

雪崩対策施設（発生区対策工）の適用範囲に関する調査

石井太一*1、矢部尚哉*1、金子則夫*1、下村忠一*1、和泉薫*1、上石勲*1

1. はじめに

我が国は、国土の大半が急峻な山岳地帯であり、豪雪地帯では、雪崩災害が頻発している。「防雪工学ハンドブック」は、昭和38年に北陸地方で発生した豪雪災害を契機に、昭和43年に防雪工学に関する書籍として初めて発刊されたものである。その後、防雪技術の進化に対応しながら、昭和52年に「新防雪工学ハンドブック」、昭和63年に「新編防雪工学ハンドブック」、平成16年に「2005除雪・防雪工学ハンドブック」の改訂版が発刊されている。

現在、我が国における雪崩対策施設の選定は、「2005除雪・防雪工学ハンドブック」（以降、ハンドブックと表す）を参考とし、現場条件に応じた最適な施設を選定することが多い。雪崩対策施設は、雪崩が発生する恐れのある斜面を発生区・走路・堆積区の3区間に分け、発生区は、雪崩の発生を予防する施設（雪崩予防工）を設置し、走路および堆積区では、雪崩による危険から保全対象を防護する施設（雪崩防護工）を設置するものとしている¹⁾。表1

に、ハンドブックに記載されている発生区の施設選定表を示す。選定表の凡例は、対策工の種類と要因によって、採用できる（○）、やや問題あり（△）、不適當である（×）に分けられる。ハンドブックは、最新の改訂版が発刊されてから約15年が経過しており、その間、各研究機関やメーカーでは、雪崩対策施設に関する様々な研究や、技術開発

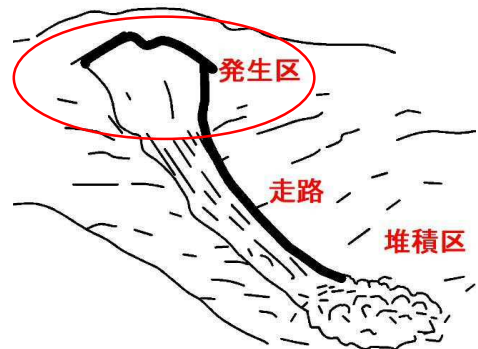


図1 雪崩発生斜面の概要¹⁾

表1 発生区の施設選定表¹⁾を体裁修正

要因	対策工		雪崩予防工						備考
	防止林	階段工	予防杭	予防柵	吊枠	吊柵	スノーネット		
雪崩の種類	全層	○	○	○	○	○	○	○	表層雪崩は、積雪の上部の層がすべり出すため対策工は限られる
	表層	×	×	×	○	×	○	○	
積雪深	1~4m	○	○	○	○	○	○	○	予防杭、吊枠は埋雪しても全層雪崩に効果がある。6m以上では、道路などの場合、スノーシェッドを用いるか、トンネルを採用する必要がある。
	4~6m	×	×	○	○	○	△	△	
	6m以上	×	×	×	×	×	×	×	
斜面勾配	20°以下	○	○	○	○	△	△	△	50度(8分)以上の斜面ではコンクリート基礎を設けるのが困難である。予防杭、吊枠などは勾配が急な場合、効果が減少する。予防柵などの設置の最下列は30度以下になる所まで設けるのが原則である。
	20~30°	○	○	○	○	○	○	○	
	30~40°	○	○	○	○	○	○	○	
	40~50°	×	△	△	○	△	○	○	
	50°以上	×	×	×	△	×	○	○	
地形	凹凸大	×	×	○	○	○	×	○	凹凸とは流水によって刻まれた溝や転石などの突起を指している。沢地形の所は積雪量が多くなるので強固な構造とする必要がある。
	沢地形	△	△	○	○	○	○	○	
	均一地形	○	○	○	○	○	○	○	
斜面長	15~50m	○	○	○	○	○	○	○	階段工や予防柵を施工する場合、通常設置間隔は15m程度が多い。吊枠、吊柵は1列のアンカーから2~3段が多い。
	50~100m	○	○	○	○	○	○	○	
	100~200m	○	○	×	○	×	×	○	
	200m以上	○	×	×	○	×	×	○	
土質	土	○	○	○	○	○	○	△	予防杭、予防柵は支持地盤の深い所は一般に適さないが1m以上の深い所では、根かせ式の基礎により設置できる。地すべり地では斜面に基礎が設置できない吊枠が吊柵になる。
	軟岩	×	○	○	○	○	○	○	
	硬岩	×	×	○	○	○	○	○	
	地すべり	○	×	×	×	×	○	×	
摘要	<p>1. 造林は通常階段上に植えるので、階段工が役立つ4m以下の積雪地 2. 樹木は成育が遅いので、その間、他の予防工の併用が必要となることがある。 3. 恒久対策として最も望ましい。</p> <p>1. 斜面勾配約30°~40°の斜面 2. 容易に掘削できる軟岩程度 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深3~4m程度以下 5. 秋には階段の土砂の堆積を取り除く。</p> <p>1. 斜面勾配40°以下 2. 容易に掘削できる程度の基盤 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深3~4m程度の以下 5. 凹凸の大きい地形では、予防杭、予防柵が適しているが予防柵は、干鳥設置または断続設置とする</p> <p>1. 斜面勾配約55°以下 2. 容易に掘削できる程度の基盤 3. 全層、表層雪崩の予防 4. 積雪深5~6m程度以下 5. 吊枠、吊柵は3段を超えるるとワイヤーロープの径が太くなり現場加工が困難になる</p> <p>1. 斜面勾配が急か土質状態が悪く強固な基礎に不適当な斜面 2. 全層雪崩の予防 3. 積雪深5~6m程度以下 4. 基礎、アンカーに留意</p> <p>1. 同左 2. 全層、表層雪崩の予防 3. 柵高を積雪深と同じにするので、4m以上は不適当 4. 基礎、アンカーに留意</p> <p>1. 急斜面、岩盤に適している 2. 全層、表層雪崩の予防 3. アンカーに留意 4. ある程度の落石にも対応可能</p> <p>凡例 ○：採用できる △：やや問題あり ×：不適當である</p>								

*1 特定非営利活動法人なだれ防災技術フォーラム

が行われていることから、雪崩対策位置の現場条件から、ハンドブックの選定表で△や×が選定される場合であっても、設計・施工実績がある工種も見受けられる。これより、著者らは今後の雪崩対策施設の設計における現場条件に応じた施設選定を、より現状に即したものにすることが必要だと考え、調査を行った。

本論文は、このような実情を踏まえ、発生区の施設選定表に記載されている工種（防止林・階段工・予防杭・予防柵・吊柵・吊柵・スノーネット）に着目し、最新の実績調査を行った結果を示した。なお、防止林は、近年の施工実績が減少傾向にあり、関連する情報が少ないため、調査対象からは除外した。

2. 調査方法

調査は、表1に示す各工種や要因毎に、最新の設計実績、施工実績、研究実績の有無について関連企業へのヒアリングと実績調査を行ったものである。

3. 調査結果

3.1 階段工

(a) 概要

階段工は、山肌に切り取りの階段を設け、斜面積雪の支持力を上げるだけでなく、斜面を短い間隔で区切り、積雪の移動を少なくすることで、全層雪崩の発生を防止する工法である。

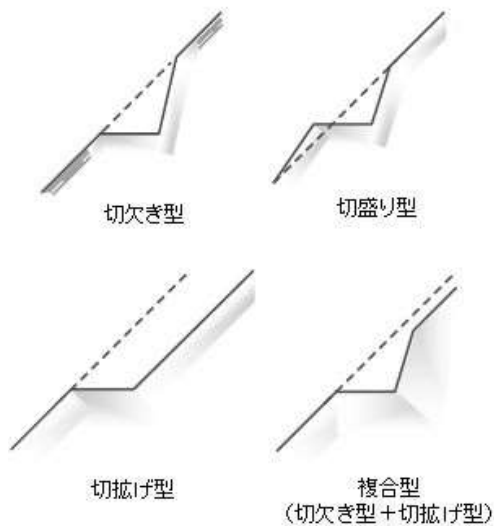


図2 階段工の概要¹⁾

(b) 積雪深

階段工は、ハンドブックの適用表で、設計積雪深4mを超える箇所で不相当である（×）となっているものの、豪雪地帯である新潟県では、図3に示すように設計積雪深4m以上の場所で施工事例がある。本施工地は、設計積雪深6mとしたうえで、ハンドブックに示された設計方法

に沿って小段の幅を5mとしており、施工後から現在に至るまで、冬季の雪崩予防効果が確認されている。

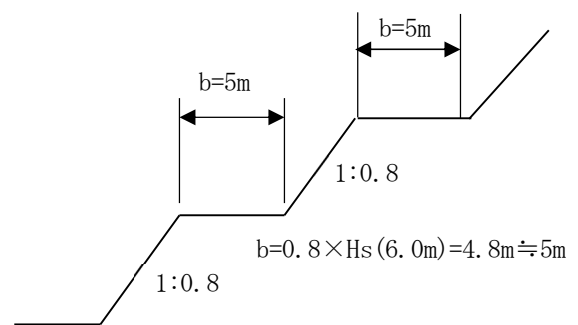


図3 設計積雪深6mの防雪小段

3.2 予防杭

(a) 概要

予防杭は、1本杭、2本杭、3本杭の構造があり、斜面積雪のグライドを抑制することで、全層雪崩の発生を防止する工法である。



図4 雪崩予防杭の概要¹⁾

(b) 杭高

予防杭は、ハンドブックに示される設計法で、杭高を設計積雪深の約70～80%とすることが妥当とされているものの、近年の研究開発では、1.0mの杭高でも全層雪崩の予防効果を有することを確認した事例がある。²⁾

(c) 斜面勾配

予防杭は、ハンドブックの適用表で、斜面勾配40°～50°でやや問題あり(△)、斜面勾配50°超で不適当である(×)とされているものの、図5～図7に示すように、斜面勾配45°～55°の斜面で全層雪崩予防効果を確認した事例がある。^{2),3)}

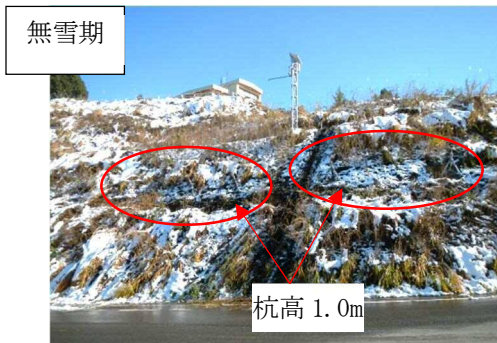


図5 雪崩予防杭の効果検証事例(斜面勾配45°)



図6 雪崩予防杭の効果検証事例(斜面勾配50°)



図7 雪崩予防杭の効果検証事例(斜面勾配55°)

3.3 予防柵

(a) 概要

予防柵は、斜面に対し概ね直角に柵状の構造物を設置することで、斜面積雪のクリープとグライドを阻止し、表層雪崩と全層雪崩の発生を防止する工法である。一般的な構造は、図8、図9に示すように、上部は鋼材(主柱・支柱・バー)を組み合わせ、下部はコンクリート基礎としたものである。

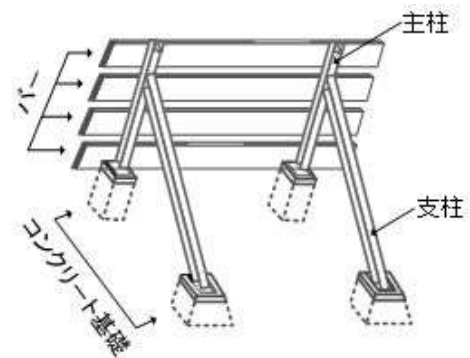


図8 一般的な雪崩予防柵(単独基礎)¹⁾

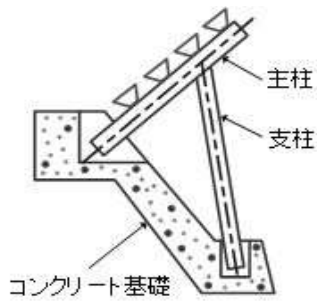


図9 一般的な雪崩予防柵（連続基礎）¹⁾

(b)積雪深

雪崩予防柵は、ハンドブックの適用表で、設計積雪深6m以上の箇所で不適当である（×）となっているものの、豪雪地帯である新潟県では、図10、図11に示すように最大設計積雪深12mの場所で施工事例があることが分かった。本施工地は、施工後から現在に至るまで、冬季の雪崩予防効果が確認されている。



図10 設計積雪深12mに対応した雪崩予防柵



図11 設計積雪深10mに対応した雪崩予防柵

(c)土質地質

雪崩予防柵は、ハンドブックの適用表で、地すべり地での施工は不適当である（×）とされているものの、グラウンドアンカーを用いた施工事例がある。



図12 アンカー基礎タイプの雪崩予防柵

3.4 吊柱

(a)概要

吊柱は、斜面に沿ってロープで吊り下げた三角錐状の柱組により、全層雪崩の発生を防止する工法である。コンクリート基礎施工を不要とし、急峻な地形や斜面の土質条件が悪い施工困難な斜面でも設置可能である。

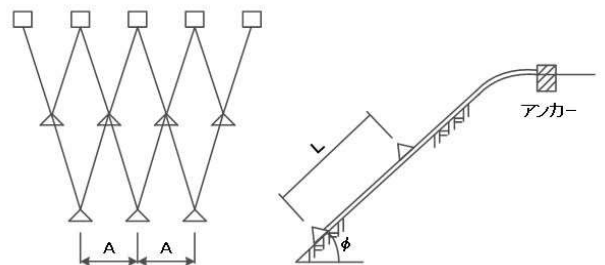


図13 吊柱の概要¹⁾

(b)斜面長

吊柱のアンカーは、従来、法肩にアンカー設置をする仕様であったため、設置段数が3段を超えるような現場では、ワイヤロープ径が大きくなり現場加工が困難となっていた。近年では、新たなアンカー技術開発により、現場条件に応じたアンカー選定が可能となり、斜面長が長い

現場条件でも施工が可能となっている。



図14 多段に設置された吊柵



図16 多段に設置された吊柵

3.5 吊柵

(a) 概要

吊柵は、雪崩予防柵と同じ役割を有しており、コンクリート基礎施工を不要とし、急峻な地形や斜面の土質条件が悪い施工困難な斜面に設けられる。柵本体をワイヤロープにより吊る構造が特長である。

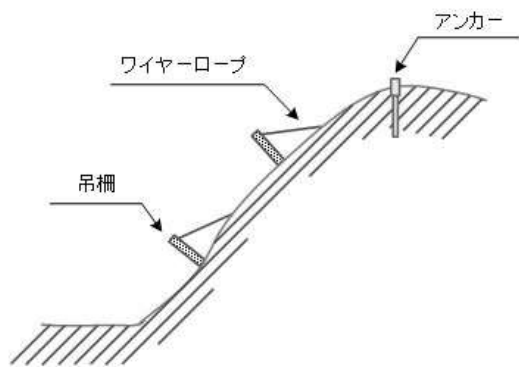


図15 吊柵の概要¹⁾

(b) 斜面長

吊柵のアンカーは、吊柵のアンカーと同じ仕様であり、近年では、新たなアンカー技術開発により、現場条件に応じたアンカー選定が可能となり、斜面長が長い現場条件でも施工が可能となっている。

(c) 地形の凹凸への適用例

近年の技術開発によって、柵構造の改良や支柱配置のバリエーションを増やすことで、凹凸の多い斜面への設置が可能となり、施工実績もある。



図17 凹凸斜面に設置された吊柵

3.6 スノーネット

(a) 概要

スノーネットは、雪崩予防柵と同じ役割を有しており、支持面がワイヤロープを用いた柔なネット構造であることが特長であり、落石に対しても有効な構造である。

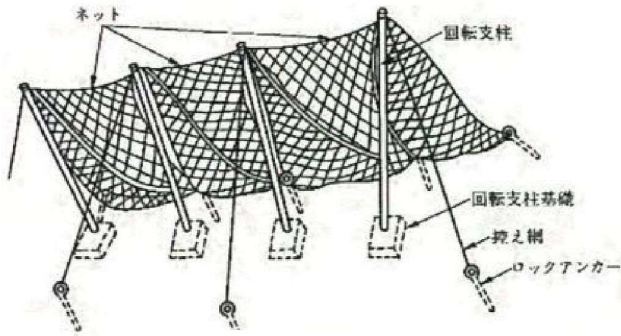


図18 スノーネットの概要¹⁾

(b) 土質地質

基礎のアンカーは、これまでPC鋼棒やケミカルアンカーを使用していたため、選定表では、支持層が深い場所などで、施工性や経済性の面から適さないとされていた。現在は、技術開発によって、アンカー基礎に屈曲性に富んだワイヤロープアンカーを用いる工法があり、軟弱地盤など、支持層が深い場合でもスノーネットの施工事例がある。



図19 ワイヤロープアンカー

(c) 積雪深

スノーネットは、ハンドブック出版時では施工実績が多くなく、積雪深の適用範囲は、4mを超える箇所では信頼性の観点から△（やや問題あり）とされていた。しかしながら、今回の調査で、ワイヤロープアンカーを用いたスノーネットで設計積雪深が4mを超える施工実績は、260件程度であった。設計積雪深が6mを超えるスノーネットの施工実績はなかった。



図20 設計積雪深4m超のスノーネット

4. まとめ

本調査では、発生区の施設選定表に記載されている工種（階段工・予防杭・予防柵・吊枠・吊柵・スノーネット）に着目して実績調査を行い、次のことが分かった。

1. 階段工は、豪雪地帯である新潟県では、設計積雪深4mを超える場所で施工事例があり、施工後から現在に至るまで、冬季の雪崩予防効果が確認されている。
2. 予防杭は、1.0mの杭高で、全層雪崩の予防効果を有することを確認した事例がある。また、斜面勾配45°、50°、55°の斜面で、雪崩予防効果が確認した事例もある。
3. 雪崩予防柵は、最大設計積雪深12mの場所で施工事例があり、施工後から現在に至るまで、冬季の雪崩予防効果が確認されている。地すべり地では、グラウンドアンカーを用いた施工事例がある。
4. 吊枠と吊柵のアンカーは、従来、法肩にアンカー設置をする仕様であったため、斜面長が長い場合、ロープ径が大きくなり、現場加工が困難となっていた。近年では、アンカーの技術開発により、現場に合ったアンカー選定が可能となり、斜面長が長い現場でも施工が可能となっている。
5. 吊柵は、近年の技術開発により、柵構造の改良や支柱配置のバリエーションを増やすことで、凹凸の多い斜面への設置が可能となり、施工実績もある。
6. スノーネットのアンカーは、従来、PC鋼棒やケミカルアンカーを使用しており、支持層が深い場所などで、施工性や経済性で適さないとされていたものの、屈曲性に富んだワイヤロープアンカーを用いることで、施工が可能である。また、同アンカーを使用したスノーネットで設計積雪深4mを超える施工実績は増加しており、260件程度が確認されている。

今後は、走路や堆積区の施設選定表に記載されている工種にも着目した調査を実施していきたいと考えている。

参考文献

- 1) (社) 日本建設機械化協会, (社) 雪センター: 2005 除雪・防雪ハンドブック (防雪編), 2005.
- 2) 西田陽一, 橋立広隆, 上石勲, 和泉薫, 下村忠一: 雪崩予防杭の斜面雪圧特性に関する研究, 第25回ゆきみらい研究発表会, 2013.
- 3) 西田陽一, 橋立広隆: 雪崩予防杭を用いた応急雪崩対策事例と斜面積雪のモニタリングについて, 第30回日本道路会議, 2013.