非常に大きな差異があることがわかった。

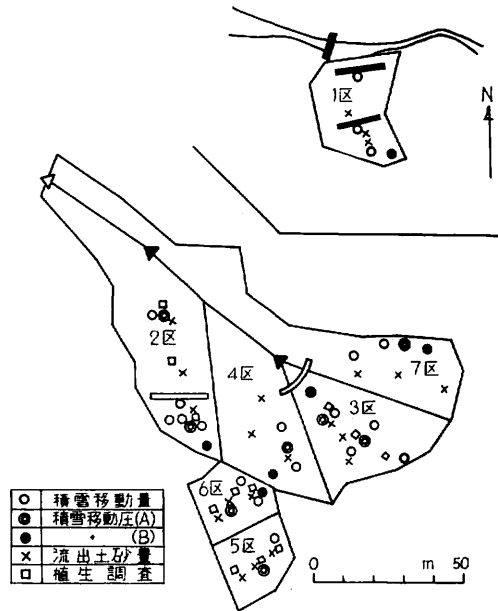


図10. 測定位置

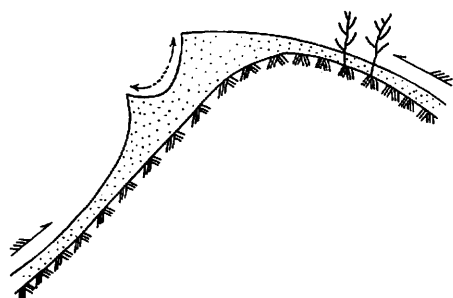


図 11. 二重雪庇の模式図

図12の積雪分布図は、1962年2月19日に測深棒によって試験地内176地点の積雪深を測定し、その資料によって描いたものである。この図でわかるように、試験地の積雪深は0~550cmと極端な差異があり、また積雪形態もきわめて複雑で、各試験区の工作物に対する積雪の影響度合を比較することが非常に困難であることを示している（写真6,7）。

2) 雪質の特徴

施工前の1961年3月、試験地の代表地点で積雪調査を行なったときの成績は、表5、図13に示すとおりである。これによってわかるように、調査地点の地形や積雪の条件などがかなり異なっているにもかかわらず、積雪深と積雪水量の関係は割合に単純で、積雪水量は積雪深の増加に比例して増加する。これは、冬季間の気温が大体0℃以下を持続し、積雪の変態が徐々に、しかも、規則的に行なわれているからであろう。

とくに、北陸や東北地方の平地ではみられないほど積雪の密度が小さい傾向がみられたが、観察の結果、その原因はしもぎらめ雪の形成によるものであることがわかった。すなわち、外気が0℃以下の低温を持続すると積雪層内に大きな温度勾配ができ、積雪の下層の雪粒から昇華した水蒸気が雪層内を拡散しながら上方にのぼってゆく途中で雪粒に凝結する。それがしもぎらめ雪の形成される原因であって、温度勾配が大きいほどしもぎらめ雪の形成が促進される。したがって、積雪が浅いほど、あるいは、外気温が低いほど温度勾配が大きくなってしもぎらめ雪が形成されやすい。

表 5. 積 雪 調 査 成 績 (1961年3月21日)

試験区 No.	方位	積雪の形態	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	平均密度 (g/cm ³)	雪 質
3	W	吹き払い	138	356	0.26	0~126 cm しもぎらめ雪、地面は凍結、 126~138 cm 新雪。
3	W	"	78	108	0.14	0~71 cm しもぎらめ雪、地面は凍結、 71~78 cm 新雪。
7	S	均 一	211	728	0.35	全層しもぎらめ雪、多少湿雪、地面は凍 結していない。
2	N	吹き溜まり	372	1325	0.36	0~160 cm しもぎらめ雪、160~372 cm しまり雪。
4	N	雪 庇	403	1488	0.37	下部はしもぎらめ雪、上部はしまり雪。

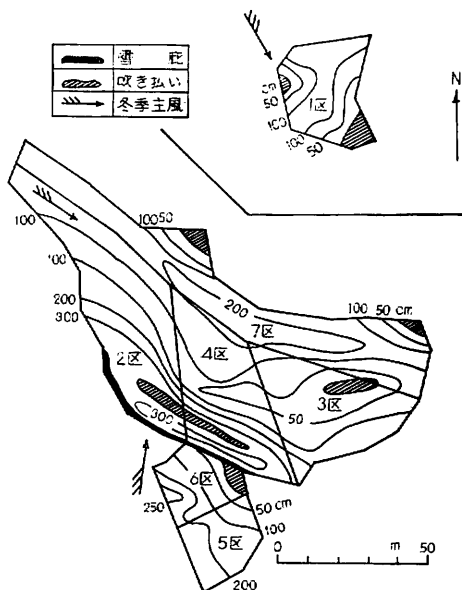


図 12. 蔵王試験地の積雪分布 (1962年2月19日)

一般に、しもざらめ雪以外の雪質の場合、積雪の密度は時間の経過に従って増していくが、しもざらめ雪の場合は時間の経過による密度の増加は認められないことが多い。

3) 積雪の移動と移動圧

積雪移動測定装置によって、1961～62年冬に測定した結果は表6に示すとおりである。

風の吹き上げによって積雪の少ない試験区では、1冬期間の積雪の移動はわずか18cm以下であるが、積雪が多く雪底が形成される2区と4区では、積雪の移動は不安定で、4区では1月中旬ごろにすでに全層なだれが発生した。また2区では3月20日までに175cm移動し、その後融雪末期に全層なだれが発生した。

いま、積雪量の多い2区の積雪移動について考察すると、積雪の移動が始まったと推定される12月8日から1月23日までの46日間における移動量は84cmで、平均日量は18mmである。また、その後3月20日までの55日間に91cm移動しているから、平均日量は17mmであって、両期間の平均日量の差はあまりない。このことは、積雪の移動が等速に近く、安定していることを示している。その原因は斜面を法切りして編柵と空積石垣を施工したためと考えられる。しかし、積雪の移動に伴って、編柵および空積石垣などの工作物が徐々に破壊され、融雪末期には二重雪底の部分から全層なだれが発生し、これらの工作物は完全に破壊された。

一方、これに隣接している積雪量の多い4区では、最初から積雪の移動が不安定で、根雪の初期にすでに全層なだれが発生した。これは法切りを行わず、単に実播をしたためと考えられる。その後、3冬期間にわたり観察を行なったが、積雪の移動経過は上に述べたことと同じ傾向を示した。

しかし、積雪が少ない1区、6区、7区ではしもざらめ雪が形成され、積雪底面が地面に凍結して移動が阻止されていることがわかった。したがって、そのような場所では、積雪の移動は地面と積雪とが凍結しない期間、すなわち、根雪の初期か融雪の末期にだけみられるようである。表6において1月23日から3月20日までの期間、1区、6区、7区の積雪の移動量がいずれも0であることは、そのことを実証している。

蔵王試験地での5冬期間の経験によれば、厳冬季において積雪深が大体200cm以下ならば、しもざらめ

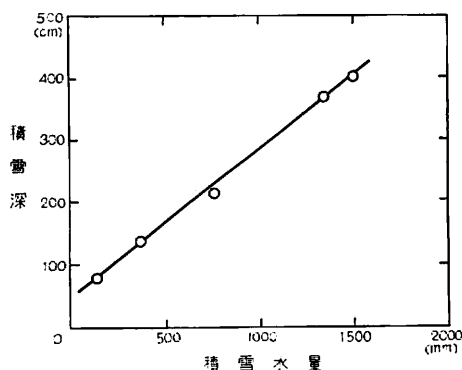


図 13. 積雪深と積雪水量との関係
(蔵王1961年3月21日)

表 6. 積 雪 の 移 動 量 (1961～62年冬)

試験区 No.	傾 斜 角 (°)	積雪形態	積 雪 深 (cm)	移 動 量 (cm)			
				1 月 23 日 (46日間)	3 月 20 日 (55日間)	5 月 15 日 (55日間)	計
1	45	吹き払い	50	4	0	0	4
2	42	雪 底	400	84	91	全層なだれ発生	×
4	40～50	〃	400	全層なだれ発生	×	×	×
6	45	吹き払い	60	6	0	4	10
7	37	〃	50	0	0	18	18

雪の形成が肉眼で識別でき、そういう箇所では地形や地表のいかんにかかわらず積雪の移動が安定しているようである。したがって、このようなブナ帯上部以上の地域では、積雪が安定しているか不安定であるかの目安をしもぎらめ雪の形成の程度で推定できるものと考えられる。ただし、融雪期に入り、しもぎらめ雪が融解変態をしてその特有の性質を失ってくると、ブナ帯中部以下とほとんど同様となるので、積雪の安定度合は雪割れの出現とその状態から判断する必要がある。

このように、ブナ帯上限以下の地帯では、積雪の移動は積雪のある深さを境としてまったく異なる。その深さは冬季の気象の経過、とくに気温によって変わるが、大体の目安はブナ帯上限付近で 200~300cm のようである。

つぎに雪圧について述べる。雪圧は図 8 に示した方法で測定したが、取付けの不備によって受圧板がはずれたり、なだれによって受圧柱が破壊されたりして大半は測定不能となり、期待した成績を得ることができなかった。その上設備した位置の正確な積雪深を知ることができないものが多かった。しかし、そのなかで 1961~62 年冬季に図 8 B で測定した沈降圧については割合により成績が得られたので、その資料によって積雪深と雪圧との関係を示したのが図 14 で、受圧板がややずれた程度の測定装置での値は補正して推定したものも含めてある。図によると、積雪深と雪圧の関係は、低山帯の山地における場合と同様であって、雪圧は積雪深の 2 乗に比例して増加していることがわかる。

積雪の移動や移動圧によって工作物が受ける影響を調べるために、工作物周辺の積雪を掘って観察した。工作物付近の積雪形態は図 15、16 に示したとおりである。図 15 は 5 区の丸太筋工上で、図 16 は 2 区の山腹練積工上で調査した結果を示したものである。これらの図は 1963 年冬の結果であるが、翌年の 1964 年冬の結果は写真 8、9 のとおりである。

1963 年冬季は比較的大雪であって、積雪深は練積工上で約 3 m、丸太筋工上で約 1.5 m であったが、1964 年冬季は小雪の年で、練積工上で約 1 m、丸太筋工上で約 0.2 m で、前年の約 1/3 以下の積雪であった。この 2 冬季の工作物周辺の積雪層構造からみると、積工および丸太筋工の下部に小さな空洞がみられる程度で大差がなく、また、積雪の硬度についてみても、工作物付近でとくに変化している状態はみられなかった。すなわち、積雪移動の測定結果からも推定できるように、厳冬季においては積雪の移動が少ないため、工作物に及ぼす影響はないものと判断される。とくに、積雪

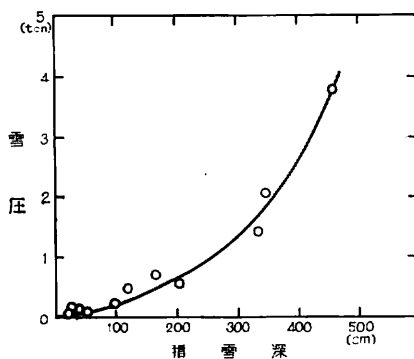


図 14. 積雪深と雪圧との関係
(1 点支持, 1961~62 年冬)

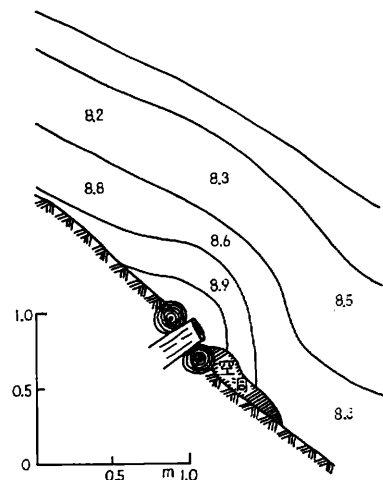


図 15. 丸太筋工付近の積雪断面 (数字は硬度の比較値, 数字が小さいほど堅い, 1963 年 3 月 28 日)

が少ないためにしもぎらめ雪が形成され、あるいは地表面が凍結している場合は、工作物に与える積雪移動の影響はいっそう小さくなるはずである。ただし、融雪期になって、積雪の移動が促進されるようになると、工作物に与える影響は低山地帯と大体同じになるものと考えられる。

4) 樹草の生育

各試験区の植栽樹草の生育状況と被覆状態について、1964年6月に概括的な調査を行ない、2区、3区、5区、6区については、斜面の上・中・下別の適当な位置（図10）に方形区を設け、その中にはいる植物の種名、生育状況、密度などを調べた。

植栽したヤマハンノキ・ダケカンバおよびさし木したヤナギ類の活着状態は非常に悪く、方形調査の結果によれば、表7のように、2区、3区、5区、6区ではそれぞれ10%、15%、25%、15%にすぎなかった。生育については、平均樹高はわずか20cm程度できわめて不良であった。筋植えしたイタドリも2区の中央部付近ではほとんど枯死してしまったが、それ以外の箇所では活着は比較的よかった。しかし成長はきわめて悪く、草丈は平均10cm程度であった。

このように植栽した樹草の生育が悪いため被覆率は全般に小さく、また部分的に非常に差があり、丸太筋工を施工した5区、イタドリ筋工を施工した6区では60%以上の所もみられるが、実播を行なった4区のように、ほとんど地面が露出している所もある（図17）。被覆率が比較的大きい所は、積工の上部、傾斜が比較的ゆるくて土砂が堆積している所、あるいは丸太筋の所など、いずれも土砂の移動があまり激しくない所に限られている。

2区の山腹練積工の上方にはヒメヤシャブシ・ウド・フキ・タニウツギなど少数の自然侵入種が見られた。この箇所は傾斜もかなり急で土壌条件もあまり変わっていないのに、植栽樹草の活着状態も比較的良好であった。このことが山腹練積の施工による積雪の安定に原因するものかどうかは興味のあるところである。5区と6区の中間の土砂堆積部にもヒメヤシャブシ・ヤマハンノキ・タニウツギ・ヤナギ類・スス

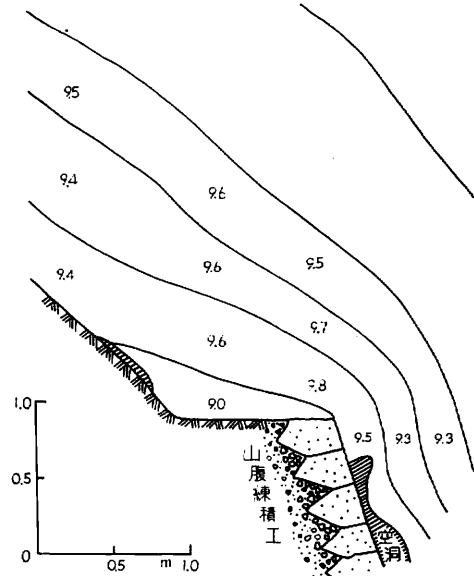


図 16. 積工付近の積雪断面（数字は硬度の比較値、数字が小さいほど硬い、1963年3月28日）

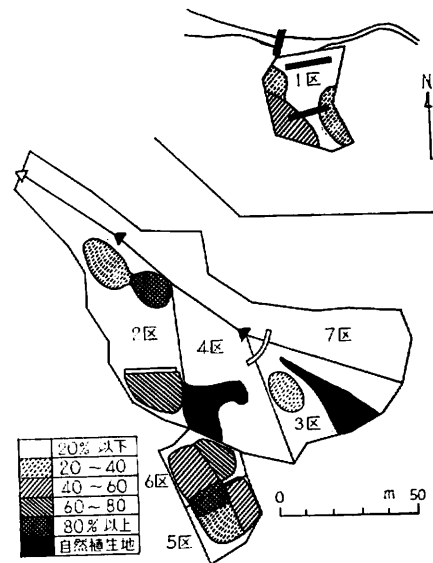


図 17. 植生の被覆率（1964年6月4日）

表7. 植 生 調 査 表

区	階層*1	種 名	区別*2	ひん度*3	密 度 (本/cm ²)	活 着 率 (%)
2	IV	ミネヤナギ	◎	C	0.03	10
		オノエヤナギ	◎	B	0.11	
		キツネヤナギ	◎	C	0.03	
		ダケカンバ	◎	C	0.11	
		イタドリ	◎	B	0.48	
	V	ヒメヤシ	○	C	0.03	
		シャブシ	○	C	0.03	
		ウ	○	C	0.03	
		タニウツギ	○	C	0.03	
		フキ	○	C	0.19	
3	IV	イタドリ	◎	B	0.44	15
	V	ヤマハンノキ	◎	B	0.44	
		ダケカンバ	◎	C	0.03	
		イタドリ	◎	C	0.22	
5	IV	ミネヤナギ	◎	B	0.15	25
		キツネヤナギ	◎	C	0.15	
		ヤマハンノキ	◎	A	0.30	
		ダケカンバ	◎	C	0.15	
		ヒメヤシ	○	B	0.26	
		シャブシ	○	C	0.03	
		ヤマウルシ	○	C	0.03	
		ウ	○	C	0.07	
6	IV	ミネヤナギ	◎	A	0.26	15
		キツネヤナギ	◎	B	0.15	
		ダケカンバ	◎	C	0.33	
		イタドリ	◎	A	1.07	
		ヒメヤシ	○	B	0.11	
		シャブシ	○	B	0.11	

注 *1: 階層IV; 5~80cm, V; 5cm以下。

*2: ◎; 導入種, ○; 侵入種。

*3: A, B, Cは3調査箇所のうち、それぞれ3か所、2か所、1か所に出現したことをあらわす。

キ・ウド・イタドリ・フキ・シシウドなどが侵入している。

5) 流 出 土 砂 量

流出土砂量について測定した結果は表8のとおりである。この土砂量は各斜面の上・中・下部ごと(図10)に鉄ピンを差し込んで測定したものであるが、ピンの差し込み位置が雨水路になると、ピンの長さ以上に土砂が流亡することがあってピンが倒れたり、また、堆積土砂量が多い場合には最初の差し込み位置が発見できなかったほか、補修作業のために測定が不能になったものがかかり多く、十分な資料が得られなかった。なお、土砂受箱による測定は、箱が小さいため1降雨によって土砂があふれ失敗に終わった。

表8によると、流出土砂の深さは夏季・冬季とも平均約2cmで年間では4cmに達する。いま土砂の容積重を1g/cm³とすると、400ton/haになる。これは過大な値と考えられるが、いずれにしても侵食量が非常に大きいことは間違いない。各試験区の流出土砂量を対照区(7区)と比較してみると、あまり差はないように見受けられ、工作物を施工しても土壌侵食は抑制されなかったものと判断される。

この試験地付近の降水量は表9に示したとおりであって、無雪季の降雨量は1,000mmを越える。これは海拔約900mの蔵王温泉で観測された結果で²²⁾、試験地は海拔約1,200mであるから、この降雨量よりかなり多いことが予想される。短期間ではあるが夏季降雨量を比較してみた結果、試験地付近の降雨量は蔵王温泉よりも約60%ほど多かった。いま、その割合で増加するものとすれば、無雪季の降雨量は1,200

表 8. 試験区別の土壌侵食量の比較 (cm).

試験区	測定位置	1962年		1963年		1964年		3 年平均	
		夏半年	冬半年	夏半年	冬半年	夏半年	冬半年	夏半年	冬半年
1	上部	2.6	6.7<	22.8<	12.6<	3.1	×	9.5<	(9.6)
	中部	1.7	0.3	×	4.0	×	×	(1.7)*2	(2.2)
	下部	5.2	×	×	×	×	×	(5.2)	×
2	上部	×	0.2	0.6	×	1.6	×	(1.1)	(0.2)
	中部	×	0.7	2.3	0.0	0.4	×	(1.4)	(0.4)
	下部	×	+0.4	0.8	+1.1	0.4	0.1	(0.6)	+0.5
3	上部	2.1	×	2.6	4.1	1.7	×	2.1	(4.1)
	中部	2.5	3.0	0.9	1.5	6.9	×	3.4	(2.3)
	下部	6.2	0.6	1.1	1.8	0.5	×	2.6	(1.2)
4	上部	4.2	1.1	2.4	×	17.9<	×	8.2<	(1.1)
	中部	+0.1*1	0.7	0.6	0.2	0.0	×	0.2	(0.5)
	下部	0.4	0.1	×	×	×	×	(0.4)	(0.1)
5	上部	×	0.6	0.3	0.9	2.8	2.8	(1.6)	1.4
	中部	1.4	1.5	1.1	11.7<	4.1	4.1	2.2	5.8<
	下部	0.5	2.7	1.8	6.2<	2.1	2.1	1.5	3.7<
6	上部	1.0	2.7	0.6	1.1	0.0	6.4	0.5	3.4
	中部	1.1	0.4	0.9	0.7	0.6	1.0	0.9	0.7
	下部	1.5	0.3	1.1	0.4	0.6	×	1.1	(0.4)
7	上部	1.1	6.7	0.6	1.7	4.7	9.3	2.1	5.9
	中部	1.1	0.9	0.6	0.8	0.0	0.8	0.6	0.8
	下部	0.7	0.1	0.8	×	0.8	0.3	0.8	(0.2)
								1.2	(2.3)

注 *1: ÷ 符号は堆積した印である。 *2: () 内は欠測を含む平均。

表 9. 蔵王温泉における月別降水量 (mm)

年 月	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	平均
1	197	67	193	123	176	126	221	241	134	164
2	192	136	170	65	111	162	151	139	121	138
3	120	133	99	131	120	35	87	109	44	97
4	70	84	(50)*	81	95	73	60	33	(64)*	(68)
5	109	96	40	52	97	46	89	81	(125)*	(82)
6	198	106	121	129	74	194	162	125	78	132
7	248	256	448	303	143	133	200	243	380	262
8	143	115	230	316	131	223	100	109	173	171
9	150	115	452	153	126	101	133	46	307	176
10	94	66	130	131	96	173	96	157	29	108
11	145	41	77	72	97	125	51	93	101	89
12	189	88	249	129	182	185	136	135	126	158
合 計	1855	1303	(2259)	1685	1448	1576	1286	1511	(1682)	(1645)
夏期(5~11)	1087	795	1498	1156	764	995	831	854	(1193)	(1020)

注 *: 山形の資料から推定。

～1,900mmと計算され、かなりの量であることがわかる。また、表2に示すとおり、試験地の斜面は各区とも40°以上の急斜面であり、とくに、1区と4区の斜面上部は50°近い箇所もあるため侵食が激しく行なわれ、かなり深い細流もできるため、前述のように流出土砂量が多くなる。したがって、このような場所では、傾斜をある程度ゆるくするか、植生で全面を被覆しないかぎり、斜面の土砂流亡は防ぎ得ないものと考えられる。

一方、冬季間の流出土砂量を3か年平均でみると、積雪の多い2区と4区では夏季よりも少なく、1区、6区、7区のように1冬を通じて斜面の上部の地面が露出している箇所では逆に多くなっている。すなわち、積雪の少ない所では、凍結と融解の反復によって侵食が促進されるものと考えられる¹⁸⁾¹⁷⁾。

6) 工作物の破壊

表10は施工数量と、1965年6月までに破壊された数量から、各工種ごとの損失率を金額で表わしたものである。この表でわかるように、各試験区ごとの損失率は、4区が83%、3区、2区、6区がそれぞれ59%、32%、31%の順になっており、1区、5区はそれぞれ3%、8%と非常に少ない割合になっている。

工種別にみると、積雪の多い2区における山腹空積はなだれのために1冬季間で全壊した(写真10, 11)。

表 10. 試験区別の工種の破壊と損失率の比較

試験区	工 種	所 要 経 費		破壊および枯損		損 失 率 (%)
		数 量	金額(円)	数 量	金額(円)	
1	山 腹 練 積 (m ²)	75.6	315,648	—	—	0
	編 柵 工 (m)	44.7	6,794	30.0	4,560	67
	石 筋 工 (m)	148.2	16,523	10.0	1,120	7
	植 栽 (%)		9,535	50	4,768	50
	合 計		348,500		10,448	3
2	山 腹 練 積 (m ²)	49.0	238,105	—	—	0
	山 腹 空 積 (m ²)	29.8	55,295	29.8	55,295	100
	編 柵 工 (m)	166.5	39,980	129.0	32,478	86
	イタドリ筋工 (m)	338.5	14,894	169.0	7,436	50
	植 栽 (%)		30,988	79	24,481	79
	合 計		377,262		119,690	32
3	編 柵 工 (m)	59.0	10,948	25.5	6,945	63
	イタドリ筋工 (m)	157.5	6,930	31.5	1,386	20
	植 栽 (%)		23,689	69	16,345	69
	合 計		41,567		24,676	59
4	実 播 工 (m)	685.0	9,952	343.0	5,145	52
	植 栽 (%)		19,148	100	19,148	100
	合 計		29,100		24,293	83
5	丸 太 筋 工 (m)	140.2	24,762	—	—	0
	植 栽 (%)		5,568	46	2,561	46
	合 計		30,330		2,561	8
6	イタドリ筋工 (m)	137.5	6,050	—	—	0
	植 栽 (%)		5,529	64	3,539	64
	合 計		11,579		3,539	31

表 11. 編 柵 工 の 破 壊 状 況

区	全 (m)	半 (m)	壊 (%)	全 (m)	壊 (%)	計 (m)	計 (%)
1	45	1	2	24	53	25	56
2	103	38	36	39	38	77	75
3	49	10	20	10	20	20	41
計	197	49	25	73	37	122	62

編柵工は、1区の上段と下段では全壊し、中段では部分的に破壊した。2区では練積工の下側にある編柵2段は破壊されない部分もあるが、さらにその下側にある2段と練積工の上側の編柵はほとんど半壊または全壊した。3区の編柵は上段の左側と下段の右側が半壊あるいは全壊した(写真12, 13, 14)。これらの破壊程度を編柵の総延長に対する割合でみると表11のとおりで、半壊・全壊をあわせると1区が56%、2区が75%、3区が41%である。すなわち、編柵の破壊程度は積雪量の多い2区がもっとも大きく、積雪量が1m以下の部分にある編柵は破壊されることが少ないようである。

石筋工・丸太筋工・イタドリ筋工などの破壊程度は非常に少ないが、ほとんどが土砂に埋まってしまって施工当時の状態とはかなり変化している(写真11, 15, 16)。また2区的全壊した空積石垣の跡に施工した練積工、1区の50°近い急傾斜面に施工した練積工は全然破壊されなかった。植栽樹草については、前述のように、活着の状態が悪いために損失率は各区とも50%以上で、とくに積雪量の多い2区と4区は大きな割合を示している。

7) 工法別の経費額と治山効果

施工経費が少なくて治山効果の大きい工法が理想的であることはいうまでもない。治山効果の判定は各工種の破壊程度、流出土砂量、主林木の成長などを総合して行なわれるのであるが、流出土砂量などについては十分な資料が得られなかった。また、各試験区の積雪分布が非常に複雑で、積雪の多い所と少ない所では積雪の性質が異なるため、各工種の破壊程度を相互に比較しても、その結果から工種ごとの治山効果を求めることがむずかしい面もある。したがって、所要経費と治山効果との関係については明らかでないが、工法についてつぎのような2, 3の点が指摘できる。

(1) 練積工は積雪の移動圧、なだれに対しても堅固であるが、空積は破壊されやすい。

(2) 丸太筋工はかなり高くつく(表3の単価には丸太の素材費がはいっていない)が、積雪に対しては比較的強い。

(3) 地面から突出している編柵工はかなり破壊されており、近い将来におそらく全壊するおそれがあるので、埋設編柵にすべきであろう。

(4) 実播工は単価はいちばん安い、発芽が悪く、また雪の移動を防止する工種を同時に施工しなければ、草本の生育は望めない。

8) 考 察

蔵王試験地のような高山地帯では、積雪が少ない場合、雪温がマイナスになって流動性の少ないしもぎらめ雪が形成される。またそういう場合は地面と積雪底面が凍結するために、冬季間の積雪の移動はわずかに20cm以内で、工作物に対する積雪移動の影響は非常に少ないことがわかった。したがって、このような箇所では、積雪の移動によって破壊されやすいと思われる編柵工でも、それほど大きな被害を受ける

ことはないようである。ただし、融雪期にはいり、しもざらめ雪が融解変態するとその特性を失い、積雪移動の安定度合が少なくなるので、この点十分に考慮する必要がある。

一般に、斜面を法切りすると積雪の移動が小さくなるが、積雪深の多い所では、融雪期にはいと工作物に対する影響が徐々に増大し、たとえば、2区では二重雪庇による雪量の増大によって山腹空積、編柵などが徐々に破壊され、融雪期には雪庇の部分が全層なだれになって、ほとんど全壊に近い状態にまで破壊された。こういう箇所では、雪庇防止法もあわせて考える必要がある。

積雪の少ない箇所の石筋工、およびイタドリ筋工の破壊は少なかったが、斜面の傾斜が急であるために土砂流失が多く、ほとんどが埋没してしまった。その状況からみると、これらの工種による治山効果はあまり期待できないように感じられた。したがって、このような崩壊斜面では、植生盤などを採用した全面被覆と、積雪の移動を防ぐための練積階段工の施工が必要であると考えられる。しかし、現地の土壌は強酸性であって、現在もお蔵川の沢沿いに亜硫酸ガスが気流に乗って試験地内に流入してきている状態なので、その成功はきわめて困難と考えられる。

施工経費は高くなるが、山腹練積工は積雪400cm以上の二重雪庇の下でも破壊されることなく、その上部斜面の土砂も安定し始めており、成績は良好のようである。丸太筋工も現在のところ破壊されていない。編柵工は、積雪の移動によって破壊され、あるいは積雪の少ない場所で凍結融解のために杭の下側の表土が侵食されて倒れたりすると、斜面の土壌侵食をさらに助長させる要因になるので、この点については埋設編柵にするなど十分検討する必要がある。

V 単独工種の試験

1. 試験地の概況

単独工種の試験は山形分場構内に設定された3区からなる実験斜面で行なわれた。傾斜別斜面区と雪庇防止区は東向き斜面を法切りして設けたもので、その山頂部を海拔200mになるように整地した。植栽区は傾斜別斜面区の下部に設けられた(図18、写真17)。この斜面は以前にスギ造林地であった所で表土は浅く、基岩は新第三紀中新世の泥岩で、非常に風化しやすい性質を持っている。

釜淵の年平均気温²¹⁾は10℃内外で、積雪最盛期の1～2月における平均気温は-1～-2℃内外、月降水量200mm、積雪深は120cm内外である。平年の根雪の初日は12月中旬、終日は4月中旬、根雪期間は130日、最深積雪深の平年値は170cmである(表12)。これらの数値から総合判断すると、釜淵は東北地方における代表的な多雪地帯といえることができる。

2. 傾斜別斜面区の試験

1) 試験方法

この試験は単独工種の試験の主体をなすもので、傾斜別の斜面に積工・編柵工・筋工・植栽工を施して積雪の移動に対する工作物の影響を順を追って検討しようとするものであるが、まず最初に積工について試験を行なった。

積工の施工に先だって、1961～62年冬から各斜面の積雪調査、積雪移動量の調査を開始し、また、工作物のないときの傾斜別の積雪移動圧を知るため、61～62年冬、62～63年冬に、斜面中央に立てた鉛直柱に加わる移動圧を測定した。ついで62年に積工を施工し、63～64年冬、64～65年冬に積工上の雪圧を測定した。ところが、後で述べるように、積雪移動量の測定を積工から離れた斜面の上端近くで行なった結果、積工のない場合とある場合の積雪移動の差がわからず、また、積工上の雪圧測定においても移動圧の影響があまりはっきり出ないため、積工の効果を求めることができなかった。そこで66年以降には測定方法を改良して試験を継続することにした。したがって、試験の実施時期がいくぶん後にずれ、工種別の成果については第2報以降に報告することになり、第1報では取りあえず経過の概略を述べることにする。

実験斜面は、前述のように、1区画の大きさが幅15m、高さ20m、傾斜角度がそれぞれ30°、35°、40°、45°の4斜面である。35°内外の山腹斜面を削って整地したために、30°、35°斜面の表面は主として土壌であるが、40°、45°斜面では軟岩が露出している。

積工の効果を検討するために、施工前後に各斜面で行なった積雪の状態、積雪の移動量や移動圧の測定方法はつぎのとおりである。

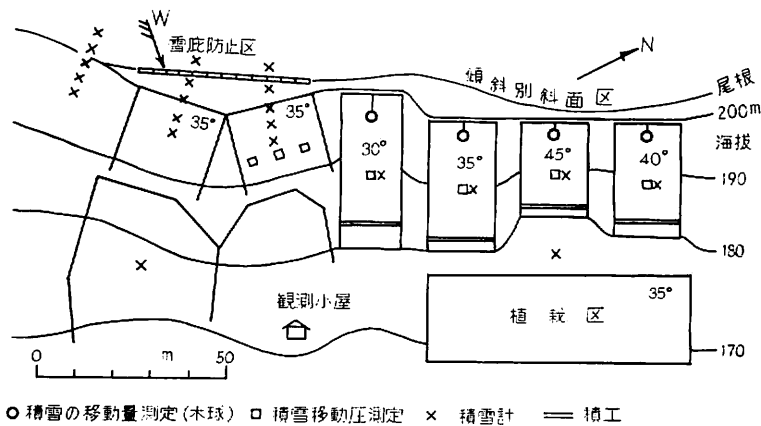


図 18. 釜淵治山工法実験斜面

表 12. 釜淵における冬季の気象*（山形分場気象観測露場）

月	気 温 (°C)			日照率 (%)	降水量 (mm)	降水日数 (日)	風 速 (m/s)	積 雪 深 (cm)	
	最 高	最 低	平 均					平 均	極
12	4.0	-2.4	0.6	16	271	27	1.1	38	145
1	1.1	-5.4	-2.0	16	249	27	1.2	93	224
2	1.8	-5.3	-1.5	21	188	24	1.3	136	261
3	5.1	-3.1	1.7	34	167	22	1.4	118	230
4	12.9	1.3	8.1	43	159	16	1.6	43	166

注 *：統計年数27か年（1938～1964）。

積雪深については、図18に示すように、山頂部・各斜面の中央部・斜面の下部で測定した。また、融雪初期には各斜面で積雪の分布・形態・雪質について調査した。

積雪の移動は、積雪内に放置した木球の移動によって測定した。木球の移動はワイヤーを通じて地上に伝達され、自記される（図19、写真18-A）。木球を放置した位置は、図18に示すとおり、斜面の上端から高距にして約3m下ったところである。埋雪中の木球は地熱による積雪の融解、積雪内部のクリープにともなう変位する欠点があるので、木球のほかに、積雪の移動方向にL型アングルを敷設し、その溝を木製のそりが移動する装置を並用した（写真18-B）。2冬季間にわたる比較測定の結果によると、1冬季間を通じての両者の差は10cm内外にすぎず、木球法の精度は実用上十分と考えられる。

つぎに、積工施工前の斜面の積雪移動圧は、各斜面の中央部の鉛直柱に取り付けた2個の磁歪式雪圧計によって測定した（図20、写真19、20）。

各斜面に施工した積工は軽量ブロックを使用したもので、斜面の規模が小さいために、計画を一部変更して斜面の下端から約3mの高さに1段だけを施工した。積工の高さは各斜面とも1mで、幅員は30°斜面で200cm、35°斜面で160cm、40°斜面で120cm、45°斜面で90cmである（図21、写真21）。積工上の雪圧は水平板に取り付けた2個の磁歪計によって測定し（図22）、雪圧の分布は鉛コーン式簡易雪圧計によって測定した（図23）。

2) 試験結果

A) 積雪

1961年以降の4冬季間の積雪経過を図24に示した。このうち、並雪の1961～62年冬と大雪の62～63年冬の斜面の積雪深と平地（露場）の積雪深を旬別平均値で比較したのが表13である。表によってわかるように、斜面の積雪深は傾斜角度によって明らかに異なり、積雪最盛期には、傾斜角度40°以下のいずれの斜面でも平地より積雪深が深くなるが¹⁶⁾、45°斜面では逆に減少する傾向が見られる。これは降雪時の雪片やスノーロールの転落によるものであろう。

斜面の位置による積雪の分布や雪質の違いについて、1962年4月3日に詳しい調査を行なった結果は表14のとおりである。積雪深および積雪水量は各斜面とも最上部から最下部に向かって増加するが、その差は傾斜が急になるほど大きくなる傾向が見られる。しかし、積雪密度は急斜面の最上部で小さくなるほかは、ほぼ一定値0.39～0.41

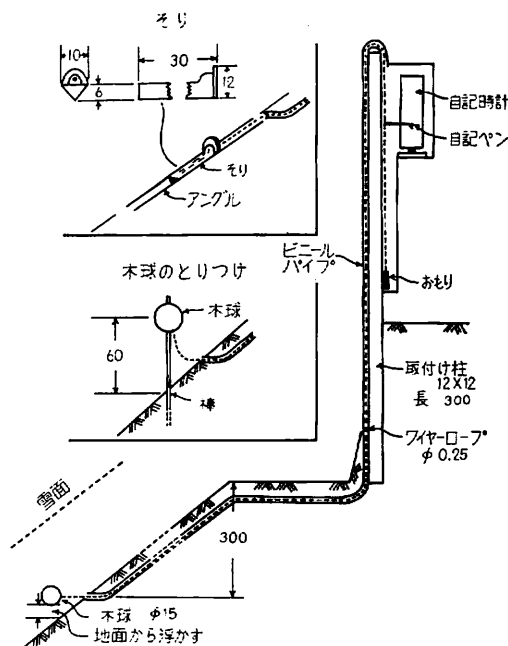


図19. 積雪の移動測定装置（単位 cm）

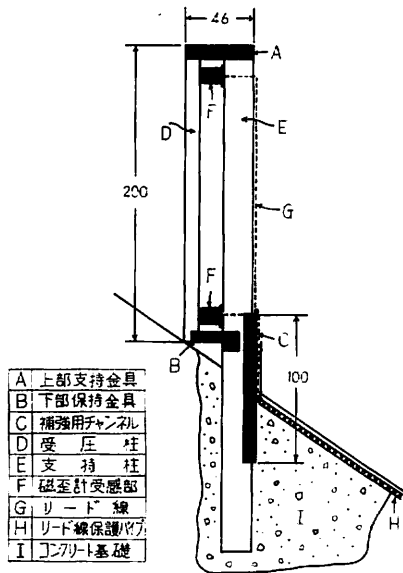


図 20. 積雪の移動圧測定装置（磁歪計 2 点支持，単位 cm）

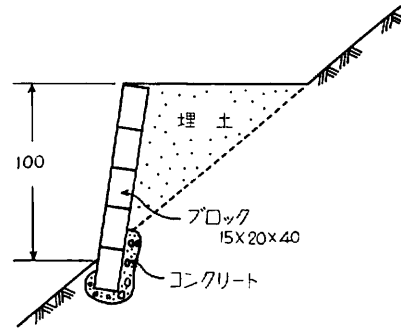


図 21. コンクリートブロック積工（単位 cm）

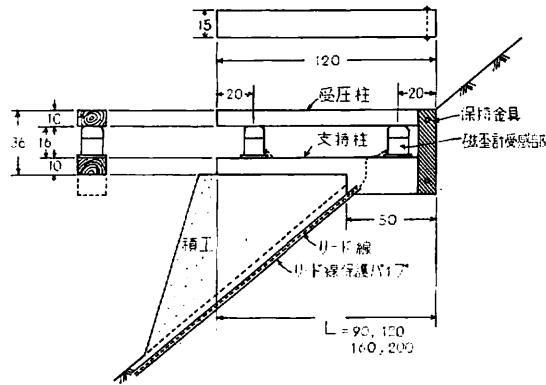
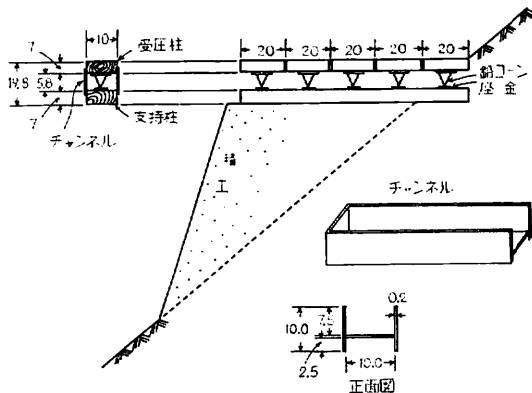


図 22. 積工上の雪圧測定装置（磁歪計 2 点支持，単位 cm）



← 図 23. 積工上の雪圧測定装置（鉛コーン式，単位 cm）

表 13. 傾 斜 別 斜 面 の

年		1962 (並 雪)							
積 雪 深		(cm)				(%)			
月	旬	平 地*	35°	40°	45°	平 地	35°	40°	45°
1	上	65	66	67	54	100	102	103	83
	中	76	80	88	79	100	105	116	104
	下	124	138	146	134	100	111	118	108
2	上	134	138	148	129	100	103	110	96
	中	124	128	138	123	100	103	111	99
	下	164	181	185	166	100	110	113	101
3	上	151	162	161	138	100	107	107	91
	中	142	147	148	121	100	104	104	85
	下	139	135	136	101	100	97	98	73
4	上	106	82	76	43	100	77	72	41
	中	39							

注 * : 平地は分場構内の気象観測露場。

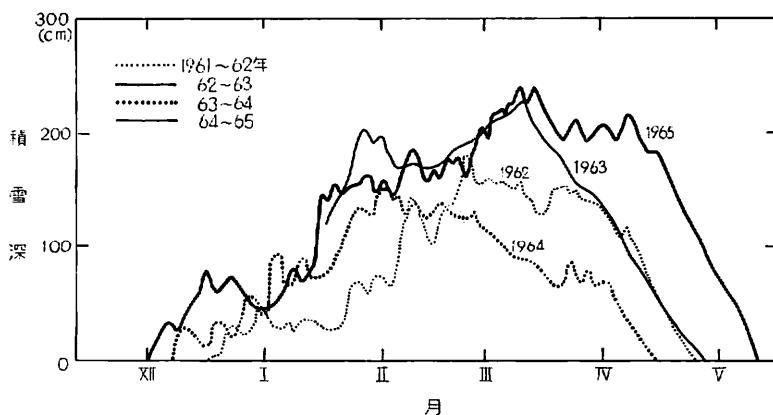


図 24. 積 雪 図 (釜 淵)

表 14. 斜 面 の 位 置 別 の 積 雪

(1962. 4. 3 調査)

積 雪			積 雪 深 (cm)			積 雪 水 量 (mm)			密 度 (g/cm³)		
位 置	傾 斜		35°	40°	45°	35°	40°	45°	35°	40°	45°
最 上	部		96	91	65	378	342	237	0.39	0.38	0.36
上	部		103	94	(62)*	400	374	(241)	0.39	0.40	(0.39)
中	部		107	97	81	430	405	324	0.40	0.41	0.40
下	部		102	100	92	400	399	355	0.39	0.40	0.39
最 下	部		111	112	146	460	453	585	0.41	0.40	0.40
平	均		104	99	89	414	395	348	0.39	0.40	0.39
平地に対する比(%)			93	88	79	85	81	72	91	93	91

注 * : () は雪割れを生じた地点。

積雪深 (斜面中央部)

1963 (大雪)									
(cm)					(%)				
平地	30°	35°	40°	45°	平地	30°	35°	40°	45°
69	76	69	68	65	100	110	100	99	94
117	126	125	126	120	100	108	107	108	103
184	212	208	208	202	100	115	113	113	110
179	204	200	196	184	100	114	112	110	103
176	190	191	186	172	100	108	109	106	98
206	218	217	211	194	100	106	105	102	94
217	×	×	×	×	100	×	×	×	×
187	175	195	188	157	100	94	104	101	84
148	137	135	120	83	100	93	91	81	56
100									
47									

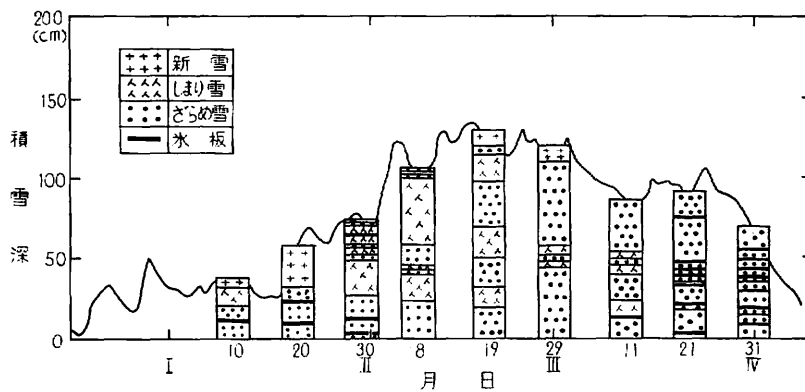


図 25. 雪質図 (釜淵, 1961~62年冬)

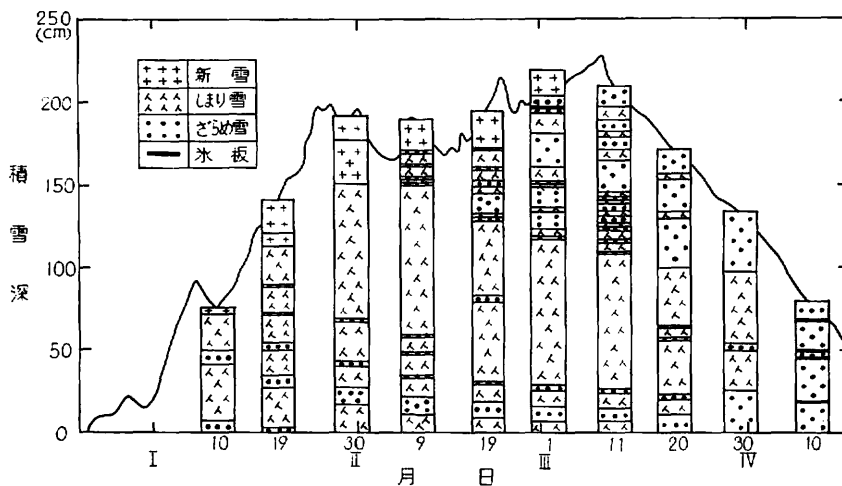


図 26. 雪質図 (釜淵, 1962~63年冬)

表 15. 平 地 の 積 雪

(山形分場気象観測露場)

年		1962			1963			1964			1965		
月・旬	積 雪	積 雪 深	積雪水量	密 度	積 雪 深	積雪水量	密 度	積 雪 深	積雪水量	密 度	積 雪 深	積雪水量	密 度
		(cm)	(mm)	(g/cm ³)	(cm)	(mm)	(g/cm ³)	(cm)	(mm)	(g/cm ³)	(cm)	(mm)	(g/cm ³)
1	上 中 下	67	185	0.28	76	123	0.16	30	91	0.30	88	250	0.28
		89	245	0.28	103	241	0.23	30	88	0.29	148	402	0.27
		125	325	0.26	198	438	0.22	64	151	0.24	162	537	0.33
2	上 中 下	122	382	0.31	170	500	0.30	128	243	0.19	179	630	0.35
		130	419	0.32	170	548	0.32	127	352	0.28	165	698	0.42
		157	530	0.34	210	663	0.32	138	385	0.28	205	788	0.38
3	上 中 下	150	527	0.35	219	777	0.35	101	378	0.37	221	893	0.40
		128	525	0.41	190	796	0.42	99	347	0.35	214	1,001	0.47
		136	589	0.43	146	683	0.47	93	390	0.42	191	1,017	0.53
4	上 中 下	120	469	0.39	95	465	0.49	—	—	—	212	1,043	0.49
		43	178	0.41	55	267	0.49	—	—	—	163	864	0.53
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	106	587	0.55

表 16. 積 雪 の 旬 移 動 量

(cm)

傾 斜		30°				35°				40°				45°			
年	月・旬	1962	1963	1964	1965	1962	1963	1964	1965	1962	1963	1964	1965	1962	1963	1964	1965
1	下	—	4.8	2.5	1.6	4.6	5.4	2.9	1.0	9.9	7.0	5.2	1.3	19.4	9.3	7.6	26.7
		—	3.4	2.7	1.6	3.8	3.8	3.2	1.1	7.7	5.5	5.1	3.7	14.9	6.9	8.8	27.5
		—	3.0	2.5	1.4	3.0	3.6	2.7	2.3	4.3	4.4	4.9	2.9	9.4	8.7	7.8	47.8
2	上 中 下	—	2.8	2.2	1.6	3.4	4.4	2.7	2.2	3.2	3.5	4.1	4.5	11.0	10.0	7.3	69.7
		—	2.2	1.8	1.6	3.5	3.9	2.2	2.7	3.9	3.0	2.6	3.7	16.9	10.0	10.0	51.0
		—	2.8	2.0	1.4	3.2	3.2	2.2	2.4	4.7	4.0	2.6	3.2	17.3	15.4	7.0	55.7
3	上 中 下	—	1.8	1.6	1.2	2.8	3.3	1.8	2.2	5.9	5.8	2.6	3.1	13.5	11.2	6.3	28.7
		—	2.0	1.4	1.2	3.2	3.3	1.8	2.2	4.7	4.0	2.6	3.2	17.3	15.4	7.0	55.7
		—	1.8	1.6	1.2	2.8	3.3	1.8	2.2	5.9	5.8	2.6	3.1	13.5	11.2	6.3	28.7
合 計	平 均	—	20.8	15.3	10.4	24.3	27.6	17.7	13.9	39.6	33.2	27.1	22.4	102.4	71.5	54.8	307.1
		—	0.30	0.22	0.15	0.35	0.39	0.25	0.20	0.57	0.47	0.39	0.32	1.46	1.02	0.78	4.39
		—	100	74	50	88	100	64	50	119	100	82	67	143	100	77	429

注*: 1963年を100%とする。

g/cm³であった。

この調査は融雪末期に行なわれたために日射の影響が大きく現われ、傾斜が急になるほど平地に比べた積雪深・積雪水量の割合はともに減少している。同じような傾向は大雪の年の63年4月1日における調査においても見られた。

このように、斜面では傾斜角度によって積雪深や積雪水量に差異があるので、雪質も当然異なるはずであるが、斜面上で継続的な断面調査を行なえないために、その差異を明らかにすることはできなかった。しかし、10日ごとに露場で行なった雪質調査結果から斜面の雪質をある程度推定することができる。図25は1961～62年冬（並雪）、図26は62～63年冬（大雪）の雪質経過図である。これらの図によれば、並雪ではざらめ雪が主体であるが、大雪ではしまり雪が主体となって明らかな差があるので、斜面においてもこのような差があるものと考えられる。

なお、積雪密度は大雪の年と小雪の年で異なるが、表15によると、釜淵地方における融雪期の積雪密度は、おおよそ0.40～0.55g/cm³とみてよいようである。

B) 積雪の移動

表16に4冬季間の旬別積雪移動量を示した。また、4冬季間で最も代表的と見られる1962～63年冬季の積雪移動経過を図27に示した。4冬季間を通じて概観すると、傾斜が急になるほど積雪の移動が大きくなるのは当然であるが、40°以下の各斜面では1冬を通じてほぼ一様な移動をし、また年による移動量の違いがあまりないのに反し、45°斜面では移動量の年による増減がはなはだしく、しかも、1冬季間のうちで移動が急に増加したり減少したりする傾向がみられる。これは、40°以下の斜面では積雪が安定しているのに、45°斜面では不安定になることがあるからであって、この法切りした斜面では、傾斜が40°から45°の間に積雪が安定・不安定になる境目があるようである。

なお、従来、十日町試験地の測定によれば⁵⁾¹⁰⁾¹⁸⁾、積雪の安定と不安定の境目²⁰⁾は日移動量にして20mm内外であるが、この傾斜別斜面で測定した結果も大体同じであった。

つぎに、積雪の移動が積雪量や雪質によってどのような影響を受けるかについて検討するために、表15と表16の資料を用いて、積雪の安定している40°斜面の移動量と積雪深、あるいは積雪水量との関係を求めてみると、いずれの場合にも両者の間には関係が見られない。ところが、図28に示すように、4冬季間を通じてみると、積雪密度が大きくなるほど移動量が減少する傾向が幾らかあるようにもみられる。これは積雪の変態速度が大きい積雪の初期ほど移動が促進され、変態速度の減少とともに移動速度も減少することを表わすものであろう。

しかし、積雪が不安定な45°斜面では上に述べたような関係は見い出せなかった。これは不安定斜面においては日時の経過にかかわらず、気象条件が急変したときに移動量が急増するためと考えられ、移動が気温・降雨などの気象条件に直接左右されない安定斜面の場合とは著しく異なる。

表17は、傾斜別実験斜面のように、斜面を法切り整地した場合に自然斜面に比べて積雪の移動がどのように変化するかを調べるために、40°斜面の移動量と傾斜別斜面区に隣接する傾斜38°のスギ伐採跡地（低木・草本類の散生地、立木は地ぎわから伐採）の移動量とを比較したものである。表17から、法切り斜面の移動量は自然斜面に比べて約1/10～1/3にすぎないことがわかる。その原因は、法切りしたことによって、滑りやすい低木や草本類がなくなったことと、自然斜面の急傾斜部分が除かれて一様な斜面になったことであると考えられる。

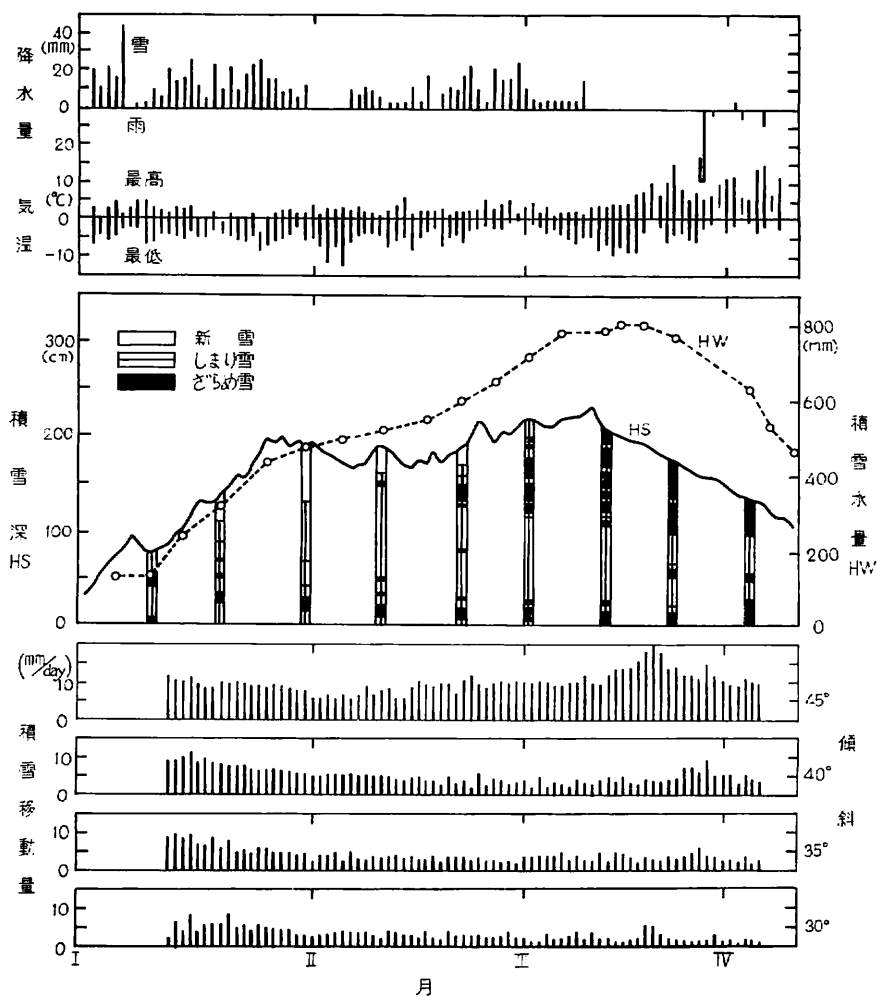


図 27. 傾斜別斜面の積雪移動経過図 (1962~63年冬)

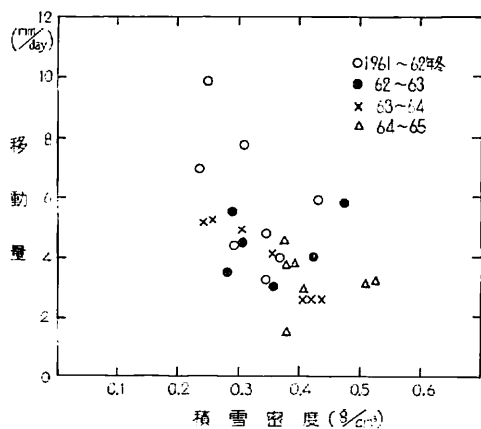


図 28. 積雪密度と積雪移動量 (40° 斜面)

表 17. 斜面形態別の積雪の日移動量(cm)

年	月	法切り 斜面 (40°)	自然斜面(38°)		
			No. 1	No. 2	No. 3
1964	1	0.45	2.04	2.46	5.95
	2	0.47	1.18	1.46	3.32
	3	0.26	0.04	0.56	1.80
	平均	0.39	1.12	1.53	3.75
	%	100	288	393	9.62
1965	1	0.13	0.29	0.29	0.38
	2	0.38	1.86	2.34	4.58
	3	0.33	2.41	1.41	0.66
	平均	0.28	1.65	1.46	2.03
	%	100	589	522	727

表 18. 鉛直柱にかかる積雪移動圧(斜面中央)

年	月 日	積 雪		移 動 圧 (ton)			
		深 さ (cm)	水量(mm)	30°	35°	40°	45°
1962	1. 16	89	245	—	0	0	0
	20	78	265	—	0.10	0.05	0
	25	125	325	—	0.10	0.10	0
	30	146	362	—	0.10	0.15	0.05
	2. 5	122	382	—	0.10	0.15	0.05
	10	117	415	—	0.10	0.15	0.05
	15	130	419	—	0.20	0.25	0.25
	20	164	475	—	0.25	0.50	0.30
	24	157	530	—	0.20	0.45	0.30
	3. 1	155	555	—	0.25	0.50	0.35
	6	150	527	—	0.20	0.45	0.40
	11	142	562	—	0.25	0.45	0.40
	15	128	525	—	0.25	0.50	0.35
	21	×	597	—	0.35	0.60	0.50
	26	×	589	—	0.20	0.50	0.35
	30	×	550	—	0.15	0.40	×
1963	1. 14	103	241	0	0	0	0
	19	140	318	0.10	0	0.05	0.05
	25	198	438	0.10	0.05	0.10	0.15
	30	191	480	0.15	0.10	0.20	0.20
	2. 5	170	500	0.20	0.15	0.10	0.25
	9	180	521	0.20	0.10	0.20	0.30
	15	170	548	0.20	0.10	0.25	0.35
	20	200	604	0.20	0.15	0.20	0.40
	25	210	663	0.25	0.20	0.30	0.45
	3. 1	221	724	0.20	0.20	0.35	0.55
	5	219	777	0.30	0.30	0.45	0.70
	11	210	787	0.30	0.30	0.50	0.75
	16	190	796	0.25	0.50	0.35	0.75
	20	170	764	0.20	0.30	0.20	0.75
	26	146	683	×	×	×	0.90
	30	128	624	×	×	×	0.40

積工施工の前後における斜面の積雪移動量の変化から、積工の効果を知ろうとしたが、木球の放置位置が積工からあまり離れすぎていて積工の影響範囲がわからず、目的を達することができなかった。

C) 雪 圧

斜面の中央に立てた鉛直柱に加わる積雪移動圧について、1961～62年冬、62～63年冬に行なった測定結果を半旬ごとに表18に示した。各斜面とも移動圧は積雪が多くなるほど増大し、積雪水量が最大になる時期に最大値に達する。その時期を過ぎて融雪期にはいと、輻射の影響で測定柱のまわりの融雪が促進され、積雪の移動が少ない場合は急に雪圧が減少する。

従来は、一般に傾斜角度が大きくなるほど積雪の移動圧も増すだろうといわれてきたが、表18によれば、斜面の積雪が安定している場合、傾斜角度と移動圧との間には必ずしも一定の関係が見られない。これは移動圧が積雪の変態経過、したがって、雪質などによっても変わるためと考えられる。たとえば、積雪が安定している40°斜面では、並雪の1961～62年冬と大雪の62～63年冬の移動圧の間には、同じ積雪水量に対して約2倍の差がある(図29)。45°斜面の移動圧が年による差を示していないのは、積雪の移動が大きいために雪質による影響が打ち消されるためかもしれない(図30)。

つぎに、積工上の雪圧について1963～64年冬、64～65年冬に行なった測定経過を図31、32に示した。各

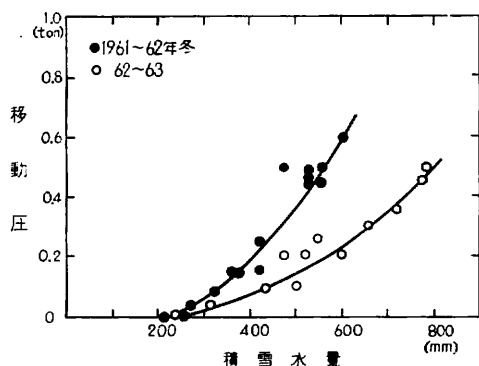


図 29. 積雪水量と積雪移動圧 (40°斜面の鉛直柱)

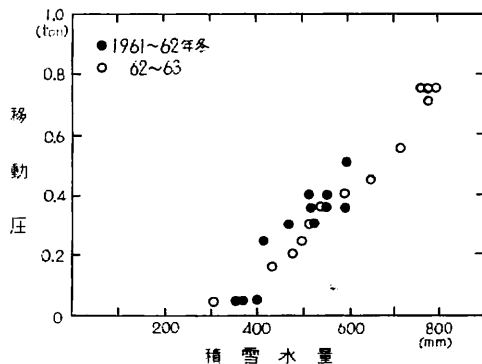


図 30. 積雪水量と積雪移動圧 (45°斜面の鉛直柱)

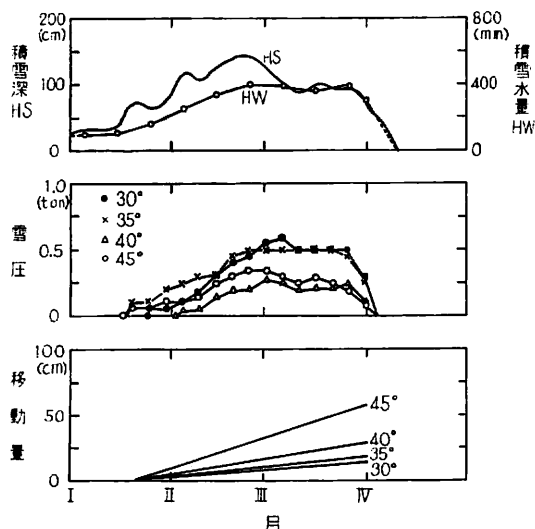


図 31. 積工上の雪圧経過 (1963~64年冬)

斜面の積工上の雪圧も鉛直柱の場合と同様に、積雪水量が増すにしたがって増加し、その最大値は積雪水量の最大値と同じ時期に現われる。

図31, 32および旬ごとの雪圧を示した表19によると、雪圧は2冬季とも30°斜面で最大となり、35°, 40°斜面の順に減少しているが、これは積工の幅員が傾斜によって異なるためである。雪圧を幅員100cmあたりに換算して比較してみると、表19の右欄のように、30°, 35°, 40°の順に減少する傾向はあまり顕著でなくなる。傾斜角度によって雪圧がほとんど変わらないことは、積工に加わる雪圧が主として沈降圧で、移動圧がほとんど加わ

っていないことを表わしている。それに反して、45°斜面では急に雪圧が大きくなり、明らかに斜面積雪の移動が影響していることを示している。

鉛コーン式簡易雪圧計によって、2冬季間にわたって積工上の雪圧分布を測定したが、装置が不適当であったためか、よい結果をうることができなかった。

3) 考 察

傾斜別斜面区における測定結果によれば、40°以下の斜面の日平均積雪移動量はいずれも数mm以下であって、自然斜面における移動量と比較すると1/10~1/3程度にすぎず、移動は気象条件の変化によって著しく促進されることがわかった。またこのような安定な斜面では、積雪移動圧は小さく、必ずしも傾斜に比例して増加することはない。これは、主として法切りによって低木やススキそのほかの雑草が除かれ、細かい凹凸のある地表が露出して積雪が滑りにくくなったことと、自然斜面の急傾斜部分が除かれて一様な斜面になったためと考えられる。

ところが、傾斜が45°の斜面では法切りによって移動は抑制はされるが、40°以下の斜面に比べればはる

かに大きく、速度の変化もはげしい。とくに、気温や降雨などの気象条件が変化した場合には急激に移動量が増加し、斜面の積雪に雪割れを生じて不安定な状態になりやすい。

したがって、多雪地帯の山腹工法として斜面を法切りすることは、斜面の積雪を安定化させる意味において有効で、施工した工作物に与える積雪の影響が少なくなり、破壊の程度も軽減されるが、斜面の傾斜があまり急な場合は、法切りの効果は少ないものと考えられる。

積工の効果については明らかにすることができなかったが、これを明らかにするには、積工の施工によってどの程度の範囲まで積雪の移動が減殺されるかを比較できるように、積工上方斜面の積雪移動量の分布を測定する必要があるものと考えられる。

3. 雪庇防止区の試験

1) 試験方法

傾斜別斜面の裏側はスギの伐採跡地で、平均傾斜が約 30° の西向き斜面であり、冬季の季節風が主として西または北西であるため、雪庇がしやすい地形になっている。

傾斜別斜面区天端に雪庇防止柵を設備するまでは、並雪の年にも写真22に示したようなかなり大きな雪庇ができた。このように斜面天端に毎年雪庇ができることによって、風下側にある傾斜別斜面の積雪量が一定にならないので、傾斜別斜面の積雪量を同一条件にするために、1961年度に図18に示した位置に雪庇防止柵を設備した。

防止柵は板張りで、山頂部を4～7m幅に平らにならして平坦地にし、風上斜面天端に設置した（写真23）。この柵の長さは全長約60mであるが、地形の関係で雪庇防止試験区としたのは約30mである。そのうち中央から片側15mを不透過にし、残り15mを幅20cmの板を20cm間隔に張った離間率50%の透過柵とした（写真24）。柵の高さは、1962年には地上1.5m、63年度には2.0m、64年度には2.5mと毎年異なった高さにした。すなわち、雪庇防止試験は透過（50%）、不透過の2種類について、高さを変えてその効果を検討することにしたものである。

2) 試験結果

これらの防止効果を比較検討するために、雪庇防止区に隣接する自然地形の山頂部を対照区に選び、この対照区に形成された雪庇の積雪最深部と防止区の積雪最深部を同じ日に測定して示したのが表20である。表中、平地積雪深は分場構内の気象観測露場で測定したものである。また、各区について、ほぼ10日おきに積雪断面を調査した結果を図33、34、35に示した。

柵の高さを1.5mにした1962～63年冬季は大雪で、平地の最深積雪深は232cm（3月9日）を記録し、

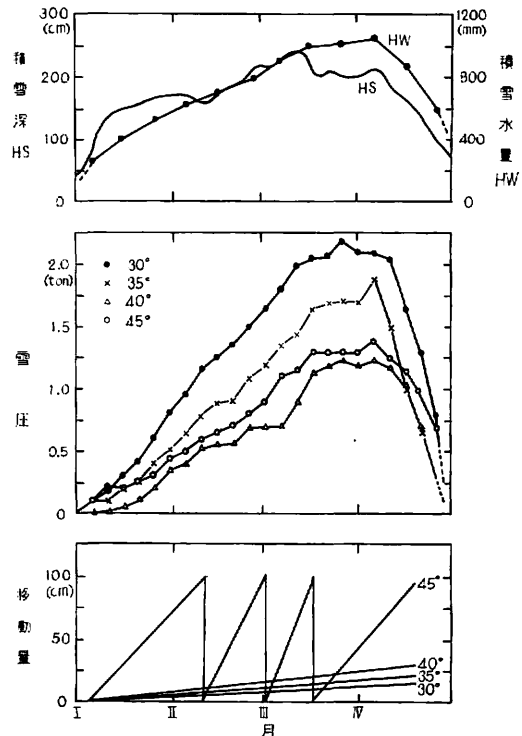


図 32. 積工上の雪圧経過（1964～65年冬）

表 19. 積 工 上

年	月. 日	積雪深 (cm)	積 雪 水 量 (mm)	雪 庄					
				30°			35°		
				A*	B*	計	A	B	計
1964	1. 16	30	88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	25	64	151	0.05	0.00	0.05	0.10	0.00	0.10
	2. 4	128	243	0.10	0.00	0.10	0.20	0.05	0.25
	14	128	352	0.20	0.10	0.30	0.20	0.10	0.30
	24	138	385	0.25	0.20	0.45	0.30	0.20	0.50
	3. 6	101	378	0.30	0.30	0.60	0.30	0.20	0.50
	16	99	347	0.30	0.20	0.50	0.30	0.20	0.50
	26	93	390	0.30	0.20	0.50	0.30	0.15	0.45
1965	1. 5	88	250	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10
	14	148	402	0.10	0.20	0.30	0.10	0.20	0.20
	25	162	537	0.30	0.30	0.60	0.20	0.20	0.40
	2. 5	179	630	0.50	0.50	1.00	0.30	0.30	0.60
	15	165	698	0.65	0.60	1.25	0.45	0.45	0.90
	25	205	788	0.80	0.70	1.50	0.55	0.60	1.15
	3. 5	221	893	0.95	0.80	1.75	0.65	0.65	1.30
	15	214	1001	1.10	0.90	2.00	0.80	0.70	1.50
	25	191	1017	1.10	0.95	2.05	0.90	0.80	1.70
	4. 5	212	1043	1.15	0.95	2.10	1.00	0.90	1.90
	15	163	864	1.10	0.60	1.70	0.60	0.40	1.00
	24	106	587	0.70	0.40	1.10	0.30	0.10	0.40

注*: A(法底), B(先端)

表 20. 雪庇防止柵後方の

1962~63年冬 (H=1.5m) *1								1963~64年冬		
場 所	対 照 区		A 区*2		B 区*3		平 地	場 所	対 照 区	
月. 日	積雪深 (cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	月. 日	積雪深 (cm)	(%)
1. 10	125	100	65	52	65	52	77	1. 20	100	100
19	250	100	135	54	125	50	140	30	90	100
30	400	100	270	67	250	63	195	2. 10	180	100
2. 9	355	100	230	65	225	63	189	19	320	100
20	395	100	260	66	240	61	190	29	280	100
3. 1	445	100	310	70	230	52	220	3. 10	180	100
11	425	100	300	71	315	74	208	21	150	100
25	300	100	195	65	200	67	155	31	140	100
平 均	337	100	221	66	206	61	—	平 均	180	100

注 *1: H は雪庇防止柵の地上高, *2: A は透過 (50%) 柵, *3: B は不透過柵。

1 月下旬に透過柵・不透過柵はともに埋雪してしまったにもかかわらず、図33に示したように、雪庇は形成されなかった。対照区の雪庇は 3 月 1 日に最大になり、その積雪最深部は 445cm であったが、同日の透過区の積雪最深部は対照区と比較して 70%、不透過区では 52% であった。

1963~64 年冬季には、柵の高さを地上 2.0m として対照区と比較観測を行なった。この冬の積雪は平年以下の小雪で、図34に示すように、透過区・不透過区とも防止柵は埋雪することなく、対照区の雪庇最大時 (2 月 19 日) の最深部の積雪深 320cm に対して、両区とも 50% 以下の積雪深であって、雪庇はまったく形成されなかった。透過区では柵から 3~4 m 風下側に積雪が最も多く堆積したが、不透過区では柵の遮

の 雪 圧

(ton)						換 算 雪 圧 (ton/m ²)			
40°			45°						
A	B	計	A	B	計	30°	35°	40°	45°
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.03	0.06	0.00	0.06
0.05	0.00	0.05	0.10	0.00	0.10	0.05	0.16	0.04	0.11
0.10	0.05	0.15	0.15	0.10	0.25	0.15	0.19	0.13	0.28
0.10	0.10	0.20	0.20	0.15	0.35	0.23	0.31	0.17	0.39
0.10	0.15	0.25	0.20	0.10	0.30	0.30	0.31	0.21	0.33
0.10	0.10	0.20	0.20	0.10	0.30	0.25	0.31	0.17	0.33
0.15	0.10	0.25	0.20	0.00	0.20	0.25	0.28	0.21	0.22
0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06	0.00	0.11
0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.20	0.10	0.12	0.00	0.22
0.10	0.10	0.20	0.15	0.15	0.30	0.30	0.25	0.17	0.33
0.20	0.20	0.40	0.25	0.25	0.50	0.50	0.37	0.33	0.56
0.25	0.30	0.55	0.30	0.35	0.65	0.63	0.56	0.46	0.72
0.30	0.40	0.70	0.40	0.40	0.80	0.75	0.72	0.58	0.88
0.35	0.40	0.75	0.45	0.55	1.00	0.88	0.81	0.62	1.10
0.45	0.60	1.05	0.60	0.60	1.20	1.00	0.94	0.87	1.32
0.50	0.70	1.20	0.65	0.60	1.25	1.03	1.06	1.00	1.38
0.55	0.70	1.25	0.70	0.70	1.40	1.05	1.19	1.04	1.54
0.50	0.55	1.05	0.55	0.60	1.15	0.83	0.62	0.88	1.28
0.40	0.20	0.60	0.60	0.30	0.90	0.55	0.25	0.50	1.00

堆雪最深部の積雪深比較

(H=2.0m)					1964~65年冬 (H=2.5m)							
A 区		B 区		平地	場 所	対 照 区		A 区		B 区		平地
(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	積雪深 月・日	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
40	40	40	40	45	1. 20	235	100	135	57	140	60	151
70	78	60	67	68	26	270	100	160	59	150	56	165
105	58	100	56	105	2. 8	420	100	220	52	225	54	179
150	47	125	39	127	19	403	100	200	50	165	41	180
130	46	110	39	120	3. 1	540	100	350	65	200	37	219
90	50	85	47	87	16	505	100	325	65	195	39	205
90	60	90	60	88	4. 9	415	100	270	65	150	36	184
55	39	60	43	66								
91	51	84	47	—	平 均	398	100	237	60	175	44	—

風効果が大きいために柵の直前における積雪深が最も深く、柵の後方ではほぼ平らに堆積した。

1964~65年冬季には柵の高さを2.5mにして測定を行なった。この冬の平地における最深積雪深は245cm(3月7日)で、釜淵ではまれにみる大雪であった。さらに風も強かったので、図35に示すように、雪庇はどんどん成長し、3月10日には対照区にできた雪庇の最深部の深さは540cmにもなり、雪庇の長さは6mにも及び、過去4冬季間の最大の雪庇となった。写真25は当日対照区に形成された雪庇を示すものである。

雪庇防止区の不透過柵は2月中旬に埋雪してしましたが、柵の後方の積雪深はほぼ一様で雪庇が形成さ

れるようなことはなかった。それに反して、透過区では柵の周辺の積雪が吹き払われて埋雪することなく、柵の風下約5mのところに堆積の最深部が現われ、小さな雪庇が形成された(写真26)。しかし、対照区の雪庇最深部と比較すると、透過区65%、不透過区37%の深さであり、いずれもかなり防止効果がみられた。

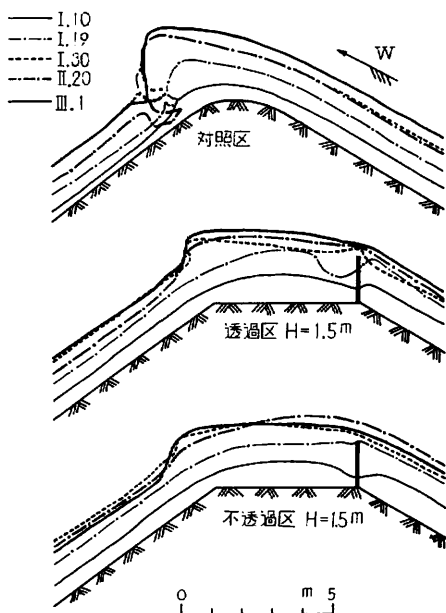


図 33. 雪庇防止区の積雪経過 (1962~63年冬)

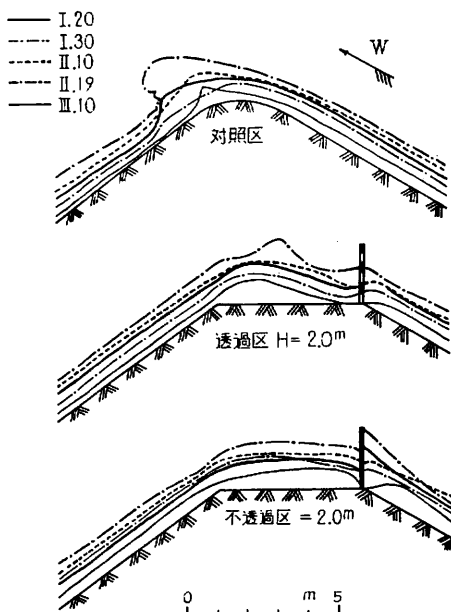


図 34. 雪庇防止区の積雪経過 (1963~64年冬)

3) 考 察

毎年の積雪量や風速が異なるために、雪庇防止柵の高さ別の防止効果の比較はできなかった。

1962~63年冬季と1964~65年冬季の最深積雪にはほとんど差がないのに、雪庇の形態にかなりの違いがみられるのは、冬季季節風の強さの違いによるものであり、雪庇の形成には雪量とともに風速が大きく影響するものと考えられる。

透過柵と不透過柵の周辺にできる堆雪状態はやや異なっており、透過柵の後方では吹き払いのために柵から離れた所に堆積が行なわれ、その最深部の深さは不透過区に比べてやや深い場合が多い。いずれの場合にも対照区に見られるような大きな雪庇が形成されることはなく、柵の雪庇防止効果がきわめて大きいことは明らかである。しかし、この試験結果からどちらの型式がすぐれているかを判断することはむずかしい。

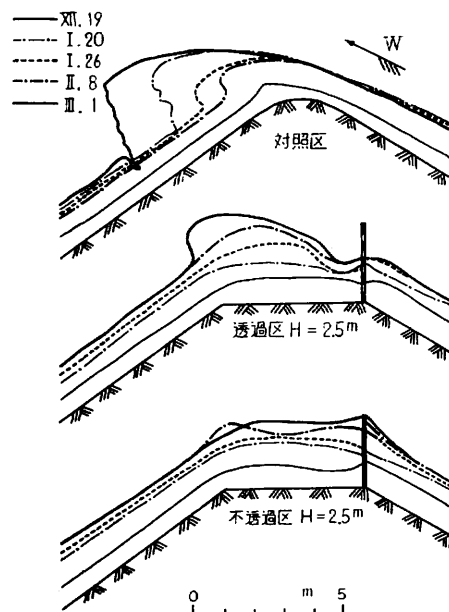


図 35. 雪庇防止区の積雪経過 (1964~65年冬)

4. 植栽区の試験

1) 試験方法

傾斜別斜面の施工にともなって掘り出された土砂や岩くずが斜面の下部に堆積したので、これを整地して数種の樹種を植栽し、多雪地帯の崩壊土砂堆積部に適した治山用樹種を見出すための試験地とした。

植栽区の面積は0.102ha、東向き斜面で傾斜は35°である。植栽した樹種はスギ・リギダマツ・ドイツトウヒ・ヒメコマツの4種類である。植栽区の土壌条件が一定でないため、各樹種を全面積にわたって交互になるように植栽し、間隔は斜距離2.0m、苗間1.5mとした。各樹種の本数は、スギ107本、ドイツトウヒ109本、リギダマツ110本、ヒメコマツ106本、合計432本で、haあたり本数にすると4,200本である。

なお、植栽は1962年6月に実施したのであるが、土壌が岩くずまじりでかなり乾燥しているため、岩くずがとくに多い所には客土を行なって植栽した。また、植栽木の活着を促すため、写真27のように被覆を行なった。植栽後の保育は、肥料(森林化成肥料)を2回(1963年春に30g/本、1964年春に60g/本)施肥し、下刈りを年1回実施して植栽木の競争を抑制した。

2) 試験結果

1962年に植栽した各樹種の樹高成長の経過は表21に示すとおりで、1965年の平均樹高ではスギが最も大きく、つぎにリギダマツ、ドイツトウヒ、ヒメコマツの順になっている。各樹種の年間平均成長量を比較すると、各年ともスギの成長がよく、つぎにリギダマツの順で、ドイツトウヒとヒメコマツはあまり差がなく成長が劣っている。

被害は主として雪害を対象にして毎年消雪後に調査した。表22はその経過を示すもので、各年の残存本数に対する各樹種ごとの被害率をみたものである。各年とも、被害の軽微な枝抜けが成長のよいスギ・リギダマツにわりあい多く見られる程度で、その他の被害は数%に過ぎなかった。

つぎに、植栽区における流出土砂量は、斜面の中腹5か所に鉄製のピンを10cm間隔に地面まで打ち込み、ピンの頂点から地面までの高さを測ってその差から求めた。調査は植栽区を施工した1962年から1964年まで、無雪季、有雪季に分けて年2回行なった。

調査結果は表23に示すとおりで、各位置とも施工当年の無雪季に流出が多く、その後は年々減少し、1964年4月14日の調査時には、各位置とも土壌が安定して侵食が見られなくなった。

このように土壌が安定し、植栽区に侵入した樹草もかなり優勢になった1964年7月に植生調査を行なった。その結果、樹草の種類は、タニウツギ・タラノキ・ワラビ・ハギ・タケニグサ・タデ・フキ・オカトラノオ・ジシバリ・オヒシバ・クマイチゴ・ススキ・トリアシショウマ・オトコエシ・トコロ・ウド・カリヤス・アレチノギク・スズメノヒエ・モミジバキイチゴなどが見られ、植栽区に隣接する山地の植物がほとんど侵入していることがわかった。なお、植生の被覆度は37%であった(写真28)。

3) 考察

これまでの調査経過では、各樹種とも活着・成長はかなりよい成果を得ているが、これは植栽区の施工に伴う土壌の耕うん、施肥の効果によるものと考えられる。

雪害については、各樹種とも大きな被害を受けるほどに成長していないので、どの樹種が雪に強いかはまだわからない。しかし、リギダマツに各年とも幹の折れ割れ(激害)、枝抜け(軽害)が比較的多く見られることから、今後成長するに従い雪害の増加が心配される。

植栽区の土壌が急速に安定し、侵入した植生も優勢になったことは、傾斜別斜面を施工するに際して掘

表 21. 植栽区における樹種別の樹高成長経過 (cm)

樹 種 年	ス ギ		リギダマツ		ドイツトウヒ		ヒメコマツ		備 考	
	成長量	平均樹高	年間成長	平均樹高	年間成長	平均樹高	年間成長	平均樹高		年間成長
1962		37.8	—	28.6	—	32.4	—	26.0	—	—
1963		85.4	47.6	55.0	26.4	42.8	10.4	32.5	6.5	施肥(30g/本)
1964		143.4	58.0	99.1	44.1	68.9	26.1	58.3	25.8	〃 (60g/本)
1965		173.6	30.2	127.2	28.1	94.5	25.6	84.3	26.0	—

表 22. 樹 種 別 の 被 害 経 過

樹 種	被 害 年	根元折れ・割れ		幹折れ・割れ		枝 ぬ け		こずえ折れ		そ の 他		残存本数	
		(本)	(%)*	(本)	(%)	(本)	(%)	(本)	(%)	(本)	(%)	(本)	(%)
ス ギ	1963	3	2.8	8	7.5	14	13.1	3	2.8	1	0.9	107	100
	1964	1	1.0	1	1.0					1	0.9	105	100
	1965	1	1.0									103	100
	計	5	4.8	9	8.5	14	13.1	3	2.8	2	1.8		
リギダ マツ	1963			4	3.6	2	1.8					110	100
	1964					6	5.5					109	100
	1965	1		6	5.7	9	8.5					105	100
	計	1	1.0	10	9.3	17	15.8						
ドイツ トウヒ	1963		1.9	1	0.9			3	2.8	1	0.9	109	100
	1964											109	100
	1965			1	1.0			3	2.8	1	0.9	105	100
	計												
ヒメコ マツ	1963	2				3	2.8					106	100
	1964	1	1.9			2	2.0			3	3.1	105	100
	1965	3	2.9			5	4.8			3	3.1	98	100
	計												

注 *: %は残存本数に対する比

表 23. 植 栽 区 の 流 出 土 砂 量 (cm)

期 間	土 壌 状 態	法切面	盛 土				合 計	平 均
		赤色土	黒色土	土・岩 くず	岩くず (大)	岩くず (小)		
1962. 6. 5~1962. 12. 19 (無雪季)		0.5	3.6	3.5	1.3	1.4	10.3	2.1
1962. 12. 19~1963. 5. 10 (有雪季)		0.1	0.7	0.9	0.3	0.3	2.3	0.5
1963. 5. 10~1963. 12. 9 (無雪季)		0.2	0.4	0.7	0.1	0.7	2.1	0.4
1963. 12. 9~1964. 4. 14 (有雪季)		0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0

り出された樹草の根株をそのままにして整地し、また、植栽木に施した肥料が樹草の成長を促したためと考えられる。

要 約

多雪地帯においては古くから種々の山腹工事が行なわれているが、崩壊地復旧のための植生や工作物が積雪の移動やなだれのために破壊され、緑化が非常に困難な場合がしばしばみられる。それゆえ、工作物に対する積雪の影響を調査し、従来の工法について再検討して、多雪地帯においてどのような工法が合理

的かつ経済的であるかを明らかにする必要があった。

そのような観点から、この試験は1961年に蔵王および釜淵において開始され、現在も継続中であるが、ここでは開始後5か年間に得られた結果について中間報告をした。

A. 総合工種の試験

多雪地帯に適する工法について総合的に検討するために、山形営林署管内の蔵王、横倉山国有林内に、従来から行なわれている数種類の工法を組合せ施工した試験区を設定した。各試験地内の積雪に大きな差異があったために、工種相互間の経済効果の比較については判定することができなかったが、細部について若干考察された点はつぎのとおりである。

(1) 試験地内の積雪は、沢沿いに吹きあげてくる気流によって吹き飛ばされたり堆積したりするので、積雪の分布は非常に複雑になる。たとえば、1962年2月19日の調査結果では、試験地内の積雪深は0~550 cmと極端な差があった。稜線には二重雪庇が形成された。

(2) 気温が0℃以下の低温を持続するため、積雪の少ない所ではしもぎらめ雪が形成され、また積雪層が地面に凍結する。それゆえ、そのような所では厳冬期における積雪の移動は非常に小さい。積雪の多い所では1冬を通じて等速に近い積雪の移動がみられ、積雪の移動は日量にして18mm程度で比較的大きいので、施工した工作物は徐々に破壊された。雪庇のできる斜面では1月中旬に全層なだれが発生した。

(3) 1961~62年冬の測定結果では、斜面に設置された支柱に加わる雪圧は、低地帯におけると同様に、積雪深の2乗に比例して増加した。

(4) 各試験区の積雪分布が非常に複雑なため、各工種ごとの治山効果を比較することはできなかった。個々の工作物の破壊状況について述べると、積雪深の深い2区では山腹空積がなだれのために1冬季で全壊した。しかし、そのあとに施工した練積、あるいは、傾斜が50°近い1区の練積は全然破壊されなかった。1区・2区・3区に施工した編柵もなだれや積雪の移動によって60%以上が破壊された。石筋工・丸太筋工・イタドリ筋工などは現在のところあまり破壊されていないが、ほとんどが土砂に埋まってしまった。

(5) 植栽したヤマハシノキ・ウダイカンバおよびさし木したヤナギ類の活着と生育は非常に悪かった。また、筋植のイタドリの成長も非常に悪く、草丈は10cm程度に過ぎなかった。しかし、1区と2区の山腹練積の上方にはフキ・ウド・タニウツギなどの少数の自然植生が侵入しているのが見られた。

(6) 植栽した植物の生育がきわめて不良なために、施工区の流出土砂量は無施工区に比べてわずかに少ないだけであった。年間の流出土砂量は深さにして約4 cmであった。積雪の吹き払いによって1冬季を通じて地面が露出している所では、凍結と融解の反復作用によって土壌がはげしく侵食され、夏季の侵食量よりも冬季の流出土砂量の方が多かった。

B. 単独工種の試験

工種別の比較検討とあわせて、工作物が積雪の移動に及ぼす影響を知るために、山形分場構内に傾斜の異なる実験斜面(30°, 35°, 40°, 45°)をつくり、積工・編柵工・筋工・植栽工を順次施工し、工種別の斜面の積雪状態、積雪の移動、積雪の移動圧について観測を行なうこととし、まず積工施工前後の状態について検討した。また、実験斜面の上方に2種類の雪庇防止柵(不透過柵・透過率50%の柵)をつくり、柵の周辺の積雪の堆積状態を対照区と比較した。多雪地帯に適する経済樹種を見出すため、実験斜面下方に4樹種(スギ・リギダマツ・ドイツトウヒ・ヒメコマツ)を植栽し、成長と雪害について毎年調査を

行なった。

(1) 積雪最盛期における 40° 以下の斜面の平均積雪深は平地に比べてやや大きい。しかし、 45° 斜面では平地よりも小さい。各斜面の積雪深は下方に大きく上方に小さいが、積雪密度はどの斜面でもほとんど変化がなく、 $0.39\sim 0.40\text{g/cm}^3$ の範囲内にあった。融雪末期における積雪水量の減少割合は傾斜が急なほど大きい。

(2) 傾斜 40° 以下の斜面の積雪移動速度は、4冬季間とも、気象条件・積雪量・雪質などに直接左右されることなくほぼ等速であった。これらの地表が露出した実験斜面の積雪移動量は、自然斜面の移動量に比べてわずかに $1/10\sim 1/3$ 程度に過ぎなかった。このことは自然斜面を法切りすることによって積雪の移動が減少して安定することを示すものと考えられる。しかし、 45° 斜面では積雪の移動量は大きく、移動のしかたは不安定であり、毎年、区画の上部に雪割れが生じた。

積工施工の前後における斜面の積雪移動量の変化から積工の効果を知ろうとしたが、測定方法の不備のためにできなかった。

(3) 各斜面の中央に立てられた鉛直柱に加わる積雪移動圧は積雪深とともに増加し、積雪水量が最大になる時期に最大値になった。 40° 以下の移動圧と積雪水量の関係は年によって違い、同じ積雪水量に対して移動圧に約2倍の差があった。コンクリートブロック積工上に設置された水平柱に加わる雪圧は、 40° 以下の斜面では傾斜によってあまり変わりなかったが、 45° 斜面では急に増加した。

(4) 透過柵・不透過柵とも雪庇ができるのを防ぐのに著しい効果があるが、透過柵の風下側では堆雪深がやや深く、堆雪位置が後方にずれる傾向がみられた。各年の積雪深が異なるので、防止柵の高さによる雪庇防止効果の違いについては明らかにすることができなかった。

(5) 植栽区に植栽された各樹種の活着、生育はともに良好であった。とくにスギとリギダマツの樹高成長がすぐれていた。各樹種とも雪害を受けるほど成長していないので、どの樹種が雪害を受けやすいか現在のところ判断できない。

文 献

- 1) 古川 巖：斜面積雪圧の研究，雪氷の研究，1，197～202，(1953)
- 2) 福田秀雄・松田宗安・小林忠一・近藤松一・小林治子・岡本金夫・玉木廉士：瀬戸内地方はげ山の経済的治山工法の研究（第1報），林試研報，204，1～71，(1967)
- 3) 市村 毅：竜山火山の活動，山形大学紀要（自然科学），4，2，283～296，(1957)
- 4) 今井薫雄：雪庇防止に於ける吹抜式柵について，雪氷，16，4，17～24，(1950)
- 5) 勝谷 稔：山腹積雪の移動に就て，森林治水試験彙報，19，177～144，(1943)
- 6) 丸山久一：雪庇防止に於ける板塀柵について，雪氷，16，4，12～16，(1954)
- 7) 村井 宏：寒冷地帯に適応した早期緑化工法，治山業務資料第3集，青森営林局 85pp.，(1962)
- 8) 村山 肇：蔵王火山およびその周辺の火山灰について，地理学評論，39，9，591～603，(1966)
- 9) 斎藤陽吾：板柵による雪庇防止柵に就て，雪氷，11，5，17～22，(1950)
- 10) 桜井俊輔：傾斜面に積った積雪の移動に就て，森林治水試験彙報，19，103～115，(1943)
- 11) 四手井綱英・伊藤浅治：雪庇防止柵の機能（第1報），林試集報，57，73～96，(1948)
- 12) 四手井綱英：アカマツの雪害，雪と生活，2，12，25～29，(1950)
- 13) 四手井綱英：赤城の凍土を見て(1)，前橋営林局，22pp.，(1953)
- 14) 鈴木啓義・佐藤昭敏：多雪地帯における造林樹種(1)，蒼林，6，2，86～98，(1955)

- 15) 鈴木啓義・佐藤昭敏:多雪地帯における造林樹種(II), 蒼林, 6, 4, 97~108, (1955)
- 16) 高橋喜平・野上光一:斜面における積雪の変態(I), 雪, 10, 13~18, (1952)
- 17) 高橋喜平:積雪期における荒地の侵食(1, 2), 新潟県林務課, 8pp., (1952), 9pp., (1953)
- 18) 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, 昭和 32, 33 年度雪崩対策関係委託研究結果集, 39~64, (1960)
- 19) 高橋喜平・片岡健次郎・小野茂夫:蔵王山の積雪について, 雪氷, 28, 2, 1~4, (1966)
- 20) 高橋喜平:積雪の不安定地について, 林試東北支場たより, 58, 1~4, (1966)
- 21) 林試山形分場:山形分場気象25年報, 25pp., (1966)
- 22) 山形地方気象台:山形県農業気象月報, (1956~1964)

**Studies on the Economical Erosion Control Work for the Restoration
of Denuded Hillsides in the Heavy Snowy Regions (Report I)**

An examination on restoration works (1)

Kihei TAKAHASHI⁽¹⁾, Shohei SATO⁽²⁾ and Kenjiro KATAOKA⁽³⁾

Summary

In heavy snow regions quite frequently vegetation and civil engineering structures for the restoration of landslide-ravaged sites are destroyed by gliding snow or avalanches. Attempts to induce a vegetation cover is difficult. Therefore, a study was made to investigate the influence of the snow cover on the structures and to clarify what work is required from a scientific and economic standpoint. Examinations were carried out from 1961 to 1970 at Mt. Zao and Kamabuchi, Yamagata Prefecture. Intermediate results obtained for the first 5 years are as follows:

A. Examinations on the collective hillside work

Seven plots having various common hillside structures were constructed at Mt. Zao to investigate what work is necessary in snowy regions.

(1) Since the snow in the test area was blown off or drifted by the wind blowing up along the valley, the snow distribution was very complicated. For instance, the snow depths on slopes were 0~550 cm on Feb. 19, 1962 and a double-faced cornice was formed at the top.

(2) In shallow snow areas the snow particles changed into depth hoar crystals, and the snow layer froze to the ground because the air temperature remained below 0°C. The gliding of snow in such area is very small in the midwinter. In deep snow areas a steady gliding of snow was observed throughout the winter. This reached 18 mm a day and the structures on the test slopes showed a gradual deterioration. A total layer avalanche occurred in the middle of January on the slope which had the aforementioned cornice at the top.

(3) The snow pressure acting on a pole planted on the slopes increased in proportion to the square of the snow depth.

(4) The rootage and growth of planted mountain alder (*Alnus tinctoria* SARG.), Japanese red birch (*Betula Maximowicziana* REGEL) and cut willow (*Salix*) were very poor. The growth

Received October 12, 1970

(1)~(3) Kamabuchi Sub-Branch Station.

of giant knotweed (*Polygonum Regnouria* MAKINO) in horizontal steps was very poor and its height reached a mere 10 cm. But a few indigenous plants such as butterbur (*Petasites japonicus* MIG.), wild asparagus (*Aralia cordata* TEUMBL.) and bush honeysuckle (*Weigela hortensis* K. KOCH) etc., were found intruding into the upper parts of hillside wet masonry.

(5) The amount of eroded soil in work plots was slightly inferior to that in a non-treated control plot because of the small growth of planted vegetation. The annual depth of eroded soil was about 4 cm. The soil was severely eroded by alternating frost-melting on slopes where the surface was exposed to the wind throughout the winter. In such areas the amount of eroded soil during the winter was considerably larger than that during the summer.

(6) The hillside dry masonry constructed on deep snow slopes was completely demolished by an avalanche one year after construction. However, wet masonry re-constructed on the same site or that constructed on a steep slope of 50° withstood the onslaught of the snow. Over 60% of the hillside wicker construction on slopes was broken by gliding snow or avalanches. Simple horizontal stone steps, simple horizontal log steps, and simple horizontal giant knotweed steps were not too extensively damaged but were almost buried under the eroded soil cover.

B. Examinations on the individual hillside work

Four test slopes (30° , 35° , 40° , 45°) were made on a hillside at Kamabuchi. The snow conditions, snow gliding and snow pressure were observed to determine the effect of hillside wet masonry on snow gliding. At the top of the test hill two types of wooden snow fences (Closed type, and partial closed type of 50% gap) were installed and the pattern of drifting snow around the fences was compared with that in a control area.

Four species of trees (Japanese cedar, pitch pine, European spruce and Japanese white pine) were planted at the lower parts of the test slopes to determine which species are suitable in snowy regions economic-wise. The growth and snow damage of trees were observed every year.

(1) In midwinter, the mean depth of snow was somewhat higher on each slope below 40° , as compared with that on the ground. But the opposite was found on slopes of 45° . The snow depth at the lower part of each slope was larger than that in the upper parts. The snow density showed a uniform value of $0.39\sim0.40$ g/cm³ on each slope. The decreasing rate of the water equivalent of snow increased in proportion to the slope inclination at a later melting period.

(2) On each slope below 40° the snow cover glided at an almost uniform velocity without yielding to the direct influences of meteorological conditions, the amount of snow and its physical properties for the past 4 winters. On these bare slopes the movement of the snow cover was only $1/10\sim1/3$ of that of a natural slope. This fact seems to show that the movement of snow became small and steady by the grade of natural slopes. But on a slope of 45° the movement of snow was large and unsteady. Snow cracks formed at the upper portion of the plots every winter. A back-pressure zone in which the movement of snow cover is diminished toward the hillside wet masonry was not made sufficiently clear.

(3) The snow pressure acting on a vertical pole planted in the middle of each plot increased in proportion with the depth of snow. It reached a maximum when the water equivalent of snow reached its maximum. The relation between the snow pressure and the water equivalent of snow was different for each year on slopes below 40° . The snow pres-

sure was observed twice for the same amount of snow. The snow pressure acting on a horizontal pole placed on a concrete block terrace was nearly equal without any relation to the inclination on slopes below 40° , but its value increased considerably on 45° slopes.

(4) It was found that the two types of fences used were highly effective for the prevention of cornice formation. On the lee side of partially closed fences the depth of drift snow was rather deep and the drifting portion moved in reverse from the fence.

(5) The rootage and growth of all planted trees were very good. Especially the height growth of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and pitch pine (*Pinus rigida* MILL) was superior. Since the growth of each tree is not sufficient to receive snow damage, it is not clear as to what species are susceptible to snow damage.



Photo. 1 蔵王総合工種試験地における各種工法施工前の状態（2, 3, 4区, 1960年9月21日）

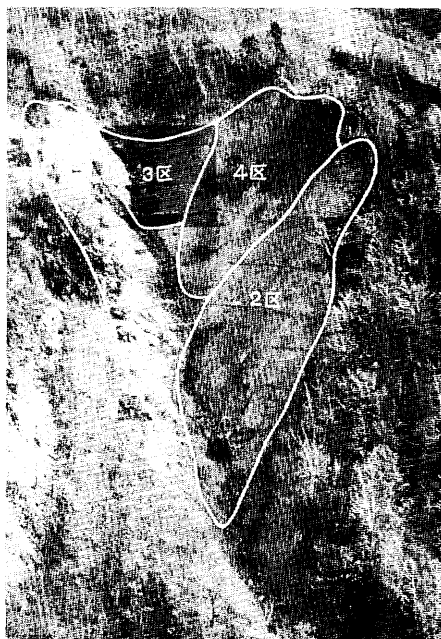


Photo. 2 同試験地における施工後の状態（2, 3, 4区, 1962年10月31日）

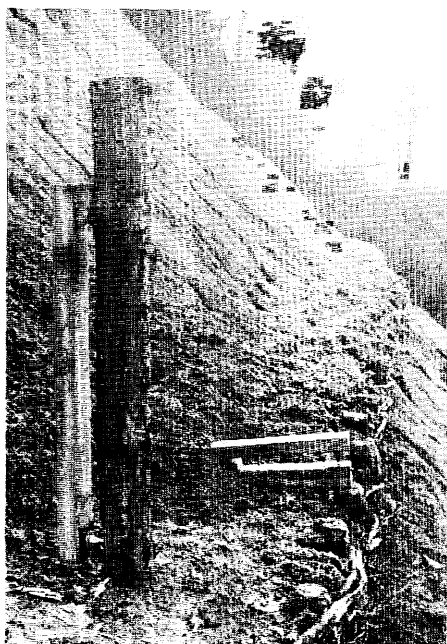


Photo. 3 簡易雪圧測定設備（鉛コーン式）
手前の鉛直柱は移動圧測定用、向う側の水平柱は沈降圧測定用（1961年10月30日）



Photo. 4 土壌侵食量の測定方法（ピンの打込み, 1963年7月5日）

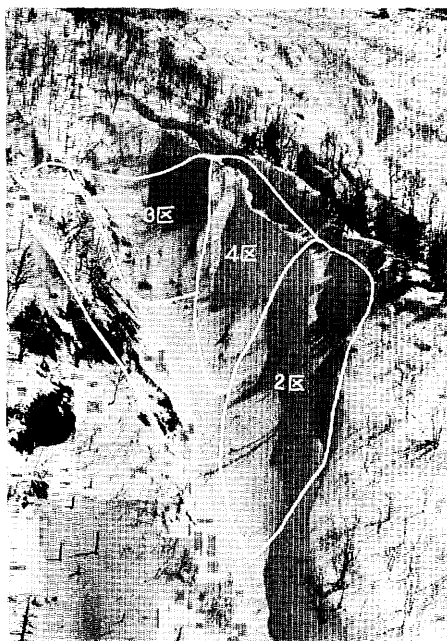


Photo. 5 蔵王試験地における各種工法施工前の積雪状態（2, 3, 4 区, 1961年 8 月22日）



Photo. 6A 同試験地における施工後の積雪状態（2, 3, 4区, 1963年 3 月28日）



Photo. 6B 同試験地における施工後の積雪状態（1 区, 1963年 3 月28日）



Photo. 7 積雪の吹払いと次溜りの状態
左は 5, 6 区, 右は 4 区（1963年 3 月28日）



Photo. 8 丸太筋工上の積雪形態（5区、
1964年3月18日）

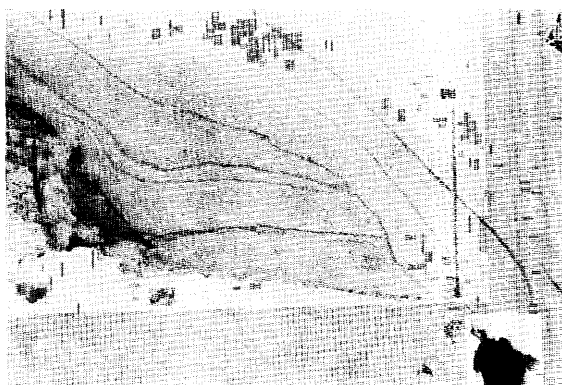


Photo. 9 山腹練積工上の積雪形態（2区
1964年3月18日）



Photo. 10 山腹空積工，編柵工の破壊状況（2区
1962年5月15日）

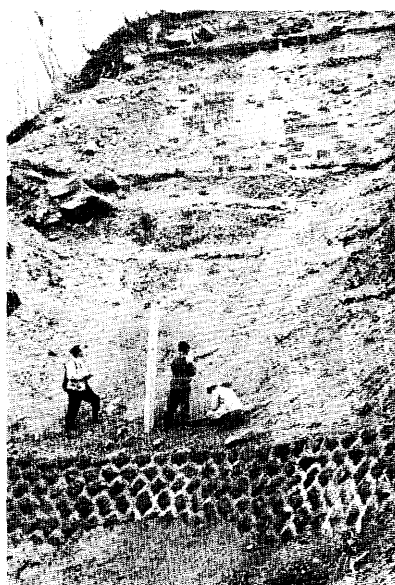


Photo. 11 石筋工が崩壊して埋没してい
る状況（1区，1962年5月15日）

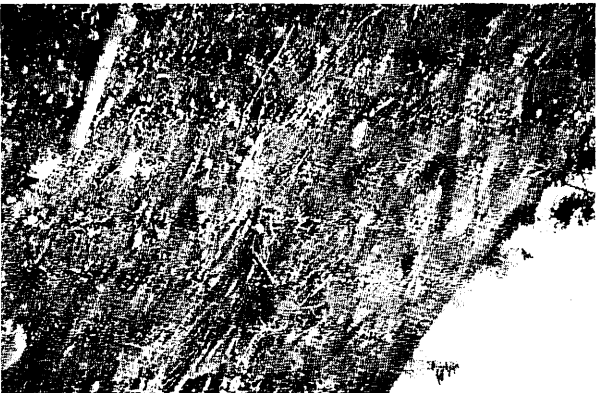


Photo. 12 網柵工の破壊状況 (2区,
1962年5月15日)



Photo. 13 工作物の破壊状況 (2, 3, 4区,
1962年5月15日)



Photo. 14 網柵工の破壊状況 (2, 3, 4
区, 1962年5月15日)

Photo. 15 イタドリ筋工の植生状況 (6
区, 1964年6月5日)





Photo. 16 丸太筋工の埋没状況（5区，
1962年5月14日）

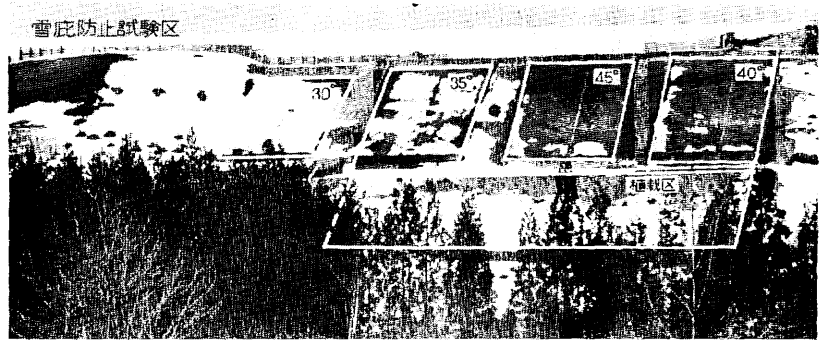


Photo. 17 治山工法実験斜面の全景（単
独工種の試験，山形分場構内，
1962年12月6日）

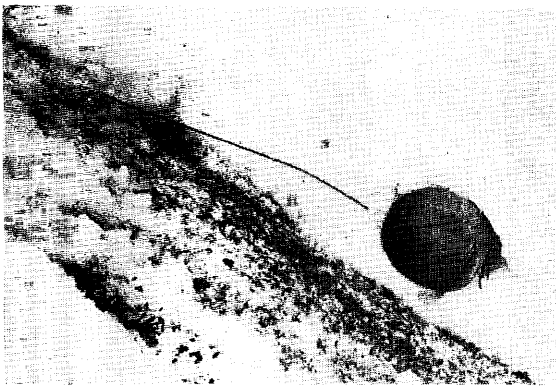


Photo. 18A 積雪の移動測定装置（木球
法，1964年3月29日）

Photo. 18B 積雪の移動測定測置（そり
法，1964年3月29日）



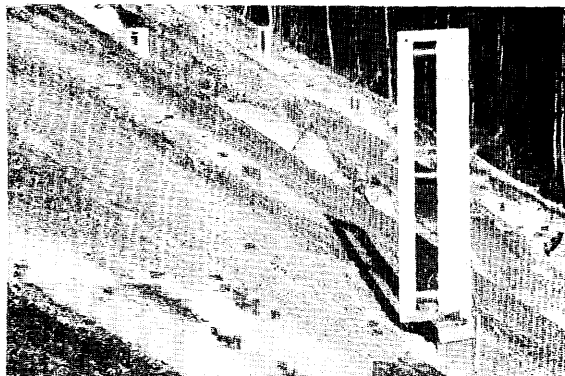


Photo. 19 積雪移動圧測定装置（磁歪計3点支持, 1961年11月27日）

① 10点式雪圧計
② 雪圧調整器
③ 20点式雪圧計
Photo. 20 磁歪式雪圧計の検出部

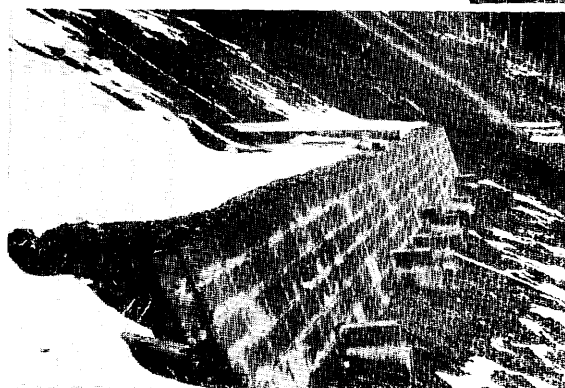
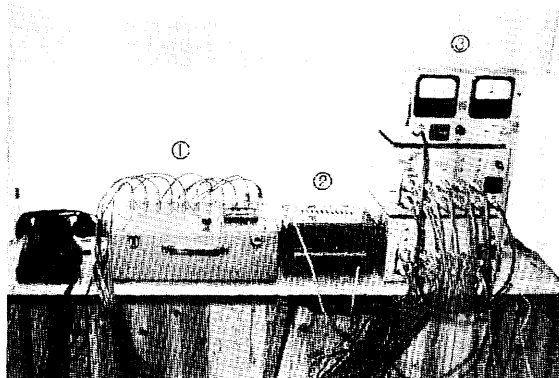
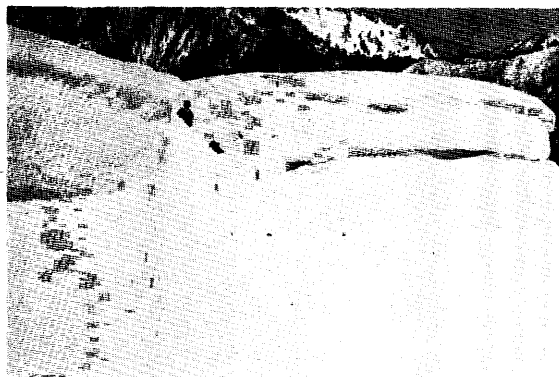


Photo. 21 実験斜面に施工した積工（高さ1.0m, 1963年12月10日）

Photo. 22 雪庇防止柵を設備する以前に形成された雪庇の状態（1961年2月18日）



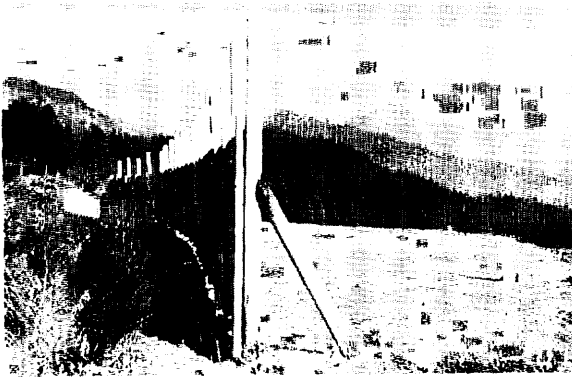


Photo. 23 山稜を平坦にして風上斜面の
天端に設備した雪庇防止柵
(1961年12月5日)

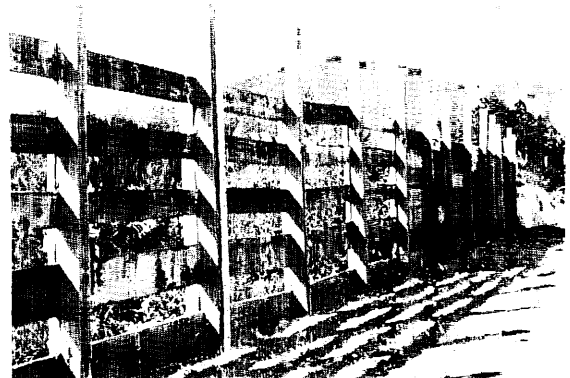


Photo. 24 雪庇防止柵
手前は透過率50%柵
向う側は不透過柵（1963年12
月10日）

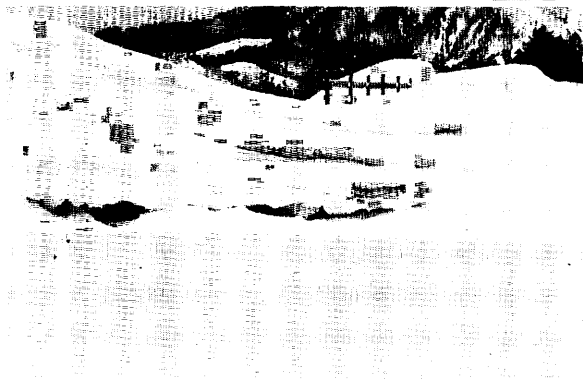


Photo. 25 対照区に形成された雪庇の状態
向う側には雪庇防止柵が
あるため雪庇ができない
(1965年3月1日)

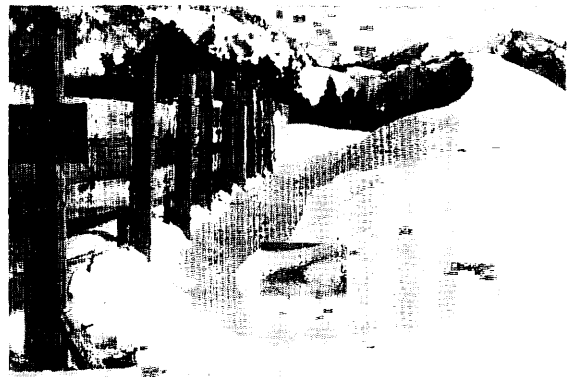


Photo. 26 透過柵の風下側に堆積した
積雪の状態（1965年2月8日）

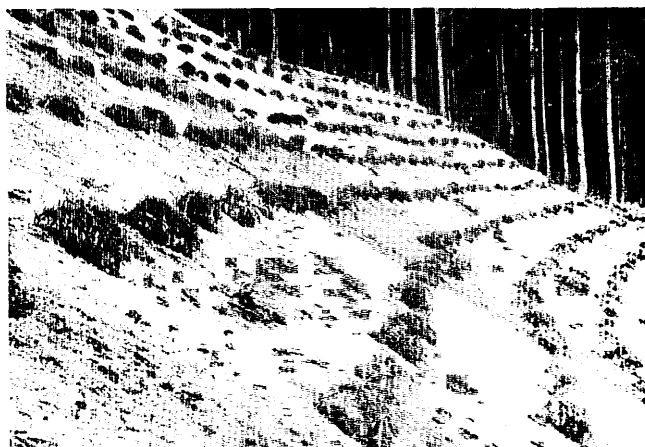


Photo. 27 植栽区に植栽した苗木
被覆してある(1962年6月5日)



Photo. 28 植栽後3年目の地表状態(1964年7月28日)