

木製なだれ予防柵の開発

中谷 浩*¹, 長谷川 益夫*¹
石田 和人*², 飯島 泰男*¹

Development of Round-Wood Snow Rake

NAKATANI, Hiroshi*¹, HASEGAWA, Masuo*¹
ISHIDA, Kazuto*² and IJIMA Yasuo*¹

In order to utilize Sugi thinning wood, we developed wooden supporting structure in the starting zone of avalanches. Before designing the structure, we tested the bending performance of Sugi logs from Toyama, and determined the allowable stress of Sugi logs graded by annual ring number, in order to insure the reliability of structure.

The wooden supporting structure was designed for the following conditions; 40° slope and 3m snow-depth. Generally, steel supporting structure is of snow bridge type with installation spacing, but the wooden supporting structure we designed is a round-wood snow rake with continuous arrangement. With this design, we attempted to reduce snow load and used light base suited to temporary structure. To resist withdrawal load by snow, the light base was constructed with base log and additional steel angle, and a log of rake was fastened to a base log. We verified experimentally the withdrawal resistance of light base.

After logs were cut and treated with cooper naphthenate as preservative, round-wood snow rake were constructed with crane.

The construction cost of round-wood snow rake was 60% of that of steel snow bridge. Most of the cost was spent in the site of construction, it seems that from the economical point of view, the introduction of such snow rake is more acceptable in a mountain village.

スギ間伐材の需要開発を目的に、木製なだれ予防柵を開発した。設計に先立ち、県産材の合理的利用と構造物の信頼性の確保を図るために、県産スギ丸太の曲げ試験を実施し、材料を年輪数で等級区分したうえで許容応力度を設定した。設計条件は斜面角度40°, 設計積雪深3mである。従来の鋼製柵では横柵型構造で断続的に配置するのが一般的であるが、木製予防柵では縦柵型で連続的に配置することとした。これは積雪荷重を軽減するとともに、一時的な構造物という木製柵の特性に適した簡易な基礎形態とするためである。簡易基礎方式では、縦柵丸太に加わる引き抜き力に対する抵抗が問題となったが、縦柵丸太、補助アングルを基礎丸太に連結することで所用の耐力を確保した。この点については引き抜き実験を行い安全性を確認した。

丸太防腐処理（ナフテン酸銅溶液に浸せき）、組立を土場で行いクレーンを用いて施工した。工事費は鋼製柵の60%程度に減少するとともに、山村地域に工事費の多くが費やされるという利点も新たに認められた。

1992年10月25日受理

本報告の一部は第41回日本木材学会大会（松江）で発表した。

* 1 木材試験場 * 2 富山県治山課

1. はじめに

スギ間伐木の需要開発を目的にこれまでも各県で種々の取り組みが行われている。しかし間伐丸太そのものは安価ではあるものの、製材等ならかの加工をおこなった時には加工手間、歩留まり等の影響から製品価格がかなり高いものとなったり、大量の原木を安定的に入手できない等の問題を抱えることも多いようである。したがって間伐木の利用については、原木に近い形で、小量分散的に各地域でそれぞれ利用を図っていくのが有効と思われる。

このような利用方法の一つとして、治山、林道事業等に土木用資材として間伐材を利用していくことが考えられる。従来から土木用資材としての用途が多いカラマツを植栽している長野県¹⁾や北海道²⁾では既に、治山事業における木製構造物の使用状況調査あるいは新しい構造物の開発等を試みている。

本研究で木製化を試みたなだれ予防柵は、なだれの発生源に設置して斜面積雪のグライドを阻止し、なだれを未然に防ぐための柵状の施設であり、従来から鋼製のものが普及している。鋼製柵は半永久的な構造物として高く評価されているものの、大量のコンクリートを用いた基礎が必要であり、地山の損傷、価格、施工性の点で問題も多いと言われている。

治山事業におけるなだれ予防柵の役割は、なだれ防止林が成林するまでの期間、なだれを防止して植栽木の成長を助けるのが目的であり、半永久的な鋼製の柵は必ずしも必要ではない。スイスでは木製のなだれ予防柵が一時的な構造物として多用されている³⁾。一時的な構造物と位置づけられているものの、ここでの耐用期間は30年程度を想定しており、日本のような多湿地帯では屋外暴露条件で同程度の耐久性を期待するのは難しいものと思われる。しかし、成林までの期間と柵の耐久性の整合性がとれば、間伐材を利用したなだれ予防柵は治山、林業の両面で大きなメリットを持つものと考えられる。

2. 県産スギ丸太の強度性能

木製柵には富山県産のスギ間伐材を丸太の形状で使用することとする。一般の製材については製材の日本農林規格⁴⁾があり、木材の許容応力に対する品質面でのうらづけとなっているが、丸太材に関しては素材の日本農林規格⁴⁾があるものの、これは流通に関

わる規格であり、強度的な品質保証の意味合いは無いものと考えられる。

丸太材については、目切れを持たないことから製材に比べて強度性能が高いと言われており、一部の外国規格⁵⁾では製材より高い許容応力度が与えられている。しかし、小径間伐木では未成熟材の占める割合が多く、一般的な製材品に比べて強度性能が低減することも考えられる。

そこで、なだれ予防柵の設計に先立ち、富山県産スギ丸太材の強度性能を検討することとした。

2.1 試験方法

試験木は富山県産スギであり、ホカスギを中心にタヤマスギ、マヤマスギを含めた3品種、72本の小径丸太である。末口直径は10cm~21cm、長さは2.5~3mである。中央集中荷重方式により生材状態で曲げ試験を行った。なお丸太では末口から元口にかけてのテーパや真円ではない等の問題がある。ここでは曲げ強度については材中央部の平均直径で、曲げヤング率は末口平均直径、元口平均直径からなる円断面のテーパ付き材として計算した。

2.2 試験結果

県産スギ小径丸太の曲げ試験の結果、曲げ強度の平均値377kgf/cm²、標準偏差104.7kgf/cm²が得られ、危険率5%の下限値は、202kgf/cm²となった。この値に、弾性限界としての比例限2/3、長期荷重係数1/2を乗じて長期曲げ許容応力度を求めると、67kgf/cm²となる。

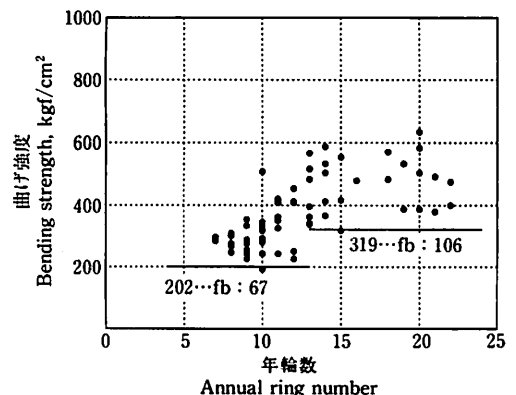


図-1 スギ丸太の曲げ強度性能
Bending strength of Sugi logs.

fb: 長期曲げ許容応力度
long-term allowable bending stress

これは含水率の影響に加えて、小径材では多くが未成熟材で占められることや、丸太を一括して扱ったことによるばらつきが影響したために、製材に比べて低い許容応力度になったものと考えられる。

図-1に曲げ強度と年輪数の関係を示した。曲げ強度は年輪数が増すにつれ増大し、約13年輪を超るとはほぼ一定とみなされる。そこで丸太を年輪数13以上を1等(曲げ強度平均462kgf/cm²、標準偏差84.4kgf/cm²)、13年輪未満を2等(同、313, 65.9)に等級区分して許容応力度を求めた。危険率5%の下限値は1等材、2等材それぞれ319, 202kgf/cm²となり、同様の計算から県産スギ丸太長期曲げ許容応力度は1等材106kgf/cm²、2等材67kgf/cm²が得られた。

また、積雪による荷重期間は4カ月程度と思われるが、治山事業における積雪荷重の扱いは長期荷重となっている。対して、建築の分野では雪荷重は実際の荷重期間を考慮して、短期積雪荷重の7割を長期荷重としている。ここでは、曲げ強度下限値の70%に比例限度2/3を乗じて、積雪荷重用の許容応力度を求めることとし、1等材:149kgf/cm²、2等:94kgf/cm²を得た。以後、木製なだれ予防柵の設計には、この数値を用いることとした。

3. 木製なだれ予防柵の設計

現在、なだれ予防柵は鋼製が主流であり、写真1のような柵面の構成部材(バー)を横型に配し、これを人型の支柱、支柱で支える構造となっている。また、柵は2m間隔の断続配置をとっている。このた



写真1 鋼製なだれ予防柵
Steel snow bridge.

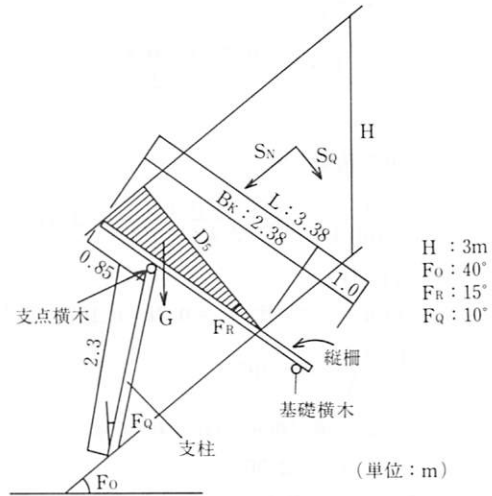


図-2 木製なだれ予防柵の形状と積雪荷重
Snow load and structure of round-wood snow rake.

イプの予防柵の設計法は新防雪ハンドブック⁶⁾に示されている。同様の構造をとると、木製では部材断面、特に支柱、支柱に大径材が必要になること、さらには当然のことながら基礎に荷重が集中するために鋼製柵と同じ大型のコンクリート基礎が必要になり、間伐材利用による木製柵という当初の利点が活かされてこない。そこで、工法に改良を加え、スイス等で施工されている縦柵型構造⁷⁾をとることとした。以下、新防雪ハンドブックに準じて設計を進めることとする。

1) 積雪荷重

柵の基本構造および荷重を図-2に示す。施工地は富山県東砺波郡平村入谷であり、標高470mの北向き斜面である。柵の設計積雪深(H)は3m、斜面角度(F₀)は40°である。縦柵の埋め込み深さ(1m)、傾斜角度(F_R)、支柱の角度(F_Q)等は設計指針に従った標準的な値である。積雪荷重計算の基となる積雪グライド係数(N)、クリープ係数(K)は北陸地方の鋼製柵設計における標準的な値を用い、グライド係数N=2.4、クリープ係数K=0.82とした。

柵への積雪荷重は積雪の水平移動および沈降によって引き起こされる斜面雪圧と図中斜線部の積雪重量であるスノープリズム荷重からなっている。斜面雪圧(柵の幅方向1m当り)は、次式で与えられる。雪密度をr=0.4とすると、

斜面に平行な荷重 (S_N)

$$S_N = r \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N = \frac{0.4 \times 3^2 \times 0.82 \times 2.4}{2}$$

$$= 3.54 \text{ tf/m}$$

斜面に垂直な荷重 (S_Q)

$$S_Q = \frac{a}{N \cdot \tan F_0} \cdot S_N = \frac{0.405}{2.4 \cdot \tan(40)} \cdot 3.54$$

$$= 0.71 \text{ tf/m}$$

ここで、積雪ポアソン比 $V_c = 0.4r = 0.16$ とすると

$$a = \frac{1 - 2V_c}{2(1 - V_c)} = 0.405$$

スノープリズム (積雪重量) G については、

$$D_s = H \cdot \cos(F_0) = 2.30$$

$$G = r \cdot D_s^2 \cdot \tan(F_R) / 2 = 0.283 \text{ (tf/m)}$$

$$\text{斜面平行成分 } G_N = G \cdot \sin(F_0) = 0.18$$

$$\text{斜面垂直成分 } G_Q = G \cdot \cos(F_0) = 0.21$$

斜面雪圧とスノープリズム荷重の合力 (R) を求めると

$$R_N = S_N + G_N = 3.72$$

$$R_Q = S_Q + G_Q = 0.92$$

$$R^2 = R_N^2 + R_Q^2$$

$$R = 3.83 \text{ tf/m}$$

となる。

次に、この合力を柵面に垂直な荷重 (P) と平行な荷重 (Q) に分けると

$$Fe = \tan^{-1}(R_Q/R_N) = 13.9^\circ \text{ から}$$

$$P = R \cos(Fe - F_R) = 3.83$$

$$Q = R \sin(Fe - F_R) = -0.07$$

柵高 (B_k) で除して柵面単位面積あたりの荷重、比雪圧が与えられる。

$$\text{柵面に垂直な比雪圧 } p = P/B_k = 1.61 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{// 平行な比雪圧 } q = Q/B_k = -0.03 \text{ tf/m}^2$$

通常の横柵型なだれ予防柵では、支柱、支柱の主構造の設計には比雪圧を用い、柵面のバーの設計には比雪圧の1.3倍の荷重、さらに下部のバー(柵高の下側 $1/4$) には比雪圧の25%相当の付加荷重を考慮しなければならない。また、柵を断続的に配置するため、柵間を移動する雪による引張り荷重(偏縁荷重: 比雪圧の2倍)を柵の両縁に加える必要がある。

これは、横柵型では最大積雪深時に主構造、融雪期にはいり雪密度が増した時期にバーが危険な状態

に達するためと考えられている。すなわち、最大積雪深時に構造全体への総荷重が最大となり、融雪期に積雪深が下がり総荷重が低下しているものの、雪の圧密により下部のバーは最大積雪深時以上の負荷を受けている。このため、バー設計に際して特別の荷重が負荷されている。

縦柵型では、積雪深の低下が縦柵丸太への荷重を増加させるとは思われないが、安全性を考慮してバーへの荷重(比雪圧 $\times 1.3$)、および付加荷重を設計荷重に用いることとした。なお、偏縁荷重は縦柵を連続的に配置することとして考慮しない。

2) 構造設計

構造計算に使用する積雪荷重を整理すると

$$\text{柵面に垂直方向 } p = 2.09 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{// 平行方向 } q = -0.04 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{付加荷重 } p_b = 0.52 \text{ tf/m}^2$$

となる。

● 縦柵丸太の設計

縦柵丸太の間隔を40cmとすると、丸太1本に加わる荷重は

$$W_0 = 2.09 \times 0.4 = 0.836 \text{ tf/m}$$

さらに付加荷重として柵高の $1/4$ までの部分に

$$W_1 = 0.52 \times 0.4 = 0.208 \text{ tf/m}$$

が加わる。計算の簡略化のため縦柵の地中材端部を一方の支点と考え、曲げモーメント分布は図-3のようになる。曲げモーメントのピークは支点横木上および地際近くの2点に現れる。丸太直径の細りに配慮して部材に生じる曲げ応力をこの2点で同程度に設定すると、材上端から、支点横木上までの距離 a は85cmとなった。この条件での曲げモーメントは M_1 、 M_2 それぞれ0.302、0.362 $\text{tf}\cdot\text{m}$ となる。

丸太の末口直径を14cmとすると、通常の丸太には1mあたり1cm以上の太りがあるとみられることから、 M_1 、 M_2 の部位では直径は安全をみてそれぞれ、15、16cmと考えられる。これより曲げ応力を計算すると、最大応力は支点横木上であり、

$$\sigma_{\max} = 91 \text{ kgf/cm}^2$$

となり、県産スギ丸太2等材の積雪荷重用の許容応力度(94 kgf/cm^2)以下となる。また、市場における丸太の直径は、例えば14cm丸太では14cmから16cm未満の範囲にあることから、縦柵丸太は余耐力も持っていると考えられる。

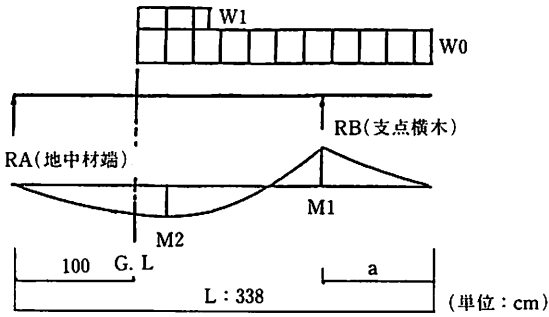


図-3 縦柵丸太の曲げモーメント分布
Distribution of bending moment in rake log.

W0: 柵面に垂直な荷重 load perpendicular to rake
W1: 付加荷重 additional load

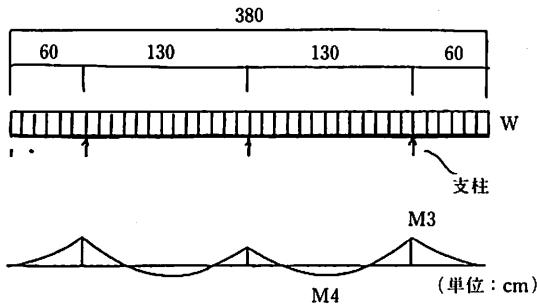


図-4 支点横木の曲げモーメント分布
Distribution of bending moment in lateral member.

● 支点横木の設計

支点横木丸太には、縦柵丸太のB点反力RBが加わる。簡略化のために横木丸太に等分布荷重が加わるものとする。支柱間隔を130cm、張り出し部を60cmとすると、丸太間隔40cmから

$$W = RB / 0.4 = 4.465 \text{ tf/m}$$

の等分布荷重となり、曲げモーメントの分布は図-4のようになる。

横木に加わる総荷重は

$$4.465 \times 3.8 = 17.0 \text{ tf}$$

最大曲げモーメントはM3となり

$$M3 = 4.465 \times 0.6^2 / 2 = 0.804 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

丸太直径を18cmとすると、曲げ応力は

$$\sigma = 32 \times 0.804 \times 10^5 / \pi / 18^3 = 140 \text{ kgf/cm}^2$$

したがって、1等材を用いれば積雪荷重用の許容応

力度 (149kgf/cm²) 以下となる。

● 支柱の設計

支柱間隔1.3mから、1本の支柱に加わる軸力は

$$P = (4.465 \times 1.3) / \cos 25 = 6.40 \text{ tf}$$

支柱の長さ $\ell = 230 \text{ cm}$ 、丸太直径16cmとすると

$$\text{細長比 } \lambda = 4 \times 230 / 16 = 57.5$$

$$\omega = 1 / (1 - 0.007 \times 57.5) = 1.674$$

から、圧縮応力は

$$\sigma = \omega \times 6400 \times 4 / \pi / 16^2 = 54 \text{ kgf/cm}^2$$

圧縮許容応力度については、木構造の長期許容応力度を採用すると60kgf/cm²となるので、支柱丸太の直径は16cmで問題ない。

● 基礎の設計

木製柵では耐用年数が限られているため、基礎部だけを、従来のコンクリート基礎を用いるのは工期、価格の点で望ましくないと考えられる。柵の改良によって、基礎部への積雪荷重負担も従来の鋼製柵に比べかなり低減されていることもあり、簡易な基礎方式を用いることとした。地盤の地耐力は通常の設計に用いられる値から10tf/m²とした。

支柱の軸力6.40tfから、支柱基礎コンクリート盤を80cm角とすると

$$6.40 / 0.8^2 = 10.0 \text{ tf/m}^2$$

となり、設計地耐力以下となる。コンクリート盤の厚さは15cmとし、9mm鉄筋をメッシュ状に配筋するものとする。

4. 引き抜き耐力の検討

柵への総荷重に対して柵の転倒を防ぐ力が基礎に求められてくる。基礎の反力は、柵への総荷重と支柱基礎反力、縦柵基礎反力の力、モーメントの釣合から得られる。計算の結果、縦柵1本当り622kgfの引き抜き力に抵抗する必要がある。

この丸太への引き抜き力に対して、簡易な基礎での抵抗を考えて、丸太および補助用のアングルの引き抜き試験を行った。

4.1 試験方法

試験条件は、引き抜き耐力に最も関与すると思われる設置深さとの関係を求めるために、深さ30cm、50cm、75cm、1mの4条件を設定した。アングル、丸太とも共通である。アングルについては打ち込みとしたが、丸太は施工状況を考えると埋め込みの可能

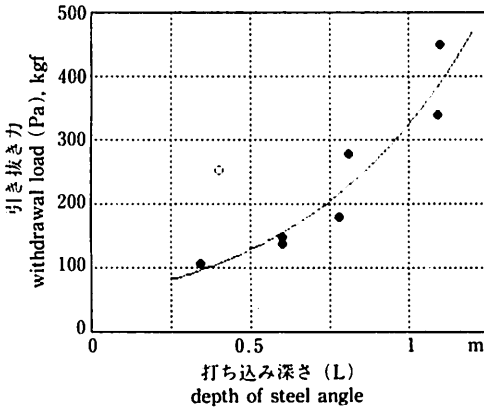


図-5 アンクル打ち込み深さと引き抜き力
Relationship of withdrawal load and depth of steel angle.

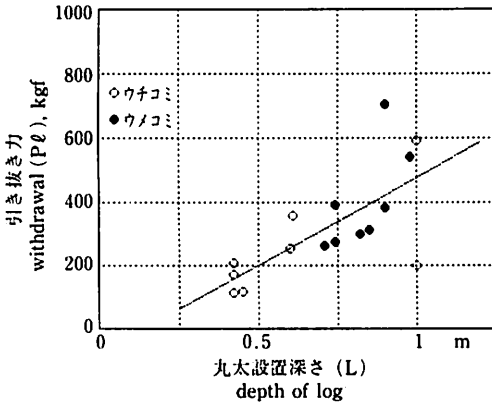


図-6 丸太設置深さと引き抜き力
Relationship of withdrawal load and depth of log.

性もあるため、比較的小径のものは打ち込み、他は埋め込みの2条件を追加した。使用したアンクルは60mm等辺アンクルである。いずれも同一試験条件につき2試料とし、場内で試験した。

測定は、所定の深さに設置された試料をロードセルを介してチルホールで上方に負荷し、得られた最大荷重を引き抜き力とした。

4.2 結果

アンクルの引き抜き結果を図-5に示した。引き抜き力 (Pa:kgf) と打ち込み深さ (L:m) の関係は、相関係数からみて片対数曲線の適合性が最も高く次式が得られた (傾斜して打ちこまれたアンクルの結果を除く)。

$$Pa = 51 \times e^{1.85L} \dots (1)$$

1mの打ち込みを予定すると、約300kgの引き抜き

耐力が期待できる。

丸太の引き抜き試験の結果を表-1、設置深さと引き抜き力の関係を図-6に示した。単位長さ当りの引き抜き力の計算にあたっては、杭先端部の長さを無視した。丸太直径と単位長さあたりの引き抜き耐力の関係は、打設条件では大まかにみて直径の増大と比例関係にある。しかし埋設条件では、ばらつきが大きくその関係は認められなかった。

子防柵の柵面の丸太は比較的直径が大きく埋設によるものと思われることから、設置深さと引き抜き耐力の関係で評価することとした。

丸太引き抜き力 (Pφ:kgf) と設置深さ (L:m) の関係は次式で与えられる。

表-1 丸太引き抜き試験結果
Results of withdrawal test of log.

	丸太直径	深さ	先端部長さ	引き抜き力	
	diameter of logs	depth	length of tip	withdrawal load	kgf/cm
	cm	cm	cm	kgf	kgf/cm
打設杭 driven piles	10.6	100	17	591.0	5.91
	11.8	100	16	199.5	2.00
	13.7	42	0	111.0	2.64
	14.9	42	20	169.0	4.02
	15.8	45	0	118.5	2.63
	16.0	60	22	254.0	4.23
	16.8	42	21	210.0	5.00
	17.6	61	23	360.0	4.29
埋設杭 backfilled piles	17.5	85	27	314.5	3.70
	17.6	90	20	703.5	7.82
	19.2	98	30	541.5	5.55
	20.0	90	25	383.5	4.26
	28.9	82	30	299.0	3.65
	31.2	74	35	393.0	5.31
	31.9	71	36	263.5	3.71
	34.0	74	30	273.5	3.70

$$Pl = -73 + 550L \dots (2)$$

この場合の1m設置における引き抜き抵抗力は約500kgとなる。

縦柵丸太にアングル1本を補助的に用いると、全体では約800kgfの引き抜き抵抗となる。設計での引き抜き力は600kgf程度であり、引き抜き力については基本的に長期荷重による影響は考える必要がないと思われるが、安全率2程度の考えをいれると、若干耐力不足とも思われる。この部分は基礎丸太の引き抜き抵抗力に期待することとした。

引き抜き耐力には土壤条件の影響があるものと考えられる。そこで、引き抜き耐力の確認のため、施工地でも試験を行った。ここでは、通常の鉛直方向(アングル、丸太)および斜面上に直角方向に1m埋め

込み(丸太)、さらに縦柵丸太に基礎横木(長さ40cm)を取り付けたものを設置した。試験体上方に足場パイプでやぐらを組み滑車を通して丸太軸方向に負荷した。試験体は、基礎横木を取り付けたもの(1体)を除いて各3体である。

結果ではアングルで平均145kgf、丸太鉛直タイプで平均200kgfであり、いずれも場内における試験結果からみると小さい。これは現場に埋設してから2カ月程度経過していたものの、冬季前の天候が不順の時期であったため、土壌が乾燥せず、やや泥状に近かったためと思われる。

斜面に垂直に施工された丸太は平均283kgfであり、鉛直タイプの50%増の結果となった。しかし、これに、アングルの引き抜き抵抗力を加えても428kgfに

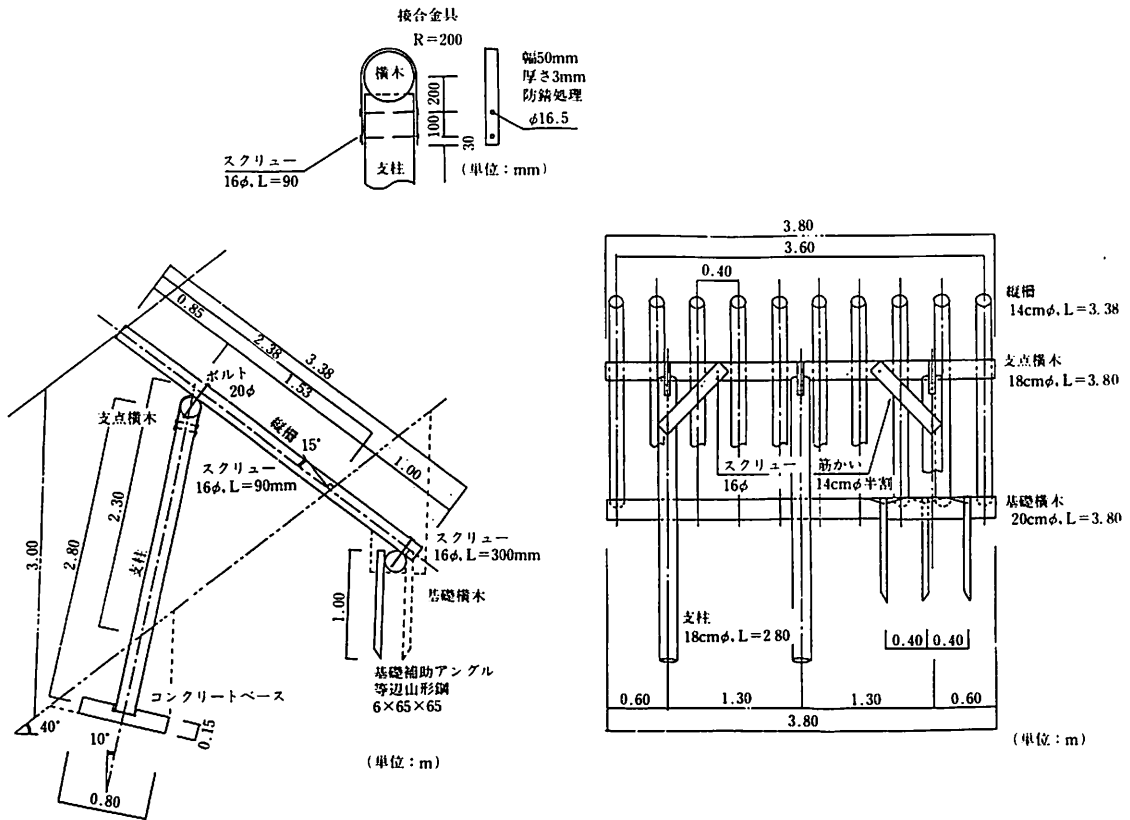


図-7 木製なだれ予防柵の概要
Detail of round-wood snow rake.

すぎず、引き抜き抵抗が不足している。

1体だけ行った基礎横木を縦柵に接合した試験体の引き抜き試験では800kgfまでの荷重が測定されたが、チルホルの荷重限界により中止した。この段階では全く動く様子は認められなかった。したがって、これにアングルの引き抜き力を加えれば約1tfの引き抜き力は確保できるものと思われる。設計引き抜き力の2倍(1244kgf)までは確認できなかったものの、余耐力が残されていることから問題は無いものと思われる。

5. 施工の状況

木製なだれ予防柵の概要を図-7に示した。現場には1基3.8mの柵を11基、2段に施工した。

作業工程に従い、施工の状況を写真2～9に示した。施工地は道路から近く、クレーンによる作業が可能のため、木部の加工処理や支柱と支点横木の接合、組立は現場近くの土場で行うこととした。

丸太に耐久性を付与するために、ナフテン酸銅溶液で防腐処理を行った。この薬剤はまだ工場での注入処理がなされていないため、簡易な浴槽を作製して土場で浸せき処理した。ナフテン酸銅溶液については10年程度の耐用年数があるといわれている⁸⁾。この薬剤は溶剤タイプであり丸太が生の状態では浸透しないため、丸太を約2週間程度天乾した。薬剤の目標付着量は材表面積 m^2 当り200gであるが、丸太の表面割れの影響もあり、約300g程度消費した。なお、防腐処理後の穴開け等の加工に際しては、切削面に

必ず防腐剤を塗布した。

接合金具は20cm直径用に設計したものの、元口付近では横木丸太を切り欠くことになり、より大きめに設計しておく必要があった。また、横木丸太と支柱とは金具を通して接続されているのみであり、固定されていないために丸太が回転するなど作業性の点で問題があり若干の改良の必要性が認められた。

施工現場では、斜面を掘削後、基礎丸太を設置しアングルで固定した。掘削面は岩盤に達していることが多く、アングルの打ち込みに削岩機で先穴をあける必要もあった。それでも、アングルの打ち込みが不十分な場合があるため、当初予定していたアングルと丸太の番線による接合は一部不可能となった。しかし、アングルはハの字状に打ち込まれているため、基礎丸太の引き抜きにはある程度の効果があると思われる。また、アングルは全般的に岩盤への打ち込みであり、引き抜き耐力は先の実験結果よりかなり大きいものと期待される。

支柱と接合された支点横木をクレーンで吊り上げ、角度調整しながら縦柵丸太に、カスガイで仮留めした。この後、ボルトで固定し、残りの縦柵丸太を取り付ける。縦柵丸太と基礎丸太は12mm ϕ のラグスクリューで固定した。

固定後、土砂で埋め戻した。この場合、急斜面ということもあり、基礎設置のために掘削した土砂の一時的な保管場所の問題が生じた。今回はクレーンを使用してきたため、土砂を斜面下部に集め、柵施工後に土砂を再び上部に運ぶことができたが、通常の

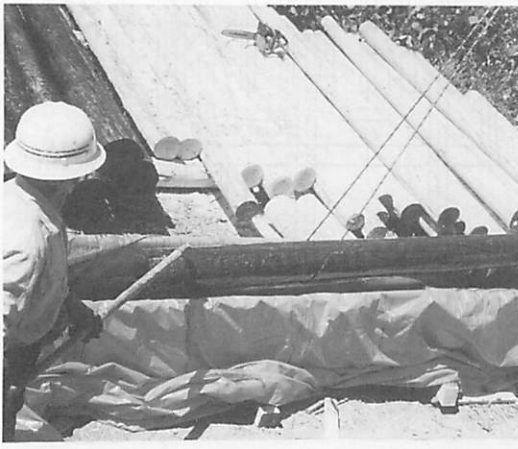


写真2 丸太の防腐処理
Preservative treatment of logs.



写真3 土場での組立て
Fastening of stud and arm.



写真4 掘削状況
Foundation work.



写真5 基礎丸太の固定
Base log fixed by steel angles.



写真6 縦柵丸太の取り付け
Fabrication.



写真7 埋め戻し
Backfill.



写真8 木製なだれ予防柵
Wooden snow rake.



写真9 冬季積雪状況
Condition of wooden snow rake in winter.

山間部では、土砂の一時保管場所を検討しておく必要がある。

半割り丸太の筋違いをとりつけて完成した。なお、木製柵では植栽木の成長が前提であるため柵間には、積雪の移動を軽減し植栽木の成育を助けるために、グライド防止杭を設置した。

6. 木製予防柵の材料費，工事費

表2，3に木製予防柵の材料費さらに鋼製予防柵との工事費比較を示した。使用したスギ丸太は予防柵1基あたり18本で11基施工で約200本，グライド防止杭に間伐材100本の合計300本の中小径スギ丸太が用いられた。

木製予防柵の材料費総額は75,000円であり，スギ丸太がその約55%を占めている。見積りの丸太単価は m^3 あたり31,000円であり，剥皮を行うとしても現状の間伐材価格からみて，間伐の促進にとっても十分な価格と思われる。

従来の鋼製予防柵と直接工事費（現場工事に直接

必要な一般的工事費であり，現地への運搬や施工地によって特に必要な費用，諸費等は含まない）を比較すると，1基当り木製柵は162,000円，鋼製柵は486,000円となる。しかし鋼製柵では1基5mでかつ2m間隔で断続配置をとるため，木製柵の7mに相当する。したがって，柵長1m当りに換算すると鋼製69,500円，木製42,700円となり，鋼製柵の61%程度の工事費となる。植栽木育成のためのグライド防止工を付加しても柵1mあたり5,000円が増すに過ぎず，木製予防柵の価格上の優位は変わらない。

また，単純な価格差に加えて木製予防柵の工事費に占める材料費の割合が46%，対して鋼製では73%という違いも大きな利点となる。これは木製予防柵が製作に人手を要することを意味しているが，同時に施工地域に投入される金額が多いことを示している。すなわち鋼製では工事費の73%が鋼材，セメントの納入にあてられ，施工地域には27%が投入されるのにすぎない。しかし，木製柵では労賃等として工事費の54%，材料費の中のスギ材を加えれば，実

表-2 木製なだれ予防柵材料費
Material cost of round-wood snow rake

材 料 material		数 量 quantity	単 価 unit cost	価 格 value
丸 太 logs				
縦柵 rake	14cm ϕ 3.8m	10本		
支柱 stud	18cm ϕ 3.0m	3 "		
基礎 tie	20cm ϕ 3.8m	1 "		
横木 arm	18cm ϕ 3.8m	1 "		
筋違い brace	14cm ϕ 3.0m	0.3 "		
小 計		1.32m ³	31,000	40,920円
金 物 metal				
接合金物 metal fastener		3個	2,000	6,000
ボルト bolt	M 19, 450 mm	10 "	520	5,200
座金 washer	M20, t=3.2	20 "	22.3	446
スクリー lag screw	16mm ϕ 90mm	12 "	210	2,520
	16mm ϕ 150mm	4 "	310	1,240
	12mm ϕ 300mm	10 "	120	1,200
座金 washer	M12, t=2.3	10 "	4.5	45
	M16, t=3.2	4 "	10	40
番線 wire	8# (d=4mm)	2.13kg	85	181
小 計				16,872円
防腐剤 preservative		9 ℓ	1,333	12,000
コンクリート concrete		0.16m ³	12,760	2,041
アングル steel angle		9	318	2,862
			総計	74,695円

表-3 鋼製予防柵との直接工事費比較
Direct construction cost of steel snow bridge and round-wood snow rake.

(単位:円)

	鋼製柵 (5 m)		木製柵 (3.8m)	
	steel snow bridge		round-wood snow rake	
	工事費	材料費	工事費	材料費
	works cost	material cost	works cost	material cost
組立 fabrication	335,000	290,000	140,000	75,000
コンクリート concrete	111,000	63,000		
型枠 forms	23,000			
掘削, 埋戻し cutting, backfilling	17,000		22,000	
合計 sum	486,000	353,000	162,000	75,000
材料費比率 percentage of material cost		73%		46%
1 m当り工事費 works cost / 1 m	69,500 ¹⁾		42,700 (61%)	

¹⁾ 断続配置のため柵間隔 2 m を付加して柵長を 7 m とした
Length of steel snow bridge : 7m (added installation spacing)

に直接工事費の約80%が施工地域に投入され、山村地域の振興にとっても大きな効果をもたらすものと期待される。

7. おわりに

木製なだれ予防柵を設計し、施工した。従来の鋼製柵に比べて地山を損傷せず低価格であり、工事価格の大半が施工地域に投入される等の利点も認められた。当初目的としたスギ中小径材の需要開発による間伐の促進に加えて、山村地域の振興にも役立つものと思われる。また、掘削土砂を埋め戻すまでの保管場所の確保、あるいは作業性の面から基礎部、接合部の設計に若干の改良を加える必要も明らかになった。

木製予防柵を普及していくためには植栽木の成長と柵の劣化との時間的關係を実証していくことが重要である。今回の成果も10年程度は経過しなければ、最終的な結論は得られないであろう。しかし、今後とも、いくつかの施工事例を通して積極的にデータを蓄積していくことが必要と思われる。

木製なだれ予防柵の実現に努力していただいた富

山県治山課各位、工事を担当した富山県平村宮本建設山本氏に厚く謝意を表します。

文 献

- 1) 長野県林務部：中小径木利用工種設計事例集、長野県、1-77 (1989)
- 2) 北海道林務部治山課：木で山をまもる、社団法人北海道治山協会、1-95 (1991)
- 3) 製材の日本農林規格：昭和47年農林省告示第1892号
- 4) 素材の日本農林規格：昭和42年農林省告示第1841号
- 5) NZS 3603, Code of practice for timber design, (1990)
- 6) 日本建設機械化協会：新防雪ハンドブック、森北出版、403-413 (1983)
- 7) USDA Forest Service, Avalanche Protection In Switzerland, General Technical Report RM9, 74-94 (1975)