

V-11 樹木の雪崩発生等抑止効果及び新工法に関する調査

研究予算：受託業務費(国土技術政策総合研究所)

研究期間：平 12～平 14

担当チーム：新潟試験所

研究担当者：秋山 一弥、小林 一治、
武士 俊也

【要旨】

効果的な雪崩予防のための調査として、試験施工中の新型雪崩予防施設にかかる雪圧変化や構造物周辺での積雪物性計測を行い、その特性から現行の雪圧算定式による設計手法との比較を行うとともに、樹木の有する雪崩予防効果を定量的に評価するため、無林・樹林地内で雪崩発生状況や積雪移動、物性に関する計測を行った。

その結果、新型施設のうち鉛直型予防柵については、標準型の設計手法を適用できるが、積雪密度、雪圧それぞれの計算値と実測値に開きがあること、スノーネットは設計積雪深以下でも想定される以上の荷重がかかること、暖地においては落葉樹でも積雪層を変質させる効果があり、構造物と組み合わせることで効果的な予防が期待できることが判明した。

キーワード：雪崩予防施設、樹林、鉛直型予防柵、スノーネット、積雪物性

1. はじめに

現在、積雪地ではコスト縮減や環境・施工性向上に配慮した雪崩対策構造物の施工が望まれている。このうち、雪崩予防工においては、標準型式の入型予防柵が発生区において雪崩発生を効果的に抑止する施設として、集落、道路保全に広く用いられている。

最近では標準型式に加え、支柱のみで自立する型式の鉛直型予防柵やスイスで開発されたスノーネットの施工事例が増えてきている。これら新型の雪崩予防施設は、コストの縮減や環境・施工性に配慮できる構造物として期待できるが、豪雪地である日本において、これらに作用する雪圧などの実測事例がないため、明確な設計基準が確立されていないのが現状である。

また、従来から樹木の多い斜面では雪崩は発生しにくいといわれており、斜面上の樹木が積雪層に杭等の効果を発揮して雪崩の発生を防止していることなどが理由としてあげられている。樹木はコスト縮減・環境面から雪崩予防対策として積極的に活用できると期待されるが、その定量的・力学的な予防効果は現在も不明であり、樹木を予防施設として利用できる段階には至っていない。

以上のように、標準形式に加え、これら新型の予

防施設や樹木の予防効果を組み込むことでより効果的な雪崩予防が実施できると考えられる。

このため、本課題では新型雪崩予防施設の設計方針を確立するとともに、樹木の雪崩予防効果の定量的な評価を行い、樹木を利用した雪崩予防工法について検討することを目的としている。

2. 研究方法

2.1 樹木の雪崩予防効果に関する現地調査

樹林地では降雪の一部は樹冠に捕捉され、通過したものが林内に堆積するが、林内では外部と異なる気象条件のため、結果的に外部とは異なった積雪状況となる。これら樹林地内の積雪に関しては、雪崩発生との関連だけでなく、冠雪や雪圧による生育阻害といった樹木の雪害という観点からも数多く調査研究がなされている。

このうち、雪崩との関係については、なだれ防止林として調査が進められ、その機能は通常樹木胸高の断面積密度により評価されることが多い¹⁾。しかし、これは全層雪崩を対象としたものであり、個々の生育状況が異なる樹木の場合、地形や立木間隔によっては雪崩が発生する場合があるが、このような調査事例²⁾は少なく、実態はよくわかっていないのが現状である。

このため、樹木の予防効果を評価する場合には、斜面の地形、植生状況、林内外の気象・積雪状況、積雪の移動や変化に関する情報を得ることが基本となる。

2. 1. 1 試験斜面の設定と予防効果に関する計測

新潟県中頸城郡妙高村土路地先において、東向きで同一斜面勾配（平均傾斜 53~54°）を有し、樹林地（落葉樹）と無林地が隣接する箇所を試験斜面とし、樹木の有無による雪崩予防効果の実態把握を行った。標高は 400~450m である。

実施した内容は以下のとおりである。

- 1) 両斜面の地形測量と樹林地の立木調査を行った。
- 2) 樹林・無林地において気象観測（気温・地中温度・積雪深）・積雪グライド量の計測及び樹木の有無による雪圧計測を 3 冬期間実施した。
- 3) 2) と並行して、樹林・無林地において、積雪層構造および物性に関する断面観測を行った。

図 1、表 1 に試験地での観測項目および機器設置状況を示す。

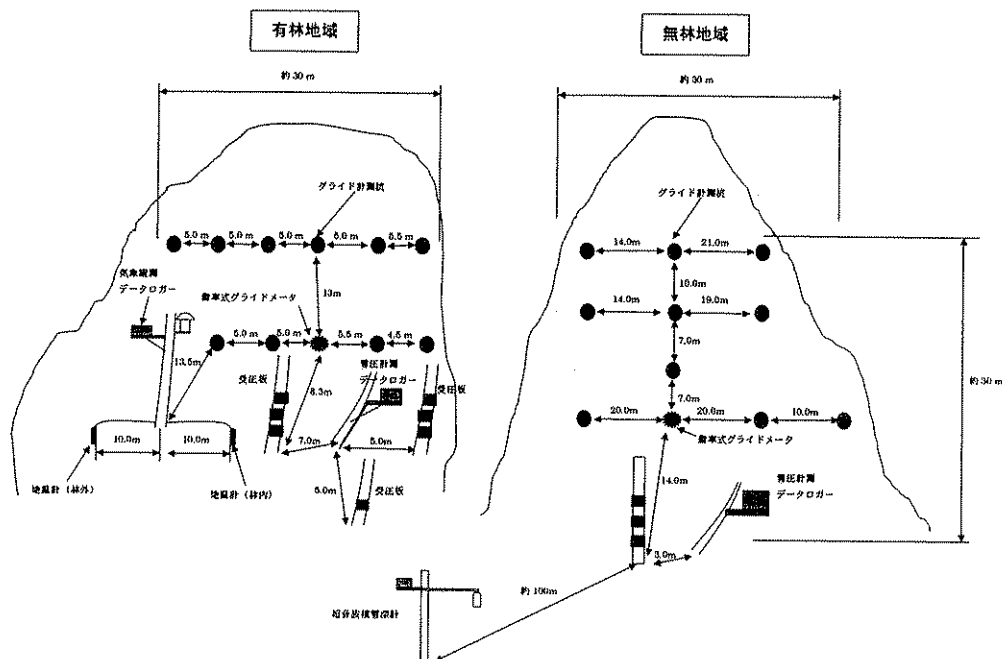


図 1 試験地機器設置状況

1) 雪圧観測

斜面を移動する積雪の雪圧を計測することを目的に、樹林地では根曲がりのない樹木の直立している部分に、計測用の受圧板を地表面から 50cm 間隔に 3 枚設置した。また、比較となる無林地の雪圧は、鋼管支柱を斜面下端に設置し、同様に受圧板を地表

表 1 観測項目

観測項目	設置地域	センサー位置
気象観測	気温計	平地(無林) 樹林地
	地温計	無林地 樹林地
	積雪深計	平地
雪 圧	無林地 樹林地	NTT柱に設置 樹木に設置
	積雪グライド量	無林地 樹林地
積雪グライド量	グライドメータ	無林地 樹林地
	グライド測定杭	無林地 樹林地

面から 50cm 間隔に 3 枚設置した。各受圧版にかかる力はロードセルを用いて計測を行った。計測間隔は 1 時間とした。

2) 時系列的なグライド量の把握

山田³⁾によって開発されたグライドメータを製作し、樹林・無林地において、平均的に積雪が移動すると想定される箇所にそれぞれ 1 台ずつ埋設した。計測間隔は 1 時間とした。

3) 一冬の積雪グライド量の面的な把握

渡辺ほか⁴⁾で述べられているグライド測定杭を製作し、降雪前にあらかじめ 30~70cm の高さで折れるよう段違いに切れ込みを入れて斜面に設置した。融雪後にその移動量を計測し、一冬期間の積雪移動量(グライド量)として評価を行った。

2. 1. 2 積雪層構造に関する計測

樹木の雪崩予防効果及び周辺の積雪状況を把握するため、樹木周辺および無林地において、積雪の断面観測を行い、両者を比較した。樹林地での積雪断面観測は、観測対象樹木を中心とした垂直および水平の断面を対象に、樹木周辺の積雪硬度や積雪密度等の物性計測を行った。表 2 に計測項目を示す。樹林地内では積雪期間中に断面観測を 1 回行うと、樹木周辺の積雪層が攪乱され、その後は同じ箇所

1) 気温・地中温度および積雪状況

平成12年度～14年度の冬期間における気温の記録は、冬季でも10℃を超え1日中氷点下になることが少ない積雪暖地の性質を示していた。樹林地と無林地では地温は若干無林地の方が樹林地より高い期間もあったが、気温、地温ともに顕著な差はなく、当地の立木密度での落葉樹林の性質を表しているものと評価できる。

2) 樹木による積雪グライド軽減効果

平成12、13年度のグライドメーターによる計測量の観測結果から、樹林地では冬季間で1.5m程度の積雪移動量があった。無林地の計測は、いずれの年度も機器の故障及び積雪条件により良好な計測結果は得られなかった。

グライド計測杭を用いた平面的な移動量は、平成12年度では以下のとおり計測された。樹林地の移動量は2割程度小さい状況が確認された。このグライド量の軽減は、全層雪崩の発生を予防する上で重要である。

表3 積雪グライド量

	グライド計測杭移動量	移動箇所
樹林地	1.3m, 1.9m	斜面中央及び端部
無林地	1.6m, 2.5m	斜面中央

3) 樹木による雪圧の軽減効果

樹林地と無林地での雪圧荷重をもとに、雪圧低減率(式1)を算出し、樹木による雪圧軽減効果を検討した。雪圧低減率の値が大きい程、雪圧荷重が軽減されることになる。

$$\text{雪圧低減率(\%)} = 1 - \frac{\text{無林地雪圧} - \text{樹林地雪圧}}{\text{無林地雪圧}} \quad (\text{式1})$$

平成14年度の観測では、平成15年1月25日に無林地で全層雪崩が発生しているため、雪圧荷重が増加し始める前の1月3日から雪崩発生前日1月24日とした。

図8に雪圧低減率と樹林・無林地における雪圧荷重の推移を示す。雪圧荷重の増加が最も顕著に現れている最下部受圧板の雪圧低減率に着目すると、無林地の雪圧荷重が急激に増加し始めた1月5日以降は、雪圧低減率も急激に増加し、ほぼ100%(97~98%)となっている。

期間中に樹林・無林地の雪圧荷重の差は、多いときで10~15倍の差があり雪圧低減率も90%以上と確認された。今回は樹林地の雪圧が6kN/m²程度にとどまったが、仮に2倍程度の雪圧が生じたとして

も、雪圧低減率は60~70%となる。

以上の結果、このような落葉樹斜面でも、樹林密度が同一な箇所においては、樹木によって雪圧荷重を軽減し、斜面積雪を支持していることが確認出来た。

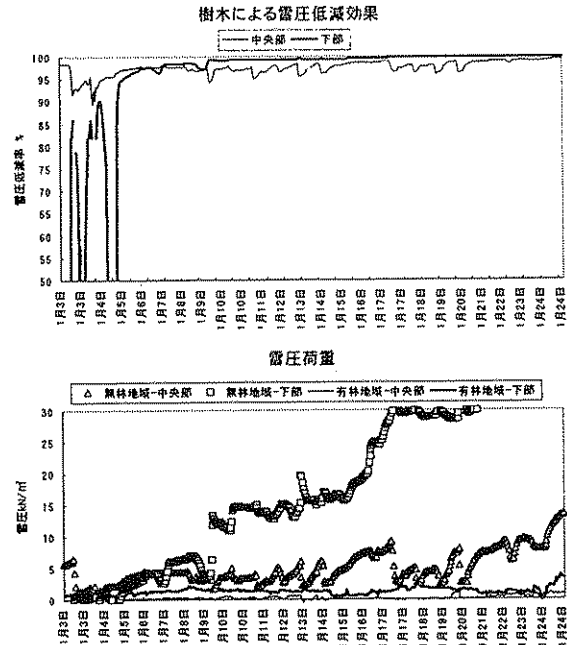


図8 雪圧低減率と雪圧荷重の推移

3. 1. 2 積雪物性の差異

1) 積雪層構造

樹林地の積雪層構造はざらめ雪主体の構成であり、無林地の積雪層構造はしまり雪が長時間残る状態であった。樹林地のざらめ雪は、積雪内下部方向に向かって粒径が大きくなり、樹木と接する部分等一部は氷板化していた。

これは、樹木があることによって落雪・水滴の落下等から積雪表層が乱されたり、樹木からの放射熱等により積雪層構造のざらめ化が促進されることが理由としてあげられる。

このように積雪層構造のざらめ化が促進されると、積雪表面で形成される表面霜・降雪結晶等の表層雪崩を引き起こす弱層形成を防止する傾向になり、積雪斜面が安定し雪崩の発生を予防する方向になる。

2) ざらめ雪の占有率

平成12年度からの積雪断面観測データ(全8回)を用い、積雪日数と積雪のざらめ雪占有率を比較したものが図9である。樹林地の方が無林地より早い時期からざらめ化していることがわかる。平成14年度の観測においては、無林地より樹林地の方が約2倍早いことが判明した。

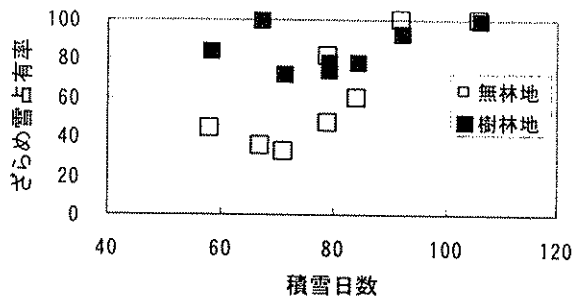


図9 ざらめ雪占有率の推移

3) 積雪密度及び積雪硬度

積雪密度は、樹林地の方が無林地より若干高い傾向が確認出来た。また、無林地で圧密されたしまり雪は部分的に密度が高い状態であった(図10)。

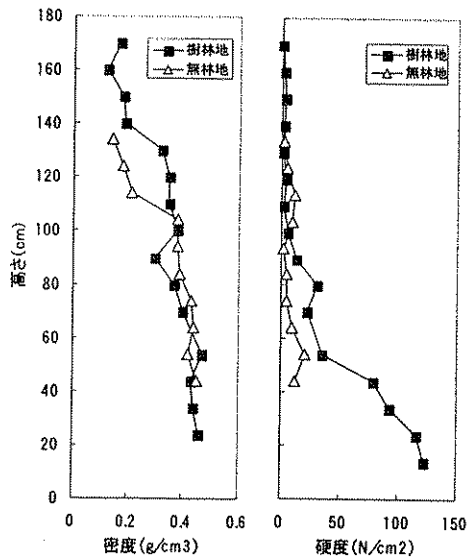


図10 垂直断面観測(密度・硬度)

平成15年3月14日実施

次に、3冬季8回の積雪断面観測データから積雪日数による積雪密度を比較すると、樹林地の方が無林地よりも早く圧密が進み、積雪密度が高くなっていた

(図11)。積雪硬度は、無林地のしまり雪(20~40N/cm²)、樹林地の樹木と積雪が密着する部分(120~160N/cm²)で高い傾向であった。樹林地内の積雪密度と積雪硬度は、積雪下部に向かって高くなっていた。(図10)。

4) 樹木周辺の積雪密度と積雪硬度の平面分布

垂直のほか、樹木周辺の水平断面観測を3冬季8回実施した。一例を図12に示す。

樹木と積雪が密着する部分(樹木周辺)では、積雪硬度、積雪密度が無林地より高い傾向が確認出来た。これは、樹木と積雪が密着する部分はざらめ雪が圧密されて氷状に変態しているため、硬度が著しく大きくなっている。なお、積雪密度が0.6g/cm³に達し

た場合もあった。これらの影響は樹木の斜面山側および直交する水平方向の1m以上に及んでいた。

水平断面観測から、樹木が積雪に対して杭の役割を果たしていることは明らかで、雪崩予防柵と同様の効果として評価できることになる。

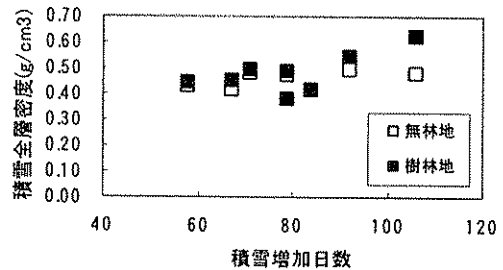


図11 全層平均密度の測定結果

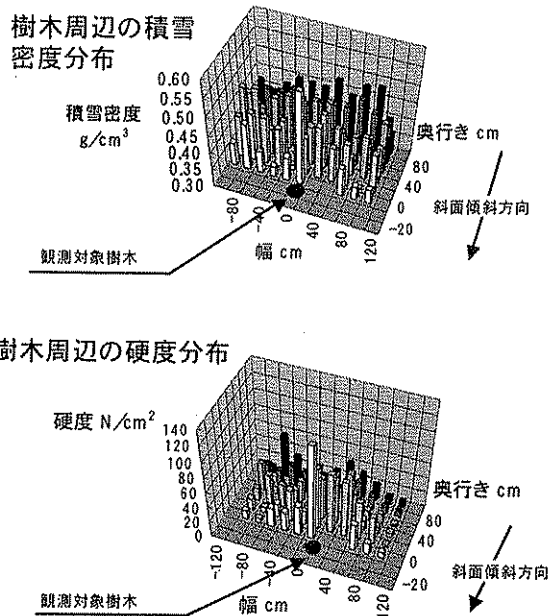


図12 樹木周辺の水平断面観測

(平成15年3月14日実施)

5) 樹木による雪崩予防効果

本調査対象地区の樹林地と無林地は、斜面勾配が53°~54°と急峻で、斜面勾配を考慮すると雪崩が発生しやすい地形である。観測期間中(3冬季)では、無林地では毎冬全層雪崩が発生したが、樹林地では雪崩発生は確認されていない。これは、樹木が杭の役割を一部果たしていること、樹林地では樹幹からの落雪・水滴等によって積雪表面のざらめ化が促進され表層雪崩が発生しにくい状態になっていることが理由としてあげられる。

また、融雪後期には樹木周辺における積雪層の脆弱化が促進され、樹木からの放射熱により樹木周囲

に空洞が形成され積雪の繋がりを分断する効果も発揮している。

3. 2 新型雪崩予防施設にかかる雪圧等の観測

3. 2. 1 鉛直型雪崩予防柵

図13に平成13年1～5月の気温・積雪量と雪圧計測結果を示す。受圧板は上部より1～5とした。雪圧計算は①指針による積雪深から積雪密度を計算する手法⁷⁾と、②現地で6冬季積雪断面観測を行って算出した月ごとの平均積雪密度を用いて行った。

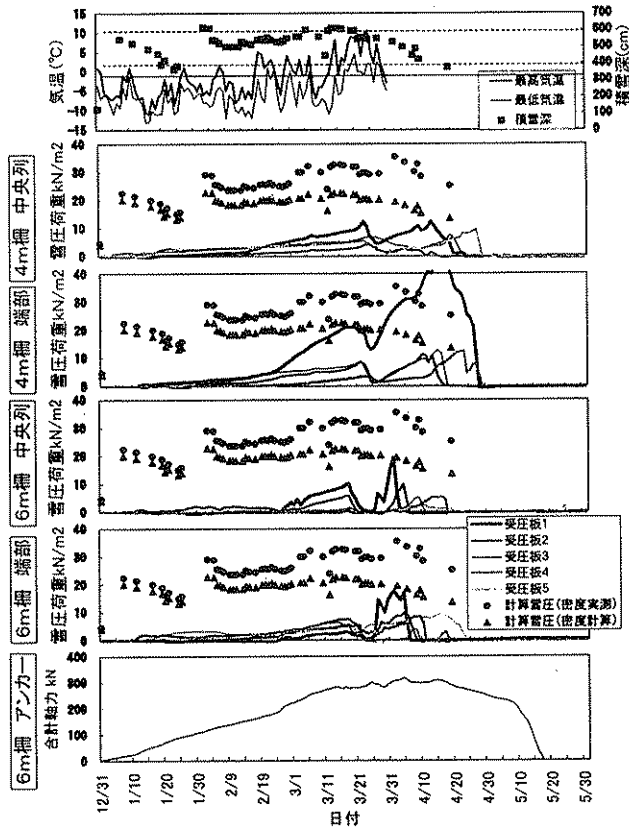
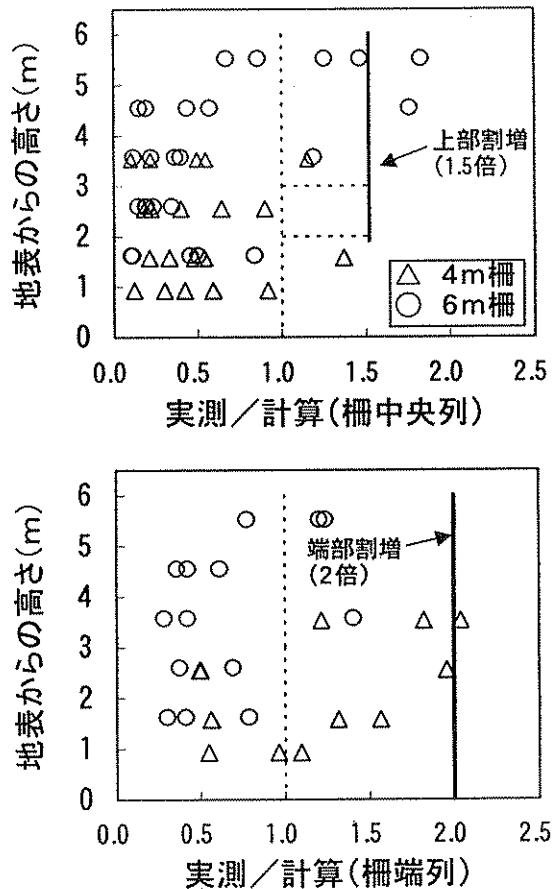


図13 鉛直型雪崩予防柵にかかる雪圧の推移 (平成13年1～5月)

実測密度は計算密度より常に大きくなっている。また、雪圧のピークは当地以外の計測箇所と同様に最大積雪深時より遅れて出現する傾向にある。その後雪圧が急激に減少するが、これは気温上昇による受圧板周辺の融雪によるものと考えられる。その後積雪深が減少しているにもかかわらず再び雪圧が上昇し2回目のピークを迎えるが、積雪のグライド・クリープが活発になり再び雪圧がかかったものと想定され、4/19に行った柵周辺の積雪断面観測では積雪深3.5mで、谷側にある積雪層が柵より分離し下方へ移動しているのが観測できた。以後受圧板周辺の融雪が進み4月下旬に雪圧はなくなるがアンカーには雪圧の反力がみられ、他の柵部材には依然雪圧がかかっていることを示している。

図14に5冬季における実測雪圧/計算雪圧の比の最大値を示す。計算雪圧は前記①とした。雪圧は中央列より端部、下部より上部が大きくなる傾向にある。集落雪崩対策指針(案)では、設計時に柵の辺縁及び上部にかかる計算雪圧(①の方法)の割増(それぞれ2、1.5倍)を行っており、ほぼ割増の範囲内に入っているが、年によって雪圧のかかり方が異なり、一部は割増範囲に収まらない場合もある。ただし、現況の施設においては数基の柵の格子材最上部にゆがみがあるが、特に支柱などに顕著な異常はみられない。



※1997/98は最大雪圧計測できず
※柵端部は1998/99より実施

図14 最大雪圧の実測値と計算値の比

さらに、他の6地点における3冬季の調査では、積雪が柵の上部までなく少雪であったが、雪圧は下部・端部に大きくかかる傾向にあった。以上より図15のような荷重が想定できる。

3. 2. 2 スノーネット

平成12年より図5の箇所冬期間観測を行っているが、平成14年12月以降については観測中のため、2冬季のうち平成12年度に計測した結果について

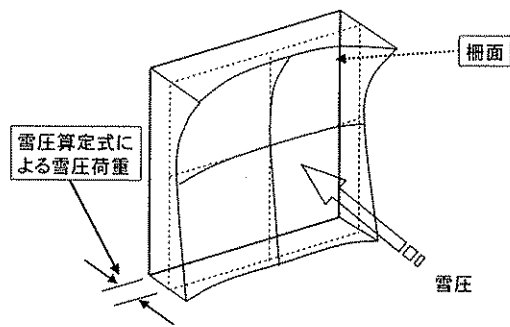


図15 鉛直型予防柵にかかる雪圧の概念図

て述べる。

各部材は積雪深が170cm程度になると荷重が増加しはじめ、最大積雪深(290cm)出現の少し前で荷重が最大となる傾向を示す。支柱と山側にあるアンカーにかかる力は、構造物の中央部、端部ともに設計値を超えることはなかったが、構造物端部にある側部アンカーと、谷側アンカーは、設計積雪深に満たなくても設計値以上の力がかかり、偏荷重を受ける傾向であった(図16)。このような傾向は、13年度の観測でも同様であった(最大積雪深340cm)。14年度の結果は消雪後の回収となるが、前の2冬期よりも少雪であり異なる結果が得られると予想される。以上については、スイスとの雪質の違いによるものと考えられ、今後総合的に検討する予定である。

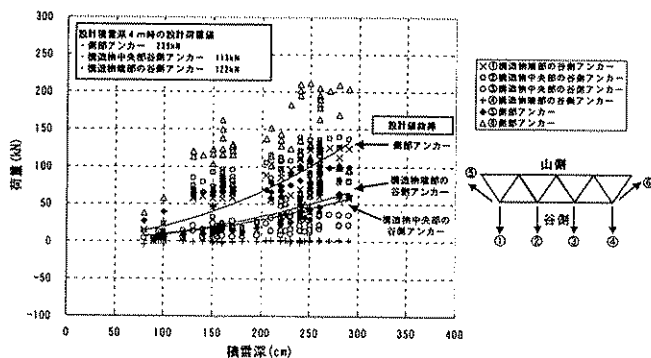


図16 スノーネットにかかる雪圧荷重

4. まとめ

本研究では、雪崩予防施設として新型予防施設の合理的な設計手法確立のための基礎調査および樹木の雪崩予防に関する調査を行った。その結果、以下のことがわかった。

1) 樹木の雪崩予防効果

無林地では3冬期連続して全層雪崩が発生したが、樹林内では発生しなかった。落葉樹林においても樹木上の冠雪の落下による積雪層のざらめ化、積雪深

減少・消雪効果があり、無林地との積雪層構造の差異や、樹木そのものによる積雪層の移動抑止状況を把握できた。

2) 新型雪崩予防施設の設計

鉛直型予防柵については、構造物にかかる雪圧の傾向が明らかとなり、標準型の計画手法(スイス指針の改良)が準用可能であるが、実測密度と計算密度は前者が大きくなるものの、実測雪圧は計算雪圧より小さくなっていった。スノーネットは2冬期の計測によると、支柱・山側アンカーにかかる雪圧は設計値を下まわすが、側部・谷側アンカーは設計値をはるかに上回り、雪圧は左右で偏荷重を受けていた。

雪崩予防施設は雪崩予防に非常に効果を発揮しているが、無雪期には施設だけが目立っている状態である。樹木の場合、常緑樹は冬季でも予防効果を発揮しているが、落葉樹においても効果を活用できると考えられる。

高標高部で積雪深の大きいところでは、木が生育するのは困難で施設による対応が主となるが、渓谷沿いの集落など積雪深が大きい場合、予防施設と樹木のもつ効果を組み合わせ、景観に配慮しつつ構造物の規模も減じることが可能であると考えられる。今後は乾雪主体の寒冷地においてもこのような樹木の効果と施設と合わせた予防機能を検討し、効果的な雪崩予防を確立する必要があるといえる。

参考文献

- 1) たとえば 石川ほか:「なだれ防止林の立木密度」、雪氷、Vol.31、1、1969 や「鉄道林施業標準」、1987.4
- 2) 相浦:「高木林内における積雪移動」、2000年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、p.86、2000.10
- 3) 山田:「斜面積雪グライドの新測定法」、国立防災科学技術センター研究報告、第18号、pp.88-90、1988.3
- 4) 渡辺ほか:「積雪移動量の一測定法」、雪氷、38巻4号、pp.40-41、1976.12
- 5) 建設省土木研究所・(社)鋼材倶楽部:「雪崩予防施設の設計・設置法に関する共同研究報告書(その3)」、pp.9-11、1991.9
- 6) 秋山ほか:「新型雪崩予防柵と樹木の雪崩予防効果について」、日本雪工学会誌(第18回日本雪工学会大会論文報告集)、Vol.17、NO.4、pp.65-66、2001.10
- 7) 建設省河川局砂防部監修(1996)「集落雪崩対策技術指針(案)本編」、p.54、1996.2