

雪崩対策施設（防護工）の健全度を評価する手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令和5～令和7

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：藤平大、吉柳岳志、高原晃宙、
榊直人

【要旨】

集落雪崩における雪崩防護工の健全度評価手法および施設の対策優先度の検討を行った。まず、現地および既存資料の調査を行い、健全度評価に必要な損傷の種類と損傷程度の検討を行った。その検討結果から、施設全体の健全度評価案の提案を実施した。また、冬期の積雪状況を勘案して対策優先度を決定する必要があることから、冬期に安全に点検可能な UAV を用いた雪崩防護工の点検を別途試行的に実施し、優先度についても検討を行った。

キーワード：雪崩防護工、健全度評価、UAV、維持管理、雪崩

1. はじめに

砂防関係事業の1つである集落雪崩対策事業の点検手法は、砂防関係施設点検要領（案）¹⁾に記載されている。しかし、急傾斜施設の点検に準ずるという記載があるのみで、具体的な記述はない。本研究では、集落雪崩対策施設のうち、大きな外力を受ける施設であり被災時の保全対象への影響も大きい、雪崩防護工に限定して標準的な集落雪崩対策施設の健全度評価について提案することを目的とした。また点検の一環として、健全度評価後の施設の対策優先度策定の検討も行った。加えて冬期の積雪状況により、損傷位置等が施設機能に影響を及ぼす可能性があることから、冬期の防護工の施設状況も考慮した。

本研究の流れは下記のとおりである。2 節では、雪崩防護工の設置実態に関する資料収集および整理を行った。3 節では、整理結果から調査場所を選定し、損傷に関する現地調査を実施した。4 節では、現地調査結果と、他分野における点検要領等の文献も参照した上で損傷の程度および健全度の評価について提案した。5 節では、冬期における UAV を用いた試行的点検状況について述べ、雪崩防護工の対策優先度について検討した。6 節で、本研究で得られた知見をまとめた。

2. 道県における雪崩防護工の設置実態資料整理

道県によって管理されている雪崩防護工に関して、3 節の現地調査の対象施設を決定する際の判断目安として活用することを目的として、道県の担当部局より点検台帳等の資料提供を依頼し、それらを収集整理し

た。各道県より資料を収集した結果、対象施設は全部で 79 施設であった。各施設の施工後年数、施設位置、健全度評価（健全度評価は良い評価から A、B、C であり、C 評価に分類されているものは資料中にはなかった）等について整理し、3 節の現地調査における調査対象を選定する基礎資料として使用した。

3. 雪崩防護工の現地調査

3.1 調査概要と調査対象箇所

健全度評価には、損傷の種類とそれぞれにおいてどの程度の損傷の発生が予想されるのか把握する必要がある。損傷が生じていそうな施設を効率的に調査するために、2 節の道県における雪崩防護工実態の結果を用いた。具体的には、作成した台帳において下記2つの基準に基づき調査する施設を抽出した。

基準①：健全度評価が B または健全度評価を未実施の施設の中から、B 評価の理由がなるべく施設本体の損傷によるもので、施工年数が古く、施設までのアクセス性が良く、かつ施設の種類の幅が出るよう選定した。
基準②：部材としてより損傷しやすい角型鋼管または H 鋼を使用している施設のうち、施工年数が古くかつ施設までのアクセス性の良い箇所を選定した。

基準①については、防護柵工・減勢柵工・減勢枠組工・防護擁壁工を計 17 施設、基準②については、防護柵工・防護擁壁工を計 5 施設対象として調査した（計 22 施設）。基準①②ともに、無雪期（2024 年及び 2025 年の夏季）に現地調査を実施した。各施設について部位ごとに損傷の種類を調査し、施設の構造特性に応じて

2つのグループに分けて損傷種類をまとめた。防護柵工・減勢柵工・減勢枠組工を1つのグループとしてまとめ（Aグループ、全16施設）、防護擁壁工を2つ目のグループとしてまとめた（Bグループ、全6施設）。

3.2 現地調査結果

図-1 および図-2 はそれぞれ、AグループおよびBグループにおいて確認された損傷を整理したものである。AグループおよびBグループともに鋼材が主たる部材である部位（支柱・支柱等）では、腐食（軽微な防食塗膜の劣化によるはがれ等を含む）、ゆるみ・脱落、変形が主に確認された。また、コンクリートが主たる部材である部位（擁壁等）では、剥離、ひびわれ、遊離石灰、洗堀が主に確認された。また、Aグループのみで確認された損傷として、施設における土砂堆積があった。土砂堆積が進行すると、機能低下を引き起こす恐れがある。本現地調査における損傷はいずれも軽微で、施設全体では問題となるものは見受けられなかった。本現地調査のみでは、雪崩防護工における損傷種類並びにその程度については十分に明らかにはできていないと考えられる。

4. 雪崩防護工に発生する損傷種類とその変状レベルおよび健全度評価の指標

雪崩防護工の損傷種類とその程度については、3節の現地調査では十分に明らかにならなかった。そこで、雪崩防護工と似た部材（鋼材やコンクリート材）を使用している他分野における点検要領等の文献を参照し（4.1項）、3節で明らかになった実際に雪崩防護工において発生していた損傷に加え、今後発生が予測される損傷を含め、雪崩防護工における損傷種類を提案した（4.2項）。また、損傷個々における変状レベルについても、他分野における点検要領等の文献を参照して、提案を行った（4.3項）。最終的にそれらを取りまとめて、雪崩防護工における健全度の評価案についてまとめた（4.4項）。また、健全度を評価した後の、対策を行う施設の優先度についても別途検討した（5節）。

4.1 他分野における点検要領等の文献収集

他分野の点検要領等として、文献²⁾⁻¹³⁾を収集した。砂防関係施設、橋梁、道路関係等多種多様な文献について収集を行った。

4.2 損傷種類の提案

4.1項での収集結果から、雪崩防護工で発生すると予測される損傷をグループ毎にまとめた。グループAの「全体」には、ずれ・変形が、「支柱・支柱」には、亀裂、破断、変形・欠損が、「水平梁材・横板・上弦材」

には、亀裂、破断、欠損が、「結合部」には、亀裂、破断、脱落が、「基礎部」には、移動・うきあがり・沈下、洗堀、うき、漏水がそれぞれ予測される。グループAの「支柱・支柱」、「水平梁材・横板・上弦材」、「結合部」および「基礎部」（うきと漏水）に追記した損傷は、附属物（標識、照明施設等）点検要領²⁾（以下、「附属物点検要領」と記す）から発生予測されるものを、その他追記した損傷は、文献¹²⁾等から発生を予想し、追記した。

グループBの「擁壁」には、ずれ・傾斜・沈下、機能低下、うき、漏水が、「補助防護柵」には、亀裂、破断、欠損が、「結合部」には、亀裂、破断、脱落が、「アンカー部」には、飛び出し・引き抜け、頭部キャップ・支圧板の劣化・損傷、受圧構造物の劣化・損傷がそれぞれ予測された。グループBのうち、「擁壁」（うき、漏水）、「補助防護柵」および「結合部」で発生が予測されたものは附属物点検要領²⁾より追記した。「擁壁」のうち、ずれ・傾斜・沈下、機能低下については、文献¹²⁾等から発生を予想し、追記した。「アンカー部」については、砂防関係施設点検要領（案）¹⁾から発生が予測され、追記した。また、腐食については、「防食機能の劣化」と「腐食」に分けて記載をしている。板厚減少等を伴わない軽微な錆の発生を「防食機能の劣化」



図-1 現地調査にてグループAで確認された損傷

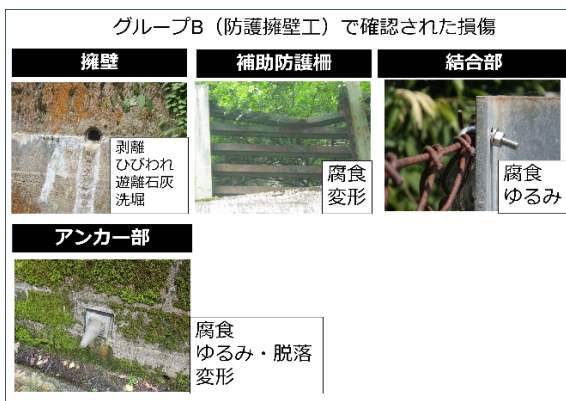


図-2 現地調査にてグループBで確認された損傷

とし、板厚減少等を伴う錆の発生を「腐食」とした²⁾。

4.3 損傷の変状レベルの提案

4.2 項で示した雪崩防護工で発生が確認された、ないし予想される損傷につき、他分野での既存点検要領等の文献に変状レベルの記載がされている損傷についてはそれを参照した。部材スケールは雪崩防護工と異なるものの、生じる損傷の程度については同様に評価可能と考え、文献上の評価観点を使用した上で提案した。具体的には、グループ A では、「全体」における 2 項目と、「基礎部」における移動・浮き上がり・沈下と洗掘を除く損傷については、附属物点検要領²⁾の変状レベルの記載が詳しく評価基準も明確であったため、その基準を用いた。ただ、「基礎部」の漏水・遊離石灰は、附属物点検要領²⁾になかったため、文献³⁾より評価した。「全体」における 2 項目と「基礎部」における移動・浮き上がり・沈下と洗掘については、4.1 項の文献¹²⁾等から総合的に判断して損傷レベルを提案した。グループ B についても同様で、「擁壁」で追記した、ずれ・傾斜・沈下、機能低下は 4.1 項の文献から総合的に変状レベルを提案し、漏水・遊離石灰は文献³⁾より評価した。「アンカー部」は、砂防関係施設点検要領（案）¹⁾より、提案した。残りの損傷は、附属物点検要領²⁾から提案した。

提案した変状レベルは、砂防関係施設点検要領（案）¹⁾と整合をとるため、a、b、c の 3 段階とした。a は「軽微な損傷」がある場合（損傷がない場合も含む）、b は「損傷等があるが現時点では機能低下・性能劣化に至っていない状態」である場合。c は「損傷等があり機能低下・性能劣化がある状態」である場合とした。附属物点検要領は変状が少ない順に a、c、e と評価するが、それぞれ本評価の a、b、c に対応させた。提案した変状レベルの例として、グループ A の変状レベルの一部を表-1 に示す。グループごとに、全ての部位で上記に基づき変状レベルを定義し、点検結果を整理可能るように、整備を行った。

4.4 健全度評価方法の提案

健全度評価は砂防関係施設点検要領（案）¹⁾と矛盾しない必要があり、示されている健全度 A、B、C の基準に沿うように、健全度評価方法を提案した。4.3 項で提案した各変状レベルは、健全度を考えるうえで重要な指標となるものの、健全度は変状レベル単体ではなく、損傷がどの程度施設の機能や性能に影響を及ぼしているかを総合的に判断して評価することを基本とする必要がある。しかし、施設のずれや沈下等の施設全体に影響を与える損傷が発見された場合にはその損傷のみ

で健全度評価を C と判断することが望ましいため、表-2 のような健全度評価案を提案した。グループ B もほぼ同様なため割愛している。

5. 雪崩防護工の対策優先度

健全度評価結果に応じた対策を行う必要があるため、対策を実施する優先度についても整理が求められる。対策優先度を決定するにあたり冬期における雪崩防護工の施設状況についても考慮する必要があることを踏まえ、冬期における雪崩防護工の現地調査も実施した。雪崩の危険がある箇所調査を行うことから UAV を試験的に活用し、積雪期調査の技術的視点（部材損傷位置と積雪時の施設機能への影響、設計外力と積雪状況との関係等）と点検手法の検討を行った。

5.1 積雪期の雪崩防護工の UAV を用いた現地調査

2024/25 冬期に某県に設置されている防護柵工と減勢枠組工につき、積雪初期、最深積雪深期、積雪減少期の計 3 回、UAV による点検を目的として撮影を行った。各撮影で、施設の正面、背面、全景について撮影を行った。加えて最深積雪深期において、設計積雪深と施設周辺の積雪深を比較するために連続垂直写真撮影および SfM 処理について行った。

具体の撮影結果については割愛するが、撮影結果を見ると、腐食による損傷は UAV を用いた場合、容易に把握できる。また、雪崩による損傷は見受けられなかった。本研究では、部材の損傷位置によって施設効果に影響があると懸念されるものは見受けられなかつ

表-1 グループ A の部位「主柱・支柱」における、「亀裂」・「破断」・「変形・欠損」の変状レベル

変状レベル	グループA(主柱・支柱)		
	亀裂	破断	変形・欠損
a	変状なし	変状なし	変状なしか、あっても軽微
b	該当なし	該当なし	変形又は欠損がある
c	亀裂がある	破断している	著しい変形又は欠損がある

表-2 グループ A の健全度評価基準の案

健全度評価	判断基準
A: 対策不要	・当初の設置位置に自立して機能と性能を保持しており、部材の損傷や劣化がないか、損傷が発生していても軽微な場合
B: 経過観察	・各部位や施設全体に損傷が認められるが、施設全体で評価すると機能・性能の低下に至っていない場合
C: 要対策	・施設全体のずれ・変形が生じている ・構造が著しく変化している（ポケット容量の不足など） ・全体で評価すると機能・性能の低下や喪失が明らかに認められる場合

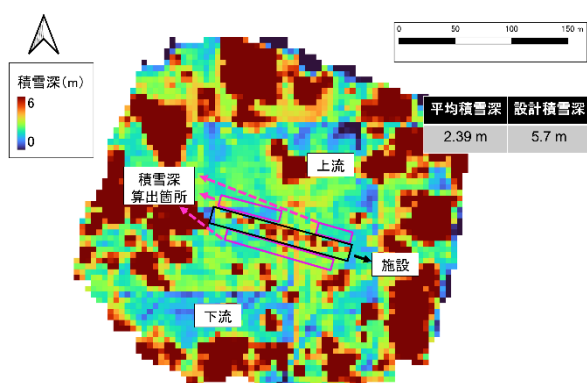


図-3 防護柵工周辺の積雪（マゼンタ枠：積雪深算出箇所、黒色枠：防護柵工）

たものの、事例が少ないため、施設効果に影響がある損傷等について引き続き調査が必要である。防護柵工の連続垂直写真を用いた SfM 処理によって得られた DSM データと DEM データ¹³⁾（両者 5m メッシュ）の差分で施設周辺の積雪深分布を計算すれば、平均積雪深は、2.4m で、設計積雪深（想定最大積雪深）の 5.7m より小さいことが確認され、想定する外力（雪崩）に対して効果を発揮できることが確認され（図-3）、設計外力と積雪状況との関係も考慮可能である。

5.2 雪崩防護工の対策優先度

積雪期において損傷位置等が施設機能に影響を及ぼすことは確認されなかったため、無雪期での調査結果を主として考慮し、優先度を決定することとした。健全度評価が C の施設は、施設機能・性能の低下ないし喪失が明らかな状態で、かつ保全対象に近い施設のため、対策優先度として緊急性が高いと考えられる。ただし、複数の施設配置がある箇所で、その個々で雪崩を保全対象から守る設計になっている場合は、健全度評価が C のうちで優先度は低くなると考えられる。

6. まとめ

本研究は下記のようにまとめられる。

- 1) 現地調査および他分野の点検要領等の文献より、雪崩防護工に生じる、あるいは生じうる損傷を似た部位を有する施設ごとに整理した。損傷の程度についても他分野の点検要領等の文献を参考にし、提案した。各損傷の損傷程度に応じて、施設全体の健全度を評価する基準についても提案した。
- 2) 雪崩防護工の冬期点検を UAV を用いて試験的に実施した。積雪初期と最深積雪深期、積雪減少期にそれぞれ、施設正面、背面、全体を撮影し、点検を実施した。腐食は容易に発見できた。また、技術的視

点として、部材損傷位置と積雪時の施設機能への影響および設計外力と積雪状況との関係を調査したが、前者は確認されなかった。後者は、連続垂直写真を撮影し、施設周辺の DEM データがあれば、設計積雪深と比較することで設計外力に対処可能か検討できることが確認された。

- 3) 対策優先度は、1)の無雪期での調査結果を主として考慮して決定すればよく、健全度評価が C の施設については、施設機能・性能の低下ないし喪失が明らかな状態であるため、対策優先度として緊急性が高いと考えられた。ただし、複数の施設配置がある箇所で、その個々で雪崩から保全対象を守る設計になっている場合は、健全度評価が C のうち優先度は低くなるものと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領(案)、p.165、2025.4
- 2) 国土交通省道路局国道・技術課：附属物（標識、照明施設等）点検要領、p.219、2024.9
- 3) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領、p.589、2024.7
- 4) 国土交通省道路局国道・技術課：シェッド、大型カルバート等定期点検要領、p.252、2025.7
- 5) 国土交通省道路局国道・技術課：歩道橋定期点検要領、p.318、2024.9
- 6) 国土交通省道路局国道・技術課：道路トンネル定期点検要領、p.120、2024.9
- 7) 国土交通省道路局：道路土工構造物点検要領、p.31、2017.5
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領、p.50、2023.3
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 参考資料、p.108、2019.4
- 10) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：樋門等構造物周辺堤防詳細点検要領、p.70、2012.5
- 11) 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）、p.40、2013.4
- 12) 秋山一弥、野坂隆幸：雪崩対策施設の健全性指標に関する研究、国立研究開発法人土木研究所基盤研究成果報告書、p.11、2019
- 13) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス、2025.8

STUDY ON AN EVALUATION METHODOLOGY FOR THE SOUNDNESS OF AVALANCHE PROTECTION STRUCTURES

Research Period: FY2023-2025

Research Team: Snow Avalanche and Landslide Research Center

Author: TOHEI Masaru

KIRYU Takeshi

TAKAHARA Teruyoshi

SAKAKI Naoto

Abstract: In this study, we propose methods for evaluating the soundness and prioritizing countermeasures for avalanche protection structures in residential areas at risk from snow avalanches. We collected and organized records of avalanche protection structures from various prefectures and conducted a field survey during the nonsnow season based on these records. The survey revealed minimal damage to the structures. However, as we did not consider all potential damages to the avalanche protection structures, we investigated the types of damages expected based on the inspection results from other fields that used similar materials and components. We also assessed the severity of damage. Based on these findings, we proposed a methodology for evaluating the soundness of avalanche protection structures. Since we expected priority levels to be determined based on snow accumulation during winter, we inspected avalanche protection structures using unmanned aerial vehicles that can operate safely in winter. From a technical perspective, we investigated the relationship between the damage locations and the structural function during snow accumulation. Although we did not find any correlation regarding damage location, we confirmed a relationship between the designed force and snow accumulation. By comparing the snow depth around the structure, which was calculated via continuous orthogonal photos, the creation of digital surface models, and the differentiation of the digital surface model from the digital elevation model against the designed snow depth, we could assess whether the avalanche protection structures withstood the designed forces. During the snow season, we found that damage locations did not affect structural function; therefore, priority levels were discussed based on the inspection results obtained during the nonsnow season.

Keywords: Avalanche protection structure, Soundness evaluation, Unmanned aerial vehicle, Snow avalanche.