

雪崩対策施設の健全性指標に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 1

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：秋山一弥、野坂隆幸

【要旨】

損傷等のある雪崩対策施設に対して、客観的かつ効果的な対策や対処方法の選定を行うためには、雪崩対策施設の損傷等の区分や、施設の健全度を評価する指標を整理することが重要である。本研究では、関連資料の収集・整理や現地点検を実施し、損傷等の区分や施設の健全性評価を行うための健全性指標について検討を行った。検討の結果から、雪崩対策施設の損傷等の区分や施設の健全性指標、周辺状況等を考慮した対策の優先度の検討基準に関する考え方および対策の優先度の検討基準を提案した。

キーワード：雪崩対策施設、維持管理、点検、部位の変状レベル、健全度評価

1. はじめに

将来にわたり人口減少・少子高齢化による厳しい財政が想定される我が国において、既存インフラの長寿命化は喫緊の課題である。雪崩対策施設については、集落保全を主目的とする雪崩対策事業が昭和 60 年（1985 年）度に創設されてから 30 年以上が経過し、損傷や鋼材の腐食、基礎の侵食等による施設の劣化等が散見されている。

雪崩対策施設を適切に維持管理し、長寿命化を図るための取り組みとして、砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)¹⁾及び砂防関係施設点検要領(案)²⁾が作成されている。この要領(案)²⁾では、砂防関係施設の点検における施設の健全度評価の考え方や留意点が整理され、施設ごとに、さらには施設の部位ごとに事例を提示することで、施設の変状レベルと健全度を対応させている。しかし、雪崩対策施設（要領(案)²⁾では、雪崩防止施設と表記）については、急傾斜地崩壊防止施設に準じて適切に取り扱うこととなっており、雪崩対策施設の点検における具体的な留意点や事例は示されていない。

そこで、雪崩・地すべり研究センターでは、雪崩対策施設の点検結果に基づいて、客観的かつ効果的な対策や対処方法の選定が可能になるように、雪崩対策施設の損傷等の程度を区分して施設の健全性指標を提案することを目的として研究を行った。

本報告では、はじめに雪崩対策施設の種類や部位、部材ごとに損傷等の程度を区分し、変状レベルの判断について整理した結果^{3),4)}を報告する。次に、整理結果を踏まえて雪崩対策施設として予防柵を対象に現地点検を実施し、施設の健全度評価の考え方について検討

した結果^{4),5)}を報告する。

2. 損傷等の区分と変状レベルの判断

2.1 概要

雪崩対策施設の修繕等の対策を行う際には、点検によって対策施設の部位の損傷等の状態を把握し、その状態や程度に応じて施設の健全度を評価する必要がある。先行研究である雪崩対策施設の管理技術の向上に関する研究⁶⁾では、雪崩対策施設の種類及び部位ごとに着目すべき損傷等とその要因となる現象が整理されている。

本研究では、この研究結果を進展させて、施設の種類や部位、部材ごとに損傷等の程度を区分する方法を検討し、変状レベルの判断について整理を行った^{3),4)}。

2.2 研究方法

次の（１）に示す雪崩対策施設を対象として、（２）に示す資料を参考に施設の種類や部位、部材ごとに損傷等の区分を整理したうえで、損傷等による施設の部位・材の変状レベルの判断について検討を行った。

（１）対象とする雪崩対策施設

・雪崩予防施設（発生区対策）

予防柵、吊柵、スノーネット、吊枠、予防杭

・雪崩防護施設（走路・堆積区対策）

減勢柵、減勢杭、誘導擁壁、防護柵、防護擁壁

（２）収集資料

・国内の雪崩対策施設の損傷事例（アンケート⁷⁾、独自調査）

・国内外の雪崩対策施設の点検に関する資料^{1),2),8)-12)}

・施設部位の損傷等による変状レベルと施設の健全度評価に関する資料¹³⁾⁻¹⁹⁾

上記の(2)に示す収集資料を整理した結果、同じ事象に対する用語に若干の違いがみられたため、本報告で用いる用語は基本的に「砂防関係施設点検要領(案)²⁾」に準じることとした。主な用語の定義を表-1に示す。

表-1 主な用語の定義²⁾

用語	用語の説明
機能	砂防関係施設(雪崩対策施設)が土砂(雪崩)災害防止のために、有すべき施設の働きのこと。
性能	砂防関係施設(雪崩対策施設)が機能を発揮するために必要となる、構造上保持すべき強度、安定性等のこと。
施設の健全度評価	定期点検及び必要に応じて実施する詳細点検等の結果に基づき、個々の砂防関係施設(雪崩対策施設)の構造や材料の特性を踏まえた上で、機能の低下、性能の劣化状況および施設周辺の状況を把握し、その程度に応じて、砂防関係施設(雪崩対策施設)の健全性を評価することをいう。
部位の変状レベル	砂防関係施設(雪崩対策施設)の点検対象とする、施設の各部位の変状の程度をいう。
劣化	時間の経過に伴って進行する部材や材料の性能低下のこと。
損傷	劣化以外の原因により生じた部材や材料の性能低下のこと。

なお、本報告では「劣化」と「損傷」を合わせて表現する場合は、「損傷等」とした。

2. 3 研究結果

2. 3. 1 部位・部材ごとの損傷

各施設の部位ごとの損傷等を整理したところ、柵構造の箇所、基礎、ワイヤーやアンカーなど、各施設で類似する部位では共通する損傷等やその要因が存在したことから、損傷等を部材ごと(鋼構造部、コンクリート構造部)、および部位ごと(基礎構造部、結合部、全体)に分類して、図-1のとおり損傷等の種類を整理した^{3),4)}。

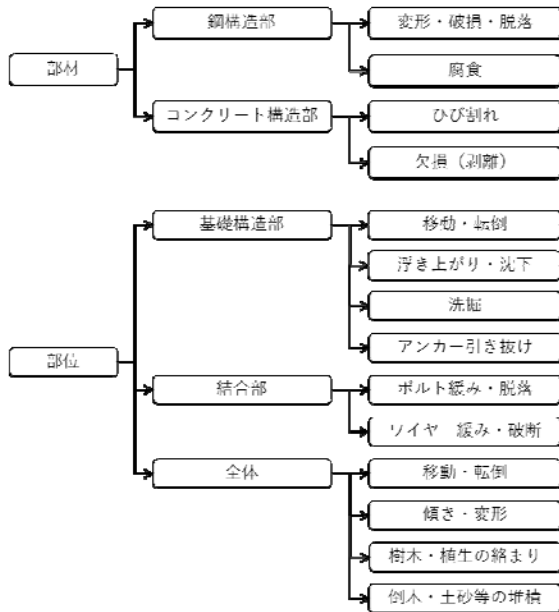


図-1 部材と部位で分類した損傷等の種類^{3),4)}

2. 3. 2 変状レベルの判断

「砂防関係施設点検要領(案)²⁾」では、表-2に示すa、b、cの3段階で部位の変状レベルを区分し、施設

周辺の状況も踏まえた上で施設の健全度が評価されている。

表-2 部位の変状レベルと施設の健全度²⁾

変状レベル	損傷等の程度
a	当該部位に損傷等は発生していないもしくは軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該部位の性能の低下が認められず、対策の必要がない状態
b	当該部位に損傷が発生しているが、問題となる性能の低下が生じていない。現状では早急に対策を講じる必要はないが、今後の損傷等の進行を確認するため、定期巡視点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態
c	当該部位に損傷等が発生しており、損傷に伴い、当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態

健全度	損傷等の程度
A 対策不要	当該施設に損傷等は発生していないか、軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該施設の機能及び性能の低下が認められず、対策の必要がない状態
B 経過観察	当該施設に損傷等が発生しているが、問題となる機能及び性能の低下が生じていない。現状では早急に対策を講じる必要はないが、将来対策を必要とするおそれがあるので、定期点検や臨時点検等により、経過を観察する。または、予防保全の観点より対策が必要である状態
C 要対策	当該施設に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該施設の機能低下が生じている、あるいは当該施設の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態

施設の維持管理のための点検に関する他の資料では、多数が変状レベルを4段階以上に分類されていた^{8)~13),16)~20)}。このため、本報告では砂防関係施設点検要領(案)²⁾を基本としつつ、部位の機能低下や性能劣化が著しい場合があることを想定し、変状レベルcをcとc⁺の2つに細分化した。また、変状レベルの各段階の状態を分かりやすく表現するため、変状レベルの表記を「a対策不要」「b経過観察」「c要対策」「c⁺要対策(早急に)」の4区分とした。

以上から、本報告では部位の変状レベルを表-3、部位の変状レベルの判断に関するフローを図-2に、図-1で分類した損傷等の種類ごとに、該当すると考えられる変状レベルの区分を表-4のとおり提案した。

表-3 部位の変状レベル(案)

変状レベル	損傷等の程度
a 対策不要	当該部位に損傷等が発生していないか、軽微な損傷が発生しているものの、当該部位の性能の劣化が認められず、 対策の必要がない状態 をいう。
b 経過観察	当該部位に損傷等が発生しているものの、現状では対策を講じる必要はないが、今後の損傷等の進行を確認するため、定期点検や臨時点検等により、 経過を観察する必要がある状態 をいう。
c 要対策	当該部位に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該部位の 性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態 をいう。
c ⁺ 要対策(早急に)	当該部位に 顕著な損傷等 が発生しており、当該部位の 性能上の安定性や強度の著しい低下 がある状態をいう。

なお、基礎構造部の「移動・転倒」や「浮き上がり、沈下」、「アンカー引き抜け」、結合部の「ボルトの緩み・脱落」、「ワイヤー緩み、破断」、施設全体の「移動、

転倒、「傾き、変形」については、これらの損傷等が生じた場合、施設の機能や性能に大きな影響を及ぼすため、「b 経過観察」の区分を省略した。

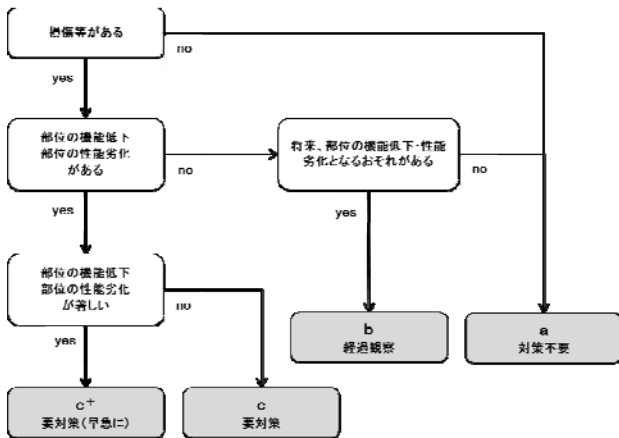


図-2 部位の変状レベル判断に関するフロー(案)^{3),4)}

表-4 損傷等の種類と部位の変状レベル

部材・部位	着目すべき損傷等	部位の変状レベル			備考	
		a 対策不要	b 経過観察	c 要対策 または c+ 要対策(早急)		
部材	鋼構造部	変形、破損、脱落	●	●	●	
		腐食	●	●	●	要対策は、状況により細区分
	コンクリート構造部	ひび割れ	●	●	●	要対策は、状況により細区分
		欠損	●	●	●	
部位	基礎構造部	移動、転倒	●	—	●	
		浮き上がり、沈下	●	—	●	
		洗掘	●	●	●	
		アンカー引き抜け	●	—	●	
	結合部	ボルトの緩み、脱落	●	—	●	
	ワイヤー緩み、破断	●	—	●		
全体	移動、転倒	●	—	●		
	傾き、変形	●	—	●		
	樹木・植生の絡まり	●	●	●	施設の種類による	
	倒木・土砂等の堆積	●	●	●	施設の種類による	

次に、損傷等のうち「変形」、「破損」、「洗掘」、「ボルトの緩み」「ワイヤー緩み・破断」による部位の変状レベルの区分と損傷等の一般的状況については、既存資料を参考として表-5～表-9 として整理を行った(8),11)~14),20),21)。

表-5 変形による変状レベルと一般的状況(案)

変状レベル	一般的状況
a	変形がない。
b	小さな変形がある。 (例: 予防柵の水平材の中央付近に変形)
c	部材が(局部的に)変形している。 (例: 変形・湾曲が部材の厚さ以上に達している)
c+	部材が著しく変形、または折れ曲がっている。 または重要部位に著しい変形が生じている。 (例: 支柱や主柱に変形が生じている)

表-6 破損による変状レベルと一般的状況(案)

変状レベル	一般的状況
a	部位・部材の亀裂や破断がない。
b	亀裂を生じているが、線状ではない。線状であってもその長さが極めて短く、数も少ない。(断面急変部、溶接接合部などに)塗膜割れがある。
c	線状の亀裂が生じている。または直下に亀裂が生じている疑いを否定できない塗膜割れを生じている。
c+	部材が破断している。

表-7 洗掘の変状レベルと一般的状況(案)

変状レベル	一般的状況
a	損傷なし。
b	基礎が洗掘されているが、浅く局所的である。
c	基礎が流水のため洗掘されている。
c+	基礎が流水のため著しく洗掘されている。

表-8 ボルト緩みの変状レベルと一般的状況(案)

変状レベル	一般的状況
a	ボルトの緩みや脱落がない。
c	・ボルトの緩みや脱落が生じているが、その数や割合が少ない。 (例: 一群あたり本数の5%未満である)
c+	・ボルトの緩みや脱落が生じており、その数や割合が多い。 (例: 1点または2点で固定してあるボルトに緩みや脱落) (例: 一群あたり本数の5%以上である) ・重要箇所のボルトの緩みや脱落が生じている。 (例: 支柱と主柱やワイヤロープ結合部のボルトの緩みや脱落)

表-9 ワイヤー緩み、破断による変状レベルと一般的状況(案)

変状レベル	一般的状況
a	異常なし、ワイヤロープ先端の開き
c	・ワイヤロープよりの間において素線数10%以下の素線切れ ・ワイヤクリップからの抜け出しによる緩み
c+	・ワイヤロープよりの間において素線数10%以上の素線切れ

なお、表-4に示す損傷等のうち、「樹木・植生の絡まり」、「倒木・土砂等の堆積」については、施設の種類によって部位の機能低下や性能劣化に及ぼす損傷等の程度が異なるため、表に整理していないが、このような損傷等についてはそれぞれの施設に対して判断する必要がある。

鋼構造部の「腐食」とコンクリート構造部の「ひび割れ」に関しては、「土木鋼構造物の点検・診断・対策技術¹⁴⁾」や「鉄道構造物等維持管理標準・同解説¹⁶⁾⁻¹⁸⁾」などの資料に損傷等の状態や程度が詳細に記載されている。雪崩対策施設の点検に関する資料においても、「腐食」と「ひび割れ」の他に、コンクリート構造部の「欠損(剥離)」の変状レベルについて整理された資料がある^{8),20)}。

上記の資料を基にして、鋼構造部の「腐食」による変状レベルの判断フローを図-3に示す。「腐食」の変状レベルの判断は、「腐食の深さ」と「腐食の面積」の2つの着眼点に基づいて行われている^{8),13),20)}。なお、「腐食の深さ」と「腐食の面積」の大小の判断の目安となる一般的な状況は、表-10に示すとおりである^{8),13),20)}。

次に、コンクリート構造部の「ひび割れ」による変状レベルの判断フローを図-4に示す。「ひび割れ」の変状レベルの判断は、「ひび割れ幅」と「ひび割れ間隔」の2つの着眼点に基づいて行われ、「ひび割れ」と「ひび割れ幅間隔」の大小の判断の目安となる一般的な状況は、表-11に示すとおりである^{8),13),20)}。

コンクリート構造部の「欠損(剥離)」による変状レベルの評価は図-5のとおりで、「剥離の有無」、「鉄筋の露出」、「露出した鉄筋の腐食の程度」の3つの着眼点に基づいて行われ、着眼点の判断の目安となる一般的な状況は、表-12に示すとおりである^{8),20)}。

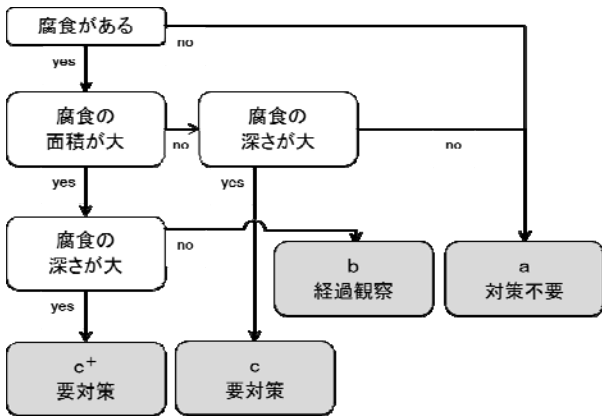


図-3 腐食による部位の変状レベルの判断 (案)

表-10 腐食の面積と深さの変状と一般的状況 (案)
8),13),20)

腐食の面積の変状	一般的状況
大	着目部分(部位・部材)の全体的に錆が生じている。または、着目部分に拡がりのある発錆箇所が複数ある。
小	損傷個所の面積が小さく局部的である。
腐食の深さ [※] の変状	一般的状況
大	鋼材表面に著しい膨張が生じている。または明らかな板厚減少が視認できる。
小	錆は表面的であり、著しい板厚の減少は視認できない。

※錆の状況(層状、孔食など)に関わらず、板厚(断面)減少の有無によって評価する²⁰⁾。ワイヤロープの腐食については、点錆や全体的に表面のみの腐食を「b経過観察」、浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食を「c要対策」、断面欠損の明らかな著しい腐食を「c+要対策(早急に)」とする^{21),22)}。

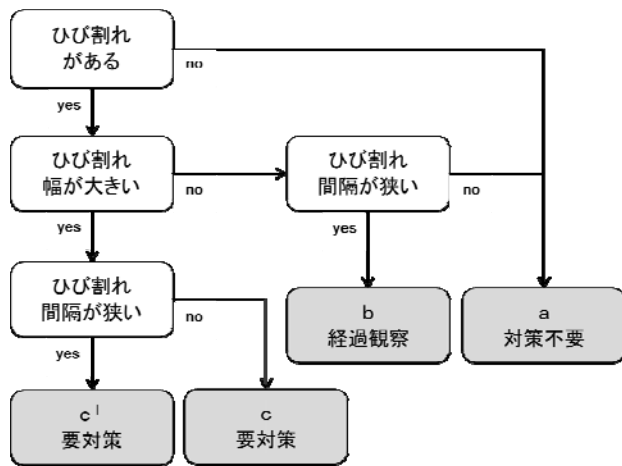


図-4 ひび割れによる部位の変状レベルの判断 (案)

表-11 ひび割れの幅と間隔の変状と一般的状況
8),13),20)

ひび割れ幅の変状	一般的状況
大	ひび割れ幅が大きい (例: 最大ひび割れ幅が0.3mm以上)
小	ひび割れ幅が小さい (例: 最大ひび割れ幅が0.3mm未満)
ひび割れ間隔の変状	一般的状況
大	ひび割れ間隔が狭い (例: 最小ひび割れ間隔が概ね0.5mm未満)
小	ひび割れ間隔が広い (例: 最小ひび割れ間隔が概ね0.5mm以上)

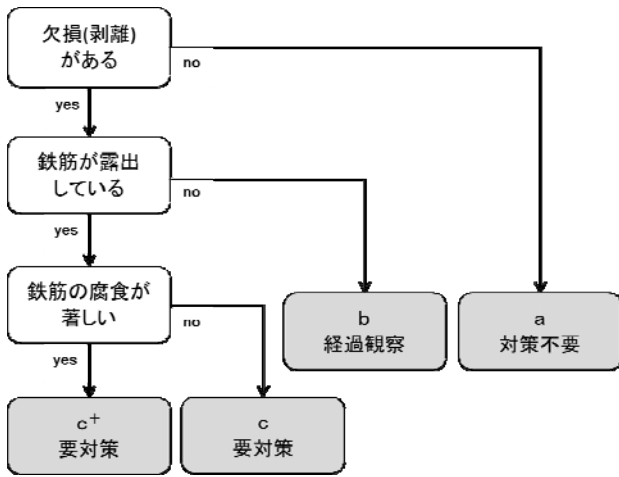


図-5 欠損による部位の変状レベルの評価 (案)

表-12 欠損の変状と一般的状況^{8),20)}

欠損の変状	一般的状況
大	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食している。 (局所的な発生も該当する)
中	鉄筋が露出しているが、鉄筋の腐食は軽微である。 (局所的な発生も該当する)
小	欠損(剥離)のみが生じている。 (局所的な発生も該当する)
なし	損傷なし。

ここで整理した図-2~図-4と表-4~表-10は、損傷等による変状レベルの判断を行う際の基本的な考え方として参考になると考えられる。ただし、実際の変状レベルの判断では、損傷等の程度や状態だけではなく、その損傷等による部位・部材の機能低下や性能劣化も雪崩対策施設ごとに判断する必要があるが、施設全体の状態や周辺環境の現場条件によっても異なることがあるため、一義的に決めることは難しいと考えられる。

3. 雪崩予防柵を対象とした現地点検

3.1 概要

施工年度が異なる鋼製の雪崩予防柵を対象として、「2. 損傷等の区分と変状レベルの判断」で整理した結果を踏まえて変状レベルを実際に判断するための無雪期点検、予防柵の防雪効果(雪崩の発生を防止する機能)を把握するための積雪期点検を実施した。2 時期の点検結果と、新潟県提供の1995年に実施された詳細点検結果²³⁾を踏まえ、損傷等の状態と経過年数の関係を考察し、損傷等の種類ごとの留意点や望ましい対策の案について検討を行った^{4),5)}。

3.2 現地調査

現地調査は、新潟県村上市北部の旧県道(現在供用

外、N38°30'39.43"、E139°35'17.39"、標高80-135m)の北~北西向き斜面に設置されている、施工年や構造が異なる4種類の雪崩予防柵計145基(表-13)を対象とした。

表-13 点検を実施した雪崩予防柵の分類

分類	施工年	基数(基)	目視点検(基)	詳細点検(基)	主柱/支柱(本)	水平梁材(本)	柵幅(m)	備考
I	1967-1968	42	32	10	2	8	5	塗装
II	1970-1972	49	49	0	2	8	5	塗装
III	1977-1982	40	24	16	3	9	6	塗装
IV	1985	14	14	0	4	7~8	6~8	溶融亜鉛メッキ
計		145	119	26				

本研究では、雪崩予防柵の部位と着目すべき損傷等(表-14、図-6)について、2017年11月(無雪期)に旧県道の道路上からの目視点検(119基)と、それぞれの雪崩予防柵に近接した詳細点検(26基)を実施した。詳細は表-13のとおりで、点検では前述の「2. 損傷等の区分と変状レベルの判断」で提案した損傷等による各部位の変状レベルの判断を行う際の基本的な考え方をを用いた。詳細点検は表-14の着目すべき損傷等の全ての項目、目視点検は表-14のうち結合部、基礎のひび割れと欠損、主柱・支柱・水平梁材の腐食を除いた項目を調査した。

また、2018年2月の積雪期に雪崩予防柵の防雪効果を把握するための目視点検(119基)と、損傷等の程度ごとに雪崩予防柵の機能発揮状況を把握するための詳細点検(26基)を実施した。これらの点検結果と新潟県提供の1995年11月の無雪期詳細点検結果²³⁾を踏まえて、各部位の着目すべき損傷等や防雪効果を1基ごとに整理を行った。

表-14 雪崩予防柵の損傷とその要因^{3),4)}

施設種類	部位	着目すべき損傷等	損傷等の要因となる現象								
			雪圧(大雪、雪崩)	落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)	流水(大雨、台風)	疲労(強風、台風)	水の浸透・凍結	経年劣化	地震	その他	
予防柵	全体	移動、転倒、変形 支持面の着しい変形	●	●						●	
	水平梁材(横バー)	変形、破損、脱落 腐食	●	●					●		●
	主柱・支柱	変形、破損 腐食	●	●					●		
	基礎	移動、転倒 浮き上がり、沈下 基礎周りの洗掘	●	●			●				
	結合部	ひび割れ、欠損 ボルトの緩み、脱落 腐食	●	●				●			

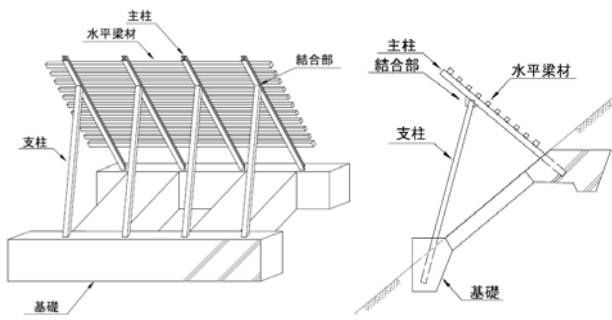


図-6 雪崩予防柵の構造図と部位の名称

3. 3 研究結果

3. 3. 1 予防柵全体の移動と転倒

1995年の点検から2017年の点検までに亡失した予防柵9基（1977-80年施工；分類Ⅲ）については、予防柵が移動または転倒したものと仮定し、これらの1995年の点検時（施工後15-18年が経過）における各部位の変状レベルを図-7に示す。点検では、基礎周りの洗掘について、変状レベルc⁺が60%以上の割合で確認された。当該の予防柵の施工位置は全て沢地形で、1995年点検時には高さ1m程度の土砂が支持面に堆積していた予防柵が9基中6基で確認された。また、基礎を除く各部位の腐食や水平梁材の損傷は50%以上であったが、主柱や支柱の損傷はなかった。

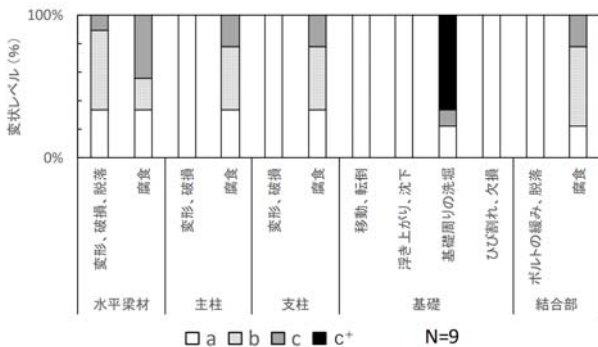


図-7 1995年の点検時に確認された予防柵の変状レベル（2017年までに亡失）

3. 3. 2 支持面の著しい変形

主柱と水平梁材からなる支持面が著しく変形した事例として、2017年無雪期点検で倒壊していた予防柵、水平梁材の半数以上が脱落、または脱落の可能性が高い予防柵の計19基（分類Ⅰ：4基、分類Ⅱ：14基、分類Ⅲ：1基）を抽出した。これらの施設は沢または凹地形に設置されており、土砂が予防柵を流下したり、予防柵の前面に土砂が堆積したりして、主に水平梁材下部での脱落などの損傷が確認された。1995年の調査時には、水平梁材の変状レベルはbであったが、22年後の2017年の調査では、変状レベルc⁺の水平梁材の破損やたわみが確認された（写真-1）。なお、土

砂の流下や堆積以外では、雪崩の流下や倒木による支持面の変形が確認された（写真-2）。雪崩が流下した事例では、支持面に加えて支柱も変形していて、倒木の事例では水平梁材の上部が変形していた。



1995年の点検 → 2017年の点検

写真-1 土砂堆積による予防柵の支持面の経年変化



(a) 雪崩の流下

(b) 倒木

写真-2 予防柵における支持面の変形例

また、2018年の積雪期点検では、対象とした19基の予防柵全てに防雪効果は認められず、19基中15基では雪崩の流下が確認された。雪崩の流下が確認された予防柵では、水平梁材が最下部から2~3本以上が脱落していた。なお、対象とした予防柵19基の1995年点検時における各部位の変状レベルは図-8のとおりで、水平梁材の損傷は50%以上、基礎を除く各部位の腐食による変状レベルはcおよびc⁺が80%以上であった。

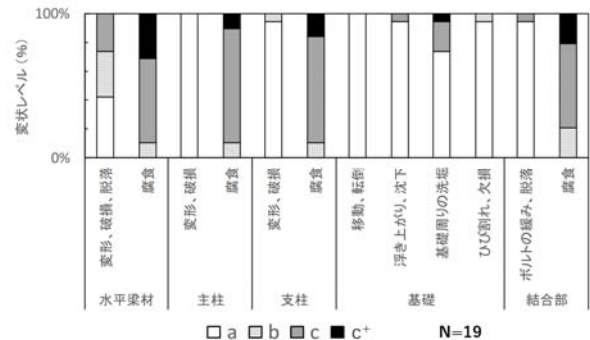


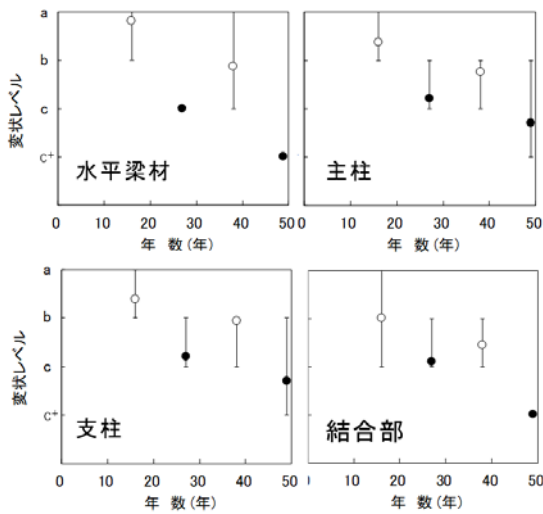
図-8 1995年の点検時に確認された変状レベル（2017年までに支持面が著しく変形した予防柵）

3. 3. 3 各部位の腐食

基礎を除く各部位の腐食について、1995年および2017年に実施した詳細点検箇所26基を対象として、腐食の変状レベルおよび施工時からの経過年数を図-9に示す。分類ⅠとⅢの予防柵（塗装処理）いずれも、

支柱および支柱と比較して水平梁材および結合部での腐食が進行していることが確認された。

分類Ⅰの予防柵では、主に予防柵の上部で腐食によって水平梁材が脱落したり、脱落する可能性が高い状態が確認されたりした。一方、分類Ⅲの予防柵では、腐食の進行による部材の一部欠落は確認されたが、腐食による水平梁材の脱落はみられなかった。なお、2018年の積雪期点検では、主に予防柵の下部において脱落または脱落する可能性の高い水平梁材以外の防雪効果を、確認できた。ただし、分類Ⅰの予防柵3基について、雪圧に起因する水平梁材のたわみが予防柵の下部で確認された。



●分類Ⅰの予防柵 (N=10) ○分類Ⅲの予防柵 (N=16)
 図-9 各部位の腐食の変状レベルと施工時からの経過年数との関係 (縦棒は変状レベルの変動幅を示す)

3. 3. 4 防雪効果と過去の各部位の変状レベル

点検した全ての予防柵における水平梁材の変形・破損・脱落と腐食、基礎の洗掘、ならびに結合部の腐食について、2018年積雪期点検で確認した防雪効果と、23年前の1995年点検時の変状レベルとの関係を図-10に示す。

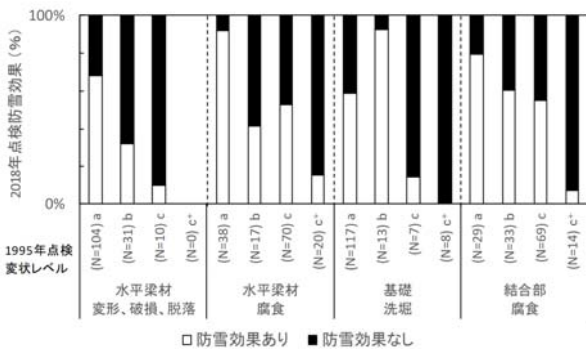


図-10 2018年積雪期点検で確認した防雪効果と1995年点検時の変状レベルとの関係

1995年にc+の損傷等があった予防柵の他、水平梁材の変形、破損、脱落および基礎洗掘の変状レベルがcであった予防柵では、2018年に防雪効果なしの割合が80%以上とかなり高かったことがわかる。

3. 4 考察

3. 4. 1 予防柵の移動・転倒と経過年数との関係

移動や転倒した予防柵は沢地形に位置しており、その60%以上で基礎の著しい洗掘(変状レベルc+)が生じていたことから、土砂や流水の影響を受けやすい沢地形において、基礎の洗掘が進行した状態において土砂や雪崩の流下イベント、もしくは雪圧を受けることで移動・転倒が起こる可能性が高いと考えられた。また、今回の調査では未確認であるが、地すべりや地震による基礎部分の土砂移動によって移動や転倒が発生する可能性も考えられた。移動や転倒の発生は、土砂移動現象や雪崩等のイベントの発生による場合が大きいため、予防柵の施工経過年数には依存しないと考えられる。

3. 4. 2 支持面の変形と経過年数との関係

予防柵の支持面の変形が土砂に起因する場合は、土砂の流下規模によって、以下の2通りが考えられる。

- ① 土砂の流下規模が大きいもしくは部材の強度が低下している場合
 - ② 土砂の流下規模が小さい場合
- ①の場合、予防柵の支持面だけでなく、支柱も変形または倒壊する。この場合は、規模の大きい土砂崩落の発生に依存するため、予防柵の施行経過年数には依存しないと考えられる。

②の場合、雪崩予防柵が土砂を捕捉した状態で年数が経過して腐食により部材の性能が低下すると、水平梁材が脱落または破損し、堆積していた土砂とともに流下する。写真-1の事例では、土砂が堆積してから22年までの間に、予防柵の機能を失うことが示唆された。

なお、2018年の積雪期調査で雪崩が流下して機能喪失が確認された予防柵では、水平梁材が最下部から2~3本以上脱落していたことから、予防柵の支持面に約50cm(水平梁材2~3本分の設置間隔)以上の土砂が堆積した場合、将来的な水平梁材の脱落や変形に留意すべきと考えられる。

予防柵の支持面の変形が雪崩に起因する場合は、土砂と同様に以下の2通りが考えられる。

- ① 雪崩の規模が大きいもしくは部材の強度が低下している場合
- ② 雪崩の流下規模が小さい場合

①の場合、予防柵の支柱と支柱も水平梁材とともに変形、または倒壊する（写真-2(a)）。この場合は、土砂と同様に規模の大きい雪崩の発生に依存するため、予防柵の施工経過年数には依存しないと考えられる。

②の場合、雪崩予防柵が雪崩を捕捉してデブリ内に落石や流木が混じっている場合は、予防柵の損傷につながると考えられ、倒木の場合は水平梁材上部の損傷となる場合があるが（写真-2(b)）、水平梁材が損傷していない箇所までは、防雪効果が期待できると考えられる。ただし、倒木を放置した場合は、写真-1の土砂堆積と同様に年間を通して荷重が予防柵にかかることから、損傷等が大きくならないうちに処理するのが望ましい。雪圧の場合は大雪や局所的な吹きだまり等による荷重に起因することから、パトロール等で積雪期の現地状況を把握するのが望ましい。

なお、前記の事象の全てにおいて、支柱または支柱が変形した場合はさらなる支持面の変形につながるため、早期の更新が望ましい。また、損傷した水平梁材は時間経過に伴って約20年後には防雪効果を発揮できない可能性が高くなるため（図-10参照）、適宜交換するのが望ましい。

3. 4. 3 腐食と経過年数との関係

1995年および2017年詳細点検の結果、水平梁材や結合部の腐食が進行しやすいことが判明した（図-9）。この理由として、水平梁材や結合部に付着した水分は支柱と支柱と比較して乾きにくいことが考えられた。また、一般に塗装処理の溶接箇所では、溶接時の熱の影響により長期間の暴露に伴い腐食が進行しやすいことも要因として考えられた。

なお、2018年積雪期点検では各部材に損傷がなければ腐食が進行している場合でも防雪効果が確認された。ただし、水平梁材の腐食の変状レベルがc⁺の場合は、雪圧で梁材がたわんでいた事例が確認されたことから、変状レベルcの段階までに部材を更新することが望ましいと考えられる。調査結果から、塗装処理の雪崩予防柵の場合、水平梁材は30-50年が一つの取替の目安となると考えられる（図-10）。ただし、鋼材や塗装の質にも依存している可能性があり、溶融亜鉛メッキでコーティングされた部材で形成された分類Ⅳの予防柵は、目視ではあるが鋼製部位の腐食は認められなかった。溶融亜鉛メッキの耐久性は、気象条件（気温、湿度、雨量など）や環境条件（塩分、亜硫酸ガスなど）等によって異なり、様々な条件によってメッキ被膜は時間の経過とともに減少する。また、何らかの要因でメッキ被膜が損傷した場合、損傷部分から腐食が広が

る場合も考えられ、溶融亜鉛メッキの場合は腐食の発生から30-50年程度を目安として部材の取替を行うことが望ましいと考えられる。

4. 雪崩対策施設の健全度評価

現地点検の検討結果をもとに、雪崩対策施設の機能や性能が低下する度合いに着目して、部位の変状レベル（案）（表-3）に基づいて雪崩対策施設の1基ごとの健全度の評価案は表-15のとおりである。なお、既往の資料を参考に、施設に決定的な損傷が生じる見込みの期間を目安として、健全度Bは5年以上、Cは2-5年の間、c⁺は1年以内とした^{10-12),24)}。また、健全度の判断基準の具体例として、雪崩予防柵1基ごとの健全度の評価案は表-16のとおりである。

表-15 雪崩対策施設の健全度（案）

健全度	損傷等の程度
A 対策不要	当該施設に損傷等は発生していないか、軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該施設の機能及び性能の低下が認められず、 対策の必要がない状態
B 経過観察	当該施設に損傷等が発生しているが、問題となる機能及び性能の低下が生じていない。現状では早急に対策を講じる必要はないが、 将来対策を必要とするおそれがある ので、定期点検や臨時点検等により、 経過を観察する 、または、予防保全の観点より対策が必要である状態
C 要対策	当該施設に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該施設の 機能低下 が生じている、あるいは当該施設の 性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態
C ⁺ 要対策（早急に）	当該施設に著しい損傷等が発生しており、当該施設の 機能や性能が喪失している状態

表-16 雪崩予防柵1基ごとの健全度評価（案）

健全度	機能区分	性能区分	判断基準
A 対策不要	保持	保持	・当初の設置位置に自立しており、部材の性能劣化もない状態
B 経過観察	保持	保持	・損傷・劣化は見られるが、設置当初からの外見を保持している状態（各部位の変状レベル:b程度）
C 要対策	低下	劣化	・水平梁材、結合部の変状レベル:c（水平梁材は、下部の方が対策優先度が高い） ・基礎の変状レベル:c ・支持面での土砂堆積:50cm以上
C ⁺ 要対策（早急に）	喪失	喪失	・予防柵全体の移動、転倒 ・支持面の著しい変形 ・支柱、支柱の変状レベル:cまたはc ⁺ ・水平梁材、結合部の変状レベル:c ⁺ （水平梁材は、下部の方が優先度が高い） ・基礎の変状レベル:c ⁺

なお、雪崩予防柵は雪崩が発生する危険のある斜面の全体に複数基を配置し、斜面からの雪崩発生を防止する施設であるが、斜面全体の防雪効果への影響を考えた場合、損傷等のある雪崩予防柵の位置によっては、影響の度合いが変わってくると考えられる。このような場合に対策の優先度を検討する基準について、一案を次に示す。1基ごとの健全度がcまたはc⁺と判断さ

れた要対策の予防柵が、表-17に示す状況下に設置されている場合は、斜面全体での防雪効果の著しい低下が懸念されるため、優先的な対策が必要と考えられる。また、表-17に示す状況以外にも、斜面最上部に施工されている場合は、落石や土砂の影響を受けやすいと考えられる。

表-17 雪崩予防施設（要対策）の設置状況と懸念事項

設置状況	懸念事項
①斜面上部から下部まで連続 (沢または凹地形)	対象範囲より雪崩が発生した際、保全対象に雪崩が到達して、その衝撃力や堆雪量が大きくなる。
②上下左右で連続	対象範囲より雪崩が発生した際、下部の雪崩予防施設の損傷を誘発し、雪崩発生危険斜面が拡大する。
③最下部	対象範囲が雪崩予防施設的最下部の場合、保全対象まで雪崩が到達する可能性がある。

雪崩発生区に雪崩予防柵と同種の施設を配置して雪崩の発生を防止する予防施設であれば、この一案は適用可能と考えられるが、雪崩予防施設の健全度を評価し、対策の優先度を検討する際には、予防施設の設置範囲付近から保全対象位置までの勾配や植生、地勢、冬期の積雪状況を考慮しつつ、前記で示した一案と合わせて総合的に検討すべきであると考えられ、健全度がcまたはc+と判断された要対策の雪崩予防施設の履歴や、斜面全体での位置も記録することが重要となる。

なお、保全対象への雪崩の到達の防止を目的とする雪崩防護施設は発生区よりも保全対象に近い雪崩の走路や堆積区に設置されることから、施設の機能の低下は雪崩が保全対象に到達する可能性の増大に直結するため、施設単体の一部の部材の損傷等であっても、機能低下が予想される場合は早期の対応が必要と考えられる。

5. まとめ

本報告では、関連資料や事例を収集し、損傷等による部位の変状レベルの区分や判断基準について整理を行い、雪崩予防柵を対象とした現地点検を実施して雪崩対策施設の健全度評価に関する考え方および対策の優先度の検討基準を提案した。施設の健全度評価を判断する基準の具体例な提示は雪崩予防柵のみとなったが、今後は他の雪崩対策施設についても具体的な事例を整理して、雪崩対策施設の維持管理に役立てることが望ましい。本報告の内容は現時点における一般的な考え方を示した段階であることから、今後も各現場で実施されている維持管理の実態や新たな各種知見の蓄

積を図り、内容の充実に努めることが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)、22p.、2019
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設点検要領(案)、138p.、2019
- 3) 松下拓樹、石田孝司、金澤瑛：雪崩対策施設点検の損傷等の分類と変状レベルについて、全国地すべりがけ崩れ対策協議会第70回研究発表大会資料集、pp.3-16、2016
- 4) 原田裕介：雪崩対策施設の維持管理のための点検について、日本雪工学会誌、Vol.34、No.4、pp.212-222、2018
- 5) 原田裕介、金澤瑛、石川茂：雪崩予防柵の健全性評価に関する試み、寒地技術論文・報告集寒地技術シンポジウム、34、pp.201-206、2018
- 6) 石田孝司、松下祐樹：雪崩対策施設の管理技術の向上に関する研究、国立研究開発法人土木研究所基盤研究（一般研究）成果報告書、6p.、2016
- 7) 桂真也、丸山清輝、秋山一弥：雪崩・地すべり研究センターにおける施設の維持管理に関する研究—地すべり関連機器の開発及び雪崩点検実態調査結果について—、全国地すべりがけ崩れ対策協議会第68回研究発表大会資料集、pp.107-120、2014
- 8) 新潟県土木部道路管理課：新潟県防災防雪施設点検要領（案）、40p.、2013
- 9) 林野庁：治山施設個別施設計画策定マニュアル、207p.、2018
- 10) Margreth, S.: Defense structures in avalanche starting zones, Technical guideline as an aid to enforcement, Environment in Practice, No.0704, 134p, 2007
- 11) ÖNORM-Regel 24807 (2010): Permanenter technischer Lawinenschutz –Überwachung und Instandhaltung, Ausgabe: 2010-06-01, (in German)
- 12) Rudolf-Miklau, F., S. Sauermoser and A. Mears (eds.): The Technical avalanche protection handbook, Ernst & Sohn, 408p, 2015
- 13) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領、38p.、2014
- 14) 一般社団法人日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術（2013年度版）、371p.、2013
- 15) 国土交通省道路局：総点検実施要領（案）【道路のり面工・土木構造物編】（参考資料）、32p.、2013
- 16) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編 鋼・合成構造物）、208p.、2007
- 17) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標

準・同解説（構造物編 コンクリート構造物）、291p、
2007

- 18) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編 基礎構造物・抗土圧構造物）、218p、2007
- 19) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン【第1部】、19p、2014
- 20) 新潟県土木部道路管理課：新潟県シェッド・シェルター定期点検要領、106p、2014
- 21) 三角フェンス協会：三角フェンス工点検要領、24p、2013
- 22) 藤田雅也、沢田和秀、八嶋厚、新井新一、須崎竜太、瀧澤嘉男：ロープネット工に関する維持管理手法の提案、地盤工学ジャーナル、Vol.5、No.3、pp.437-448、2010
- 23) 新潟県村上土木事務所：平成7年度県単道路防雪対策（指）雪崩予防柵点検業務委託報告書、225p、1996
- 24) 松下拓樹、石田孝司：雪崩対策施設点検の手引き案の作成について、全国地すべりがけ崩れ対策協議会第69回研究発表大会資料集、pp.125-133、2015

A STUDY ON THE HEALTH INDICATORS OF AVALANCHE COUNTERMEASURES FACILITIES

Research Period : FY2017-2019

Research Team : Snow Avalanche and Landslide
Research Center

Author : AKIYAMA Kazuya
NOSAKA Takayuki

Abstract : In order to select objective and effective countermeasures for damaged avalanche countermeasures facilities, it is important to organize the classification of damage to avalanche countermeasures facilities and indicators to evaluate the soundness of the facilities. In this study, we collected and organized related materials and conducted field inspections, and examined the classification of damage and the health indicators of the facilities. As a result, we were able to organize the criteria for the priority of countermeasures by considering the classification of damage to avalanche countermeasures, the soundness index of the facilities, and surrounding conditions, etc.

Key words : avalanche countermeasures facilities, maintenance, inspections, damage level of part, soundness of the facilities