

道路法面の雪崩対策における除排雪工法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：寒地機械技術チーム

研究担当者：住田則行、山崎貴志、中村隆一

【要旨】

積雪寒冷地の道路法面の雪崩対策として、その年の積雪や気象状況等によっては、雪崩予防柵周辺や大規模な雪庇などの除排雪が行われる場合がある。この除排雪は人力に頼るところが大きく、多くの作業員や費用を要し、また、危険も伴う作業である。さらに、作業従事者の確保や高齢化などが課題となっているため、省力化による効率的で安全性の高い除排雪工法が望まれている。

そこで、柵を谷方向へ傾倒させて機械施工の範囲を拡大させる傾倒式雪崩予防柵および非火薬破砕剤による大規模な雪庇の除排雪工法について、現場適用性や導入効果を検証した。

その結果、どちらの工法についても、省力化および費用の縮減が図られることがわかった。

キーワード：道路法面、雪崩対策、雪庇、傾倒式雪崩予防柵、非火薬破砕剤

1. はじめに

積雪寒冷地の道路法面では、雪崩災害を未然に防止するため、その年の積雪や気象状況等によっては、道路法面の雪崩予防柵周辺や大規模な雪庇などの除排雪が行われる場合がある（写真-1、2）。この除排雪作業は、人力に頼るところが大きく多くの作業員と費用を要し、また、高所作業のため危険も伴っている。さらに、作業従事者の確保や高齢化が課題となっているため、省力化による効率的な除排雪工法が望まれている。

そこで、人力作業の省力化による効率的な道路法面の除排雪工法を検討した。



写真-2 大規模な雪庇の人力による除排雪状況



写真-1 雪崩予防柵周辺の人力による除排雪状況

2. 道路法面の除排雪実態

道路法面の除排雪実態を把握するため、平成 22～23 年度に実施された北海道の国道における除排雪作業を調査した。平成 22 年度は、全除排雪箇所を対象とし、平成 23 年度は、各工区毎の代表的な除排雪作業を対象として平成 22 年度より詳細な内容について調査した。

2. 1 平成 22 年度（2010 年度）の気象状況

気象庁のアメダス¹⁾から北海道の主要観測地 22 箇所を抽出し、平成 22 年度と過去 10 年間の最深積雪を比較した。アメダス最深積雪と 10 年確率最大積雪深²⁾を表-1 に、平成 22 年度の最深積雪と過去 10 年間の最深積雪範囲を図-1 に示す。

平成 22 年度の最深積雪は、地域により違いはある

ものの全道的には平年並みの積雪であったことから、今回調査した除排雪は平年の作業と推測される。

2.2 平成22年度の除排雪実態調査

(1) 雪崩対策施設の設置状況

国土交通省北海道開発局管理の道路法面における、平成22年度時点の雪崩対策施設の設置状況を調査した。調査結果を図-2に示す。なお、雪崩対策施設数は連続設置箇所毎にそれぞれ1件とした。

雪崩対策施設は、苫小牧および室蘭道路事務所を除き全道的に設置されている。この内、雪崩予防柵が設置されている箇所は316件あり、具体的な施設名が不明な施設696件を含めると雪崩予防柵は最大で1,012件となる。

(2) 除排雪の実態

平成22年度の除排雪実態調査の結果を図-3に示す。なお、除排雪箇所数は連続作業区間を1件とした。

除排雪が行われたのは350箇所、地域により箇所数に差が見られるが、この差は積雪量に依存していると推測される。また、図-3の「その他の対策」46件は、図-2で「防護柵等」および「不明」に分類された施設における除排雪実態である。

積雪道路法面では、気温が低く降雪が続く1~2月の厳寒期に表層雪崩が、春先の融雪期など気温が上昇した時に全層雪崩が多く発生する傾向がある。除排雪実態でも表層雪崩が発生しやすい2月と全層雪崩が発生しやすい3月に除排雪の時期が集中していた。また、一般的に法面の勾配が30度以上になると雪崩が発生

表-1 アメダス最深積雪と10年確率最大積雪深

アメダス												過去10年(2000-2009)			2010値と過去10年の比		10年確率最大積雪深
気象庁地方	観測地	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	最小	平均	最大	過去10年の比	最大積雪深
石狩地方	札幌	142	87	83	87	95	123	111	78	106	76	79	76	99	142	0.8	128
空知地方	岩見沢	111	152	113	129	131	135	165	97	113	64	98	64	121	165	0.8	155
渡島地方	函館	32	47	29	42	41	63	60	21	41	35	47	29	43	63	1.1	62
檜山地方	江差	18	27	21	25	25	31	37	8	27	14	21	8	23	37	0.9	84
後志地方	小樽	143	97	66	112	99	153	172	92	126	87	102	66	115	172	0.9	163
	倶知安	176	190	127	186	151	239	216	155	206	165	183	127	181	239	1.0	242
	寿都	103	77	62	54	71	88	99	28	75	53	103	53	76	103	1.4	129
上川地方	旭川	112	112	79	96	117	95	92	56	82	73	67	56	91	117	0.7	120
胆振地方	室蘭	31	27	14	27	12	54	29	16	27	28	32	12	27	54	1.2	47
	苫小牧	38	27	22	29	28	42	48	13	32	33	28	13	31	48	0.9	52
日高地方	浦河	10	9	18	13	13	26	27	17	12	22	23	9	17	27	1.4	36
釧路地方	釧路	70	28	20	39	32	38	33	30	12	32	48	12	33	70	1.4	66
根室地方	根室	50	19	17	30	45	26	40	20	36	23	42	17	31	50	1.4	65
十勝地方	帯広	92	94	75	87	111	82	51	41	51	79	72	41	76	111	0.9	101
	広尾	128	89	93	113	135	117	60	62	66	94	119	60	96	135	1.2	147
網走・北見・紋別地方	網走	74	35	29	39	143	106	77	72	112	61	59	29	75	143	0.8	88
	紋別	88	53	69	53	121	82	48	67	60	64	66	48	71	121	0.9	100
	雄武	90	115	53	60	103	99	58	76	53	86	63	53	79	115		108
留萌地方	留萌	119	86	79	67	119	100	96	40	57	79	82	40	84	119	1.0	156
	羽幌	110	140	93	98	109	113	122	63	91	101	99	63	105	140	0.9	128
宗谷地方	稚内	75	68	54	66	89	93	72	49	69	109	98	49	74	109	1.3	137
	北見枝幸	112	137	108	121	159	112	78	84	82	119	100	78	111	159	0.9	161

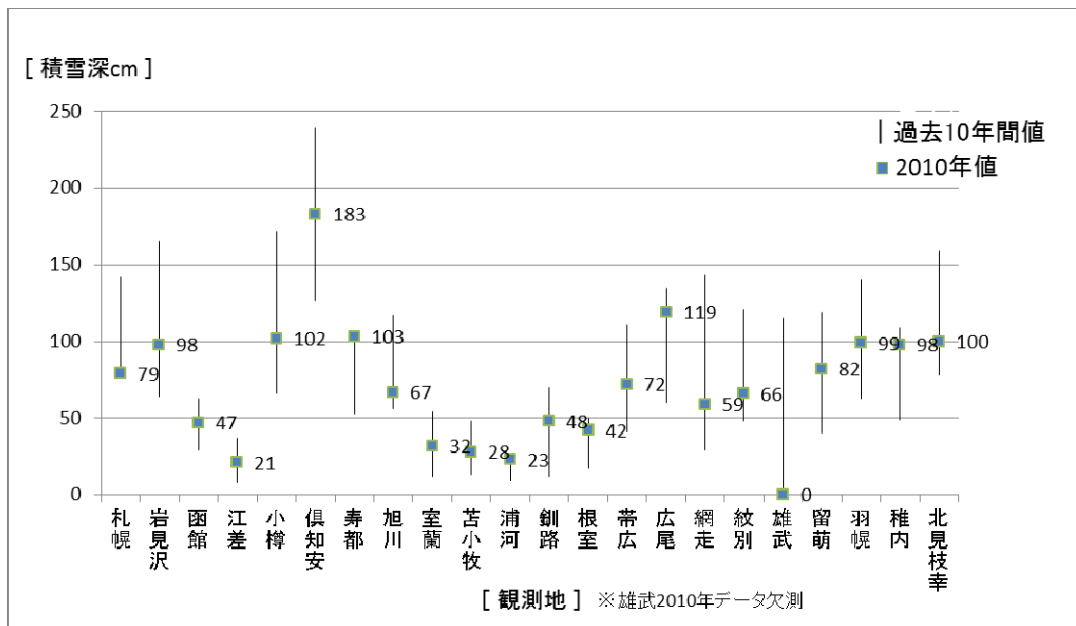


図-1 アメダス最深積雪の平成22年度と過去10年間の比較

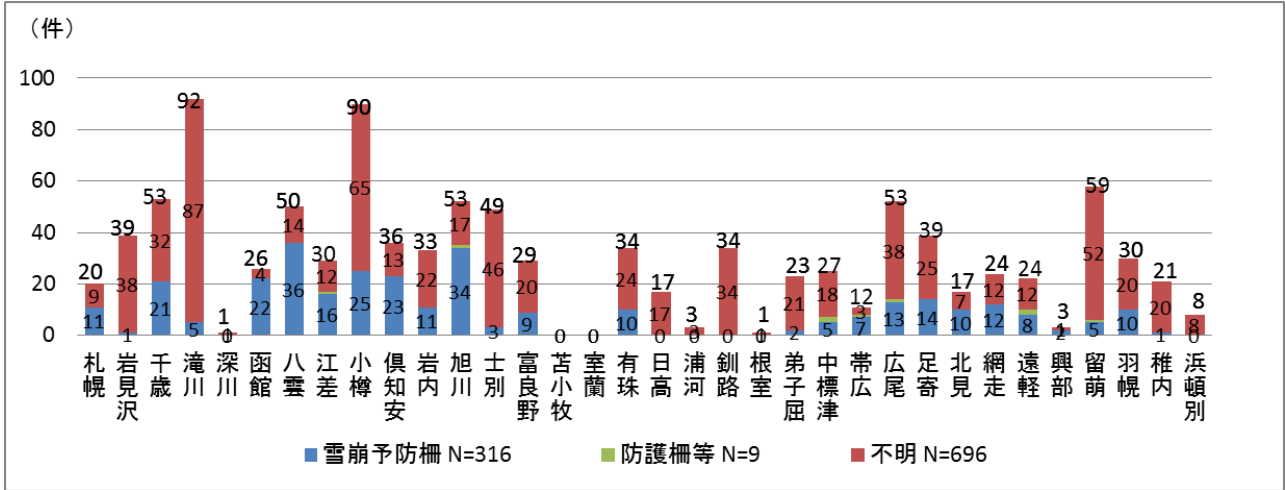


図-2 道路法面の雪崩対策施設の設置状況 (道路事務所別)

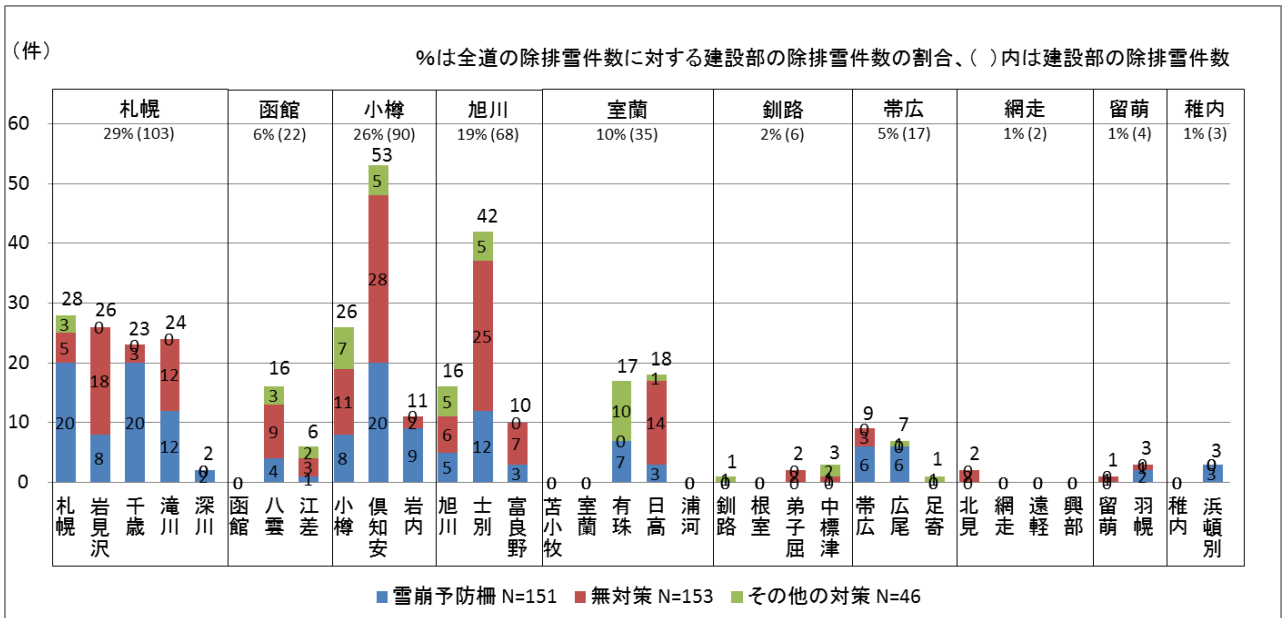


図-3 道路法面の除排雪実態 (道路事務所別)

しやすくなり、35度から45度が最も危険で、笹や草に覆われた斜面は裸地より危険とされている。除排雪実態でも勾配40度と45度が大部分を占めていた。

(3) 除排雪の実施判断

除排雪の実施判断を図-4に示す。その主なものは、気温上昇によりクラックが発生した場合、吹雪等により雪庇や巻きだれが発生した場合、積雪が一定量を超えた場合などである。

(4) 除排雪作業

除排雪作業は図-5に示すとおり、雪庇や巻きだれなどの積雪斜面から張り出した箇所のみを除排雪している場合と雪崩予防柵のポケット部(背圧領域)を除排雪して今後の降雪に備えている場合が比較的多い。

1シーズンの除排雪回数を図-6に示す。1回が約8割近くを占め、全体平均では1.3回であった。また、法面1箇所当たりの除排雪量は図-7に示すとおり、全体平均で1,610m³であった。ともに雪崩対策施設の有無による相違は見られない。

次に、雪崩対策施設の大部分を占める雪崩予防柵設置箇所と無対策箇所の除排雪作業を比較検証した。平成22年度に実施された作業箇所数はともに約150箇所であった。

除排雪1回当たりの作業日数、1シーズン延べ作業人員および1箇所当たりの除排雪費は、図-8~10、表-2に示すとおりである。雪崩予防柵設置箇所の平均は、3.25日、50人、179万円に対して、無対策箇所の平均は、1.81日、26人、57万円で、雪崩予防柵箇所は、

日数、人員および費用とも約2~3倍になっている。

除排雪の施工区分を図-11に示す。雪崩予防柵設置箇所は、無対策箇所と比べ人力に係る作業が多くなっている。

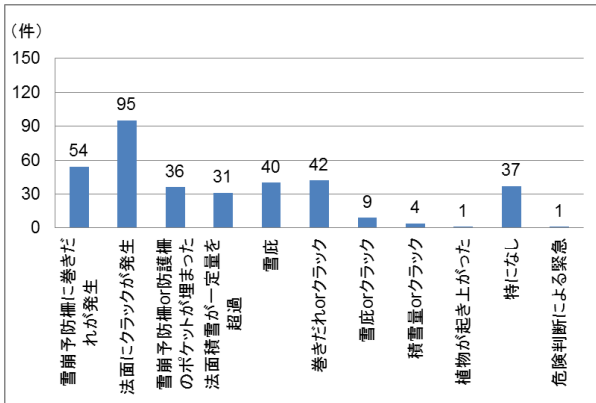


図-4 除排雪の実施判断

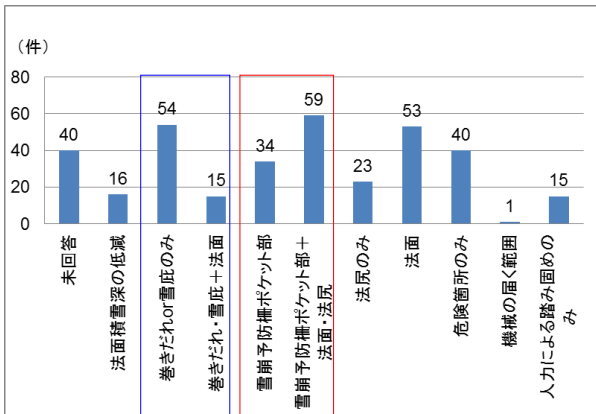


図-5 除排雪の範囲

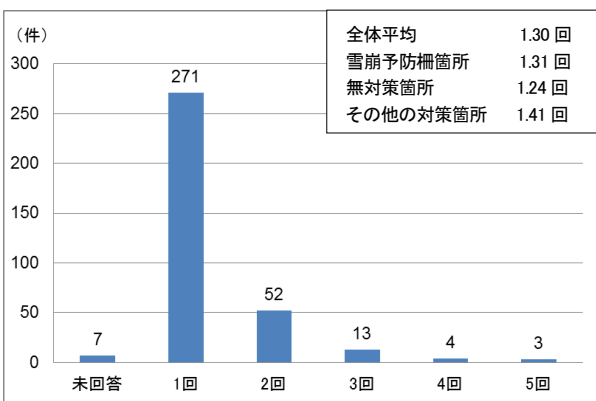


図-6 1シーズンの除排雪回数

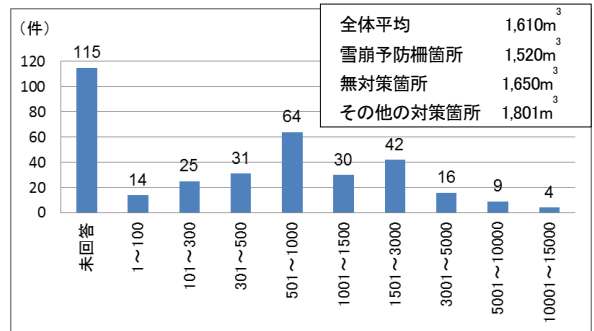


図-7 1箇所当たりの除排雪量

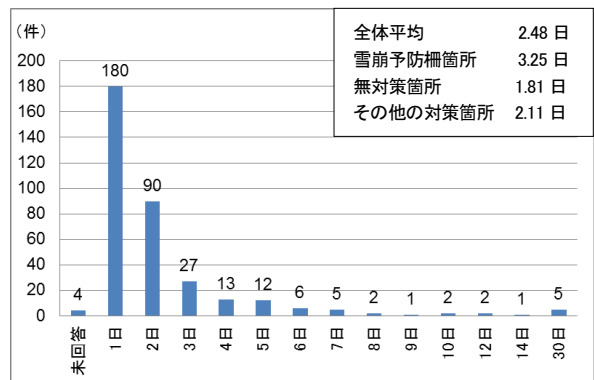


図-8 除排雪1回当たりの作業日数

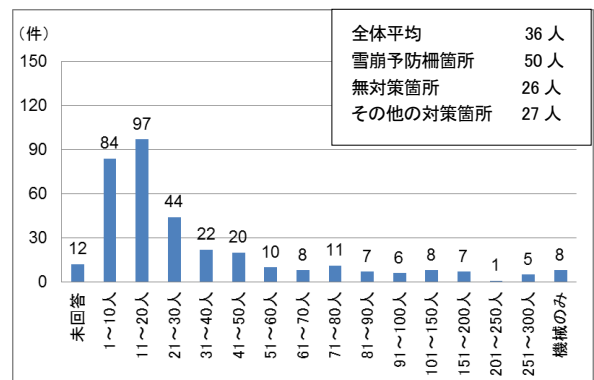


図-9 1シーズン延べ作業人員

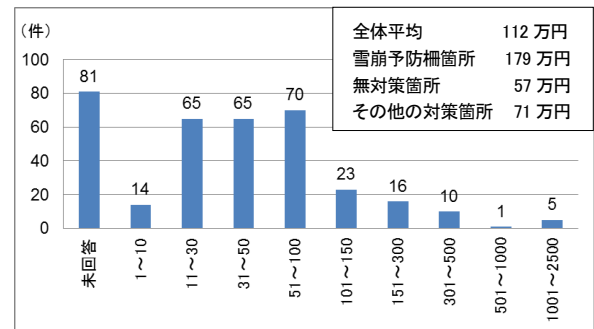


図-10 1箇所当たりの除排雪費

表-2 除排雪作業の内訳

	雪崩予防柵箇所	無対策箇所
除排雪箇所数(平成22年度実施分の調査)	151箇所	153箇所
1シーズン除排雪回数	1.31回	1.24回
1箇所当たり除排雪量	1,520m ³	1,650m ³
除排雪1回当たり作業日数	3.25日 1.8倍	1.81日
1シーズン延べ作業人員	50人 1.9倍	26人
1箇所当たり除排雪費	179万円 3.1倍	57万円
除排雪施工区分	人力のみ 39箇所 機械のみ 13箇所 複合施工 99箇所	人力のみ 26箇所 機械のみ 38箇所 複合施工 89箇所

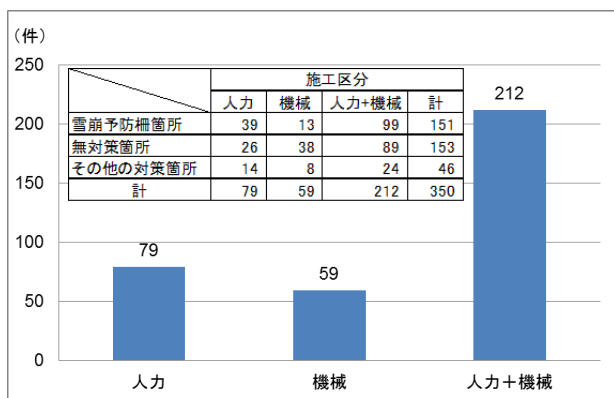


図-11 除排雪の施工区分

2.3 平成23年度の除排雪実態調査

国土交通省北海道開発局管理の道路法面について、各工区毎に代表的な除排雪作業を抽出し、除排雪の施工方法などを調査した。なお、調査は、予防保全(定期)の除排雪を対象とし、事後保全(緊急)の除排雪は対象外とした。また、工区毎の代表的な除排雪方法を対象としたが、類似の方法でも現場条件が異なる場合は対象とした。

(1) 除排雪の実態

法面の状態監視は、その多くは道路巡回業務の一環としてパトロールによって行われ、除排雪の実施判断および範囲は平成22年度(図-4、5)と同様の傾向であった。

また、図-12に示す除排雪の実施理由の中では、図-13に示す過去の災害発生の経験によるものが多かった。

(2) 除排雪の施工方法

除排雪方法は図-14のとおり、機械の作業範囲内は機械施工、それ以外は人力施工によるものが多く、除排雪後に防護壁の目的で路肩に雪堤を成形している箇所が約3割あった。

除排雪は、担当工区の除排雪延長、積雪状況、時期、

雪崩発生の危険度を考慮し、経過観察する箇所と除排雪する箇所に分類され、さらに、除排雪量を調整しながら実施されている。また、道路除雪の堆雪場所を確保する目的で法面の除排雪をしている箇所もあった。

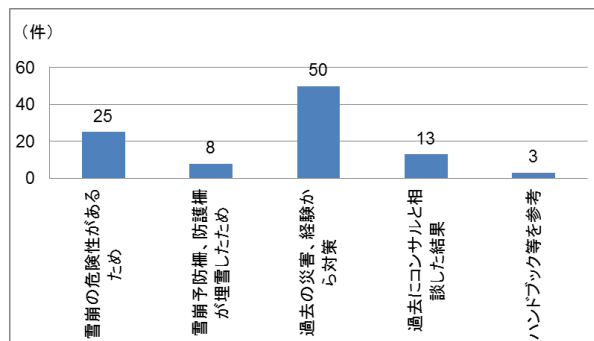


図-12 除排雪実施理由

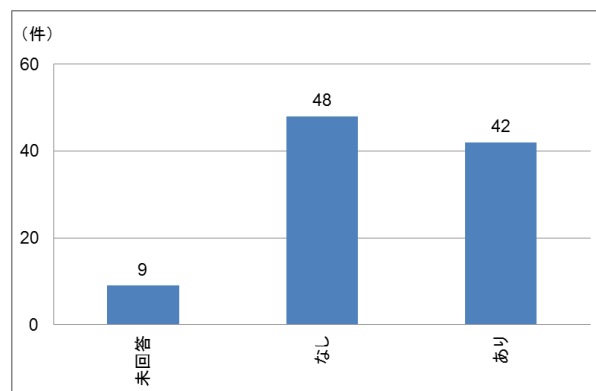


図-13 除排雪箇所の過去の災害発生状況

(3) 除排雪作業の現状

除排雪作業を担う作業従事者の確保の現状を図-15に示す。「現在は特に問題なし」という回答もあるが、「高齢化が進んでいる」、「若手の業界離れが進んでいる」という回答が多かった。

図-16に人力と機械の施工区分を示す。機械が約3割に対し人力が約7割を占め、人力施工の比率が高い。また、図-17に作業従事者の年齢構成を示す。人力、機械施工ともに50代が一番多く、次いで40代、30代と続き、20代は極端に少ない。このことから、若手の確保が困難で高齢化が進んでいることがうかがえる。

若手技術者への技術継承方法を図-18に示すが、「現場を共有」という回答が大半であった。

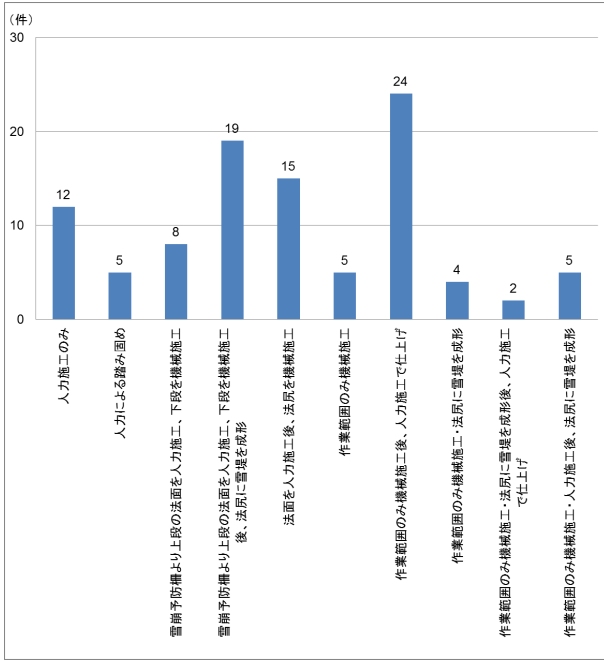


図-14 除排雪方法

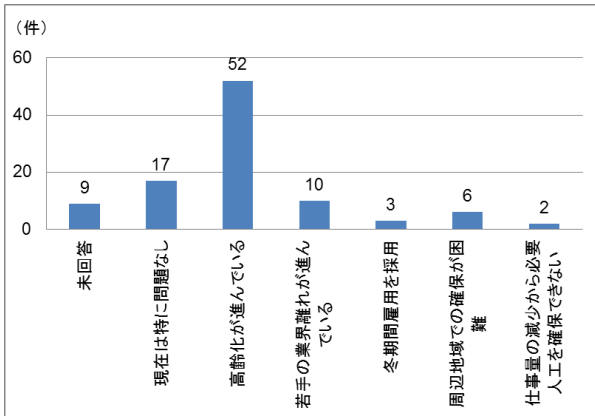


図-15 作業従事者確保の現状

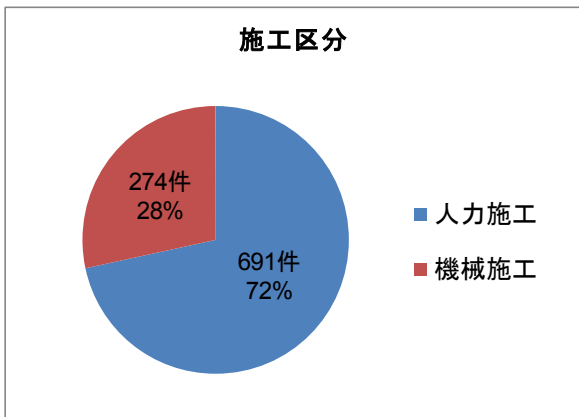


図-16 施工区分

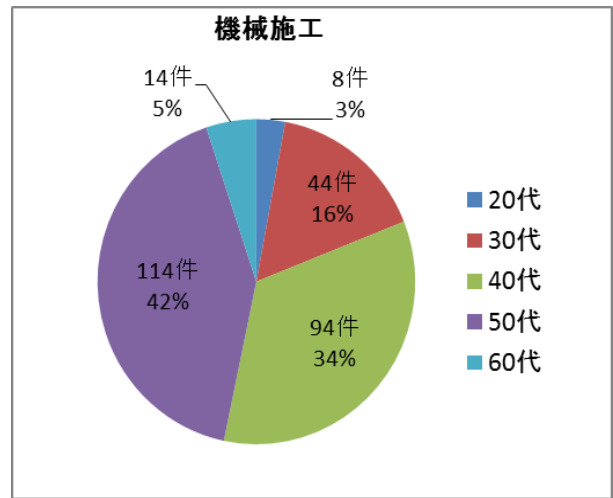
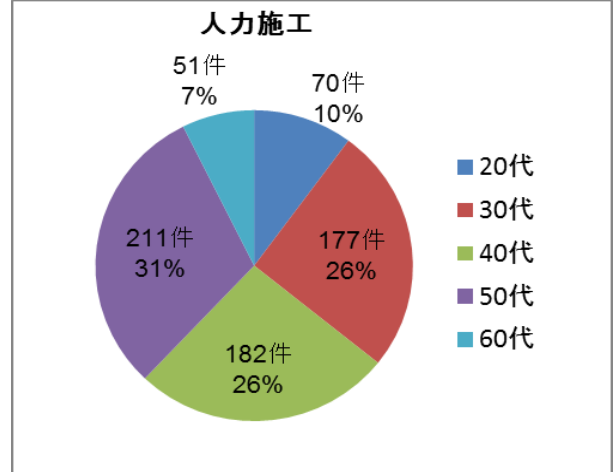


図-17 作業従事者の年齢構成

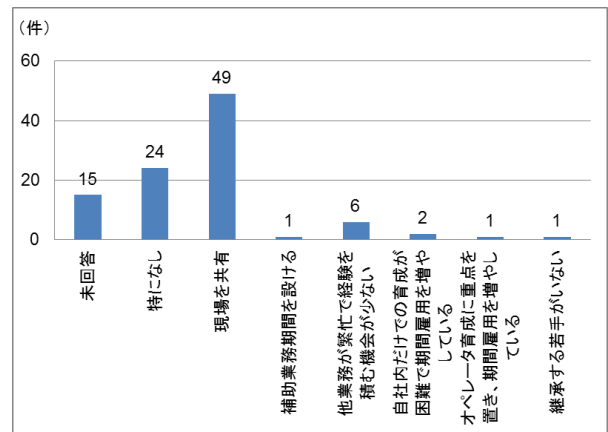


図-18 若手技術者への技術継承方法

2. 4 道路法面の除排雪事例集

平成 22 年度～平成 23 年度に実施した除排雪実態調査の際に、協力頂いた方々から「他の現場で実施されている除排雪工法について紹介してもらいたい」との要望を受け、道路管理者および作業従事者向けの参考資料として、各現場における作業方法や作業に当たっての留意点、創意工夫などをとりまとめた「道路法面の除排雪事例集」を作成した（図-19）。以下に、その一部を紹介する。

人力施工は、落下防止用の命綱を取り付け作業している（写真-3 の①）。急勾配の法面や高所の作業では、高所作業車を用いる方法（②）やブルーシートで雪を滑り落とす方法（③）があった。機械施工では、足場を作りながら法面に上がる方法（④）やワイヤーで雪切りする方法（⑤）があった。

また、雪崩予防柵にスタッフや管理番号を付けて状態監視する方法（⑥）、梁材部や柵間にエキスパンドメタルやネットを張って、雪のすり抜けを防止する方法（⑦、⑧）、雪崩予防柵の先端に鋼板を取り付け、巻きだれの成長を軽減する方法（⑨）などがあった。

さらに、路肩が狭いところでは法尻に合板を設置し道路への雪流出を防止している方法（⑨）もあったが、多くは路肩に防護堤の目的で雪堤を形成していた（⑩）。

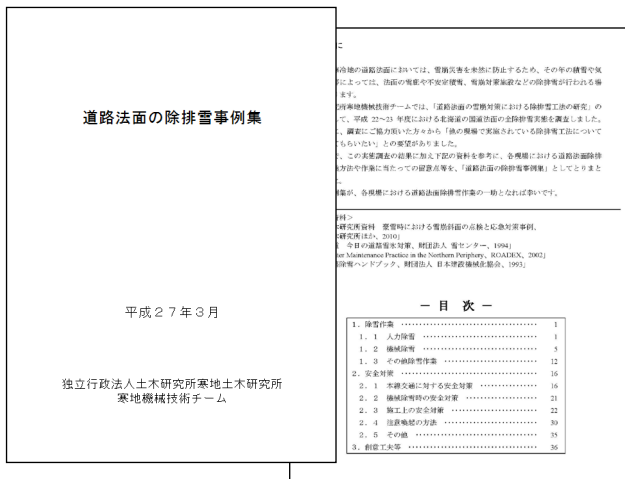


図-19 道路法面の除排雪事例集

3. 道路法面の効率的な除排雪工法

雪崩予防柵周辺の除排雪作業にかかる人工、日数、費用が大きいことから、省力化による効率的な除排雪工法を検討した。また、道路法面に形成される雪庇、特に大規模な雪庇についても、人力施工頼りで人工、費用とも大きく、しかも高所で危険を伴う作業のため効率的で安全性の高い除排雪工法を検討した。

3. 1 雪崩予防柵周辺の除排雪工法

雪崩予防柵（吊柵）は、雪崩発生の事前防止を目的に、雪崩発生区の法面に設置される固定アンカーを有したロープで吊り下げられた構造物である。

積雪寒冷地の道路法面には、法面勾配や最大積雪深、法面の植生などにより、この雪崩予防柵が設置されているが、その年の積雪や気象状況などによっては、設置法面においても除排雪が行われる場合がある。

しかし、この除排雪は、柵が法面に垂直に設置されているため、柵山側の背圧領域の除排雪作業における機械施工の障害となり、人力施工の負担が大きくなる要因となっている。

そこで、この柵山側の背圧領域の効率的な除排雪工法について検討した（写真-4、5）。



写真-3 道路法面事例集掲載の写真（抜粋）



写真-4 雪崩予防柵の設置状況と検討対象



写真-5 雪崩予防柵の背圧領域（山側）の除排雪状況

(1) 雪崩予防柵周辺の除排雪方法

雪崩予防柵周辺の除排雪の実施範囲は、今後の降雪に備えて最下段の雪崩予防柵の背圧領域と柵下から法尻にかけての法面を除排雪する場合（ケース①）、雪庇や巻きだれなどの積雪斜面から張り出した箇所のみを除排雪する場合（ケース②）が多い（図-20、写真-6）。

施工は、機械の作業可能範囲内は機械、それ以外は人力で行われ、その境界は最下段の柵となっている。



写真-6 雪崩予防柵周辺の除排雪状況

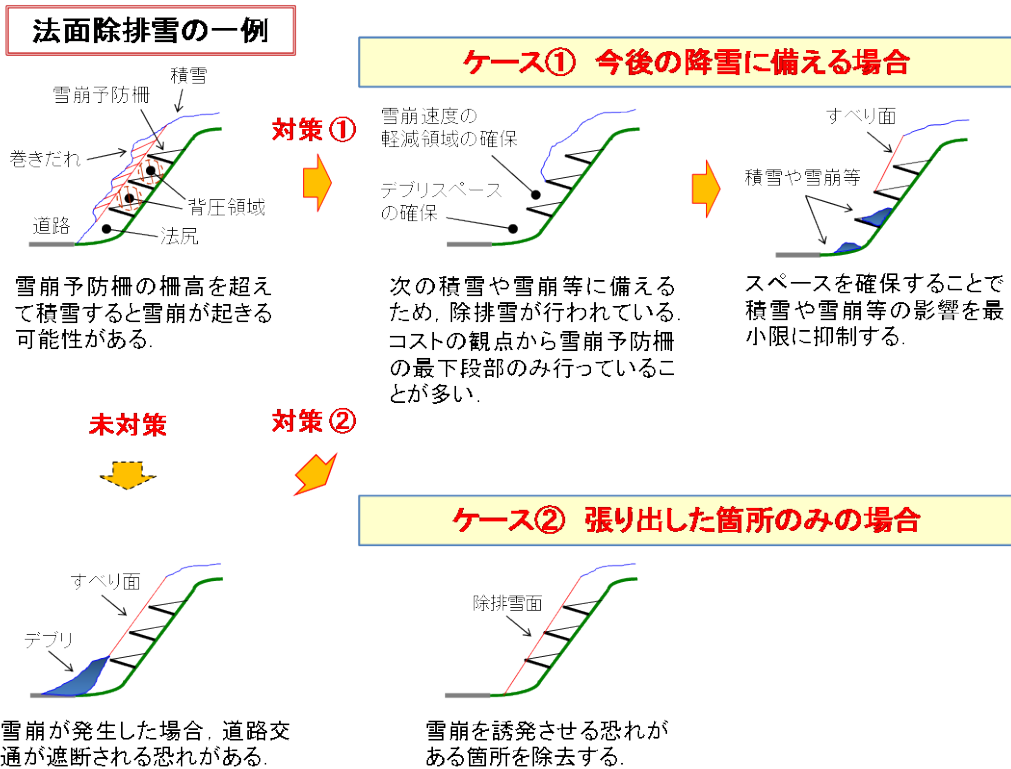


図-20 雪崩予防柵周辺の除排雪方法

3. 1. 1 傾倒式雪崩予防柵の検討

機械施工の作業可能範囲の拡大による人力施工の負担軽減を図るため、除排雪時に柵を法面の谷方向に傾倒させる傾倒式雪崩予防柵を考案、試作した。

(1) 傾倒式雪崩予防柵の概要

当研究所の角山実験場（江別市）に設置した仮設架台斜面を使用して、試作した構造と機構の異なる6種類の傾倒式柵の傾倒・起立動作および作業性の確認試験を行い（写真-7）、現場適用が期待できる2種類を選定した。



写真-7 傾倒・起立動作、作業性の確認状況

選定した2種類（A型、B型）について、現場設置に向けた実柵の設計および製作を行った（図-21、22）。

A型柵は、支柱とサポートが一体型で、支持ロープとの接続は支柱の上部とサポートの先端である。一方、B型柵は、支柱とサポートが独立型で、支持ロープとの接続は標準型柵と同様に支柱の上部および下部である。A型とB型柵の違いは支柱とサポートの傾倒軸回りの形状および支持ロープの接続箇所、機能的な違いはない。

また、A型とB型どちらも、標準型柵の支持ロープとサポートを交換することで傾倒式に改造できる。

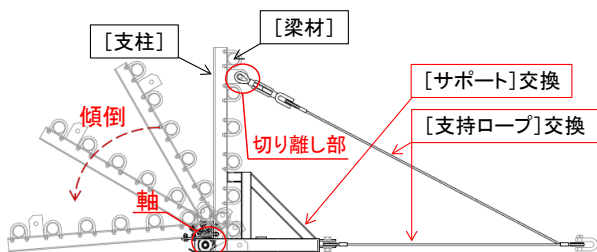


図-21 傾倒式 A 型柵の概略図

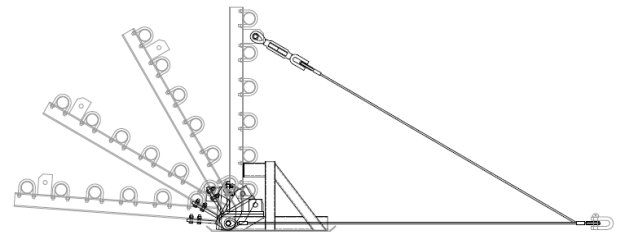


図-22 傾倒式 B 型柵の概略図

(2) 傾倒式雪崩予防柵の効果

除排雪時に傾倒式雪崩予防柵を谷方向へ傾倒させることで機械施工の範囲が拡大し人力施工の負担軽減が見込まれる（図-23、写真-8）。

ただし、傾倒式雪崩予防柵の設置箇所は、除排雪実態を踏まえ最下段のみとする。

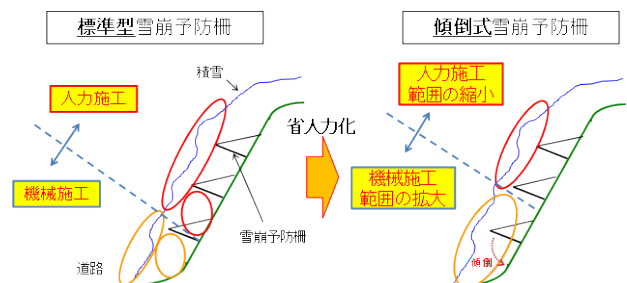


図-23 傾倒式柵による機械施工範囲の拡大



写真-8 機械施工の作業範囲の拡大イメージ

3. 1. 2 傾倒式雪崩予防柵の現場検証

傾倒式雪崩予防柵による柵周辺の除排雪の作業性や費用などに関する現場適用性を検証するため、平成26年度、国土交通省北海道開発局管理の一般国道の法面に傾倒式雪崩予防柵を4基設置した（写真-9、10）。

最下段に設置されている8基の既設標準型雪崩予防柵の内、No.4～7の4基を傾倒式A型（No.5、No.7）と傾倒式B型（No.4、No.6）に2基ずつ取り替え設置

した。

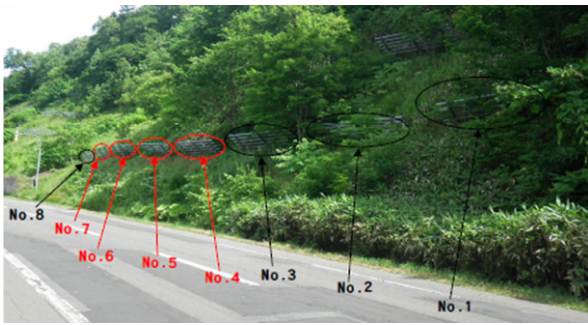


写真-9 現場法面の全景（夏期）



写真-10 雪崩予防柵の設置状況

(1) 現場法面の特徴と維持管理方法

現場法面の管理は、斜面積雪を人力にて小段状に雪踏みし安定化を図っているが、雪庇や巻きだれが発生した場合は、表層雪崩を誘発しないように、張り出し箇所の除排雪を行っている。さらに、降雪が続き柵が埋まるような積雪が想定される場合は、柵の背圧領域の除排雪を行っている。

背圧領域の除排雪は、例年1月中旬～2月下旬に2回行われており、1回当たり30～50人工を要している。

(2) 傾倒式雪崩予防柵の設置

傾倒式雪崩予防柵の設置工事は、当該工区の維持除雪工事業者が担当した。

通常の新設や取り替え工事と同様に、1車線交通規制を設けてラフテレーンクレーンで行われた(図-24)。

今回の取り替え工事は、柵の支柱高さが同じでアンカーの変更はないので、主索ケーブルと支持ロープを接続しているシャックル(図-25)から脱着して既設の柵を取り外した。

取り外した柵は、維持除雪工事業者の最寄りの作業場に運搬して、そこで傾倒式に改造した(写真-11)。改造終了後、再び現場まで運搬し法面に設置した(写真-12、13)。

これら一連の作業時間は、既設柵の取り外しが4基で約30分、改造が、A型、B型どちらも4～6人作業で1基当たり約40分、設置が、傾倒動作の確認を含めて4基で約100分であった。

なお、これら一連の取り替え工事は、技術的難易度は高くなく、専門業者でなくても実施可能である。

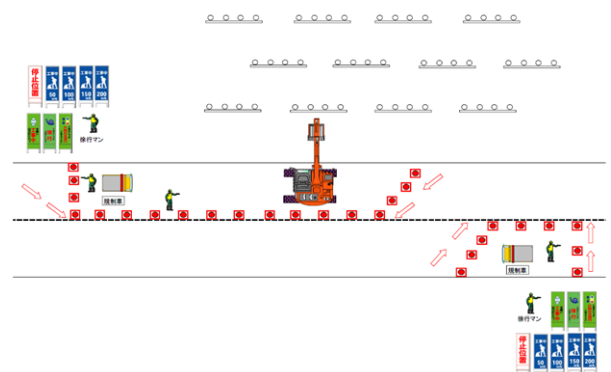


図-24 1車線交通規制の概略図

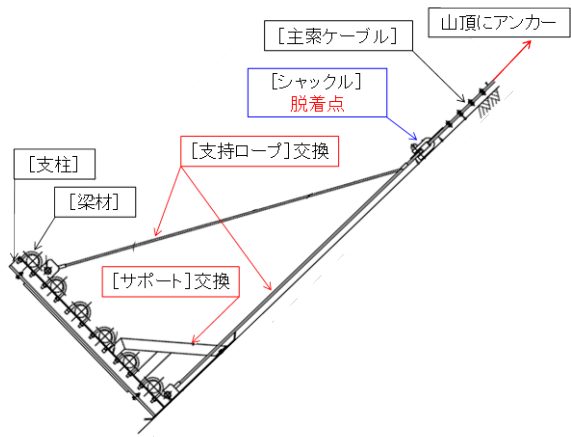


図-25 標準型雪崩予防柵の概略図



写真-11 傾倒式柵への改造作業状況



写真-12 傾倒式柵の設置作業状況

(3) 傾倒式雪崩予防柵の除排雪作業手順

傾倒式雪崩予防柵の除排雪作業は以下の手順で実施する。なお、この手順は、試験除排雪に向けて道路管理者および当該工区担当の維持除雪工事業者と協議して決定したものである(図-26)。



写真-13 傾倒式柵の傾倒動作確認状況

- (i) 最下段の柵の柵下から法尻にかけて機械で除排雪する(図-26の①)。この時に、傾倒作業に伴う雪崩誘発の安全対策として積雪断面を観測する。
 - (ii) 積雪断面に弱層がある場合は、弱層より上部の積雪を事前に取り除く。
 - (iii) 最下段の柵の雪庇や巻きだれを人力で除排雪する(図-26の②)。
 - (iii) 2段目の柵の雪庇や巻きだれを人力で除排雪する(図-26の③)。
 - (iv) 柵を傾倒させる前に、機械施工ができない範囲を予め人力で除排雪する(図-26の④)。
 - (v) クレーン仕様のバックホウ等を使用し表層雪崩を誘発しないように柵を1基ずつ徐々に傾倒させる。
 - (vi) 柵の山側の積雪をバックホウ等の機械で除排雪する(図-26の⑤)。
 - (vii) 除排雪終了後、バックホウ等を使用して柵を起立させ元の状態にする。
- また、積雪深によっては、雪崩予防柵に掛かる加

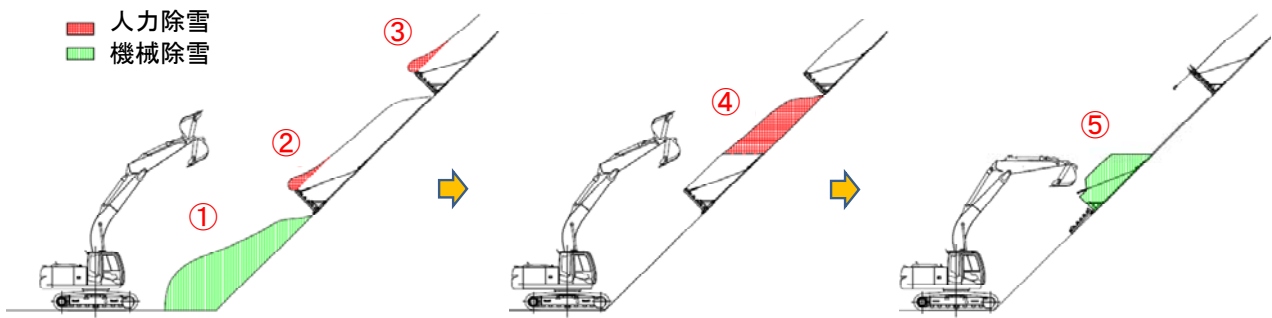


図-26 傾倒式雪崩予防柵の除排雪作業手順

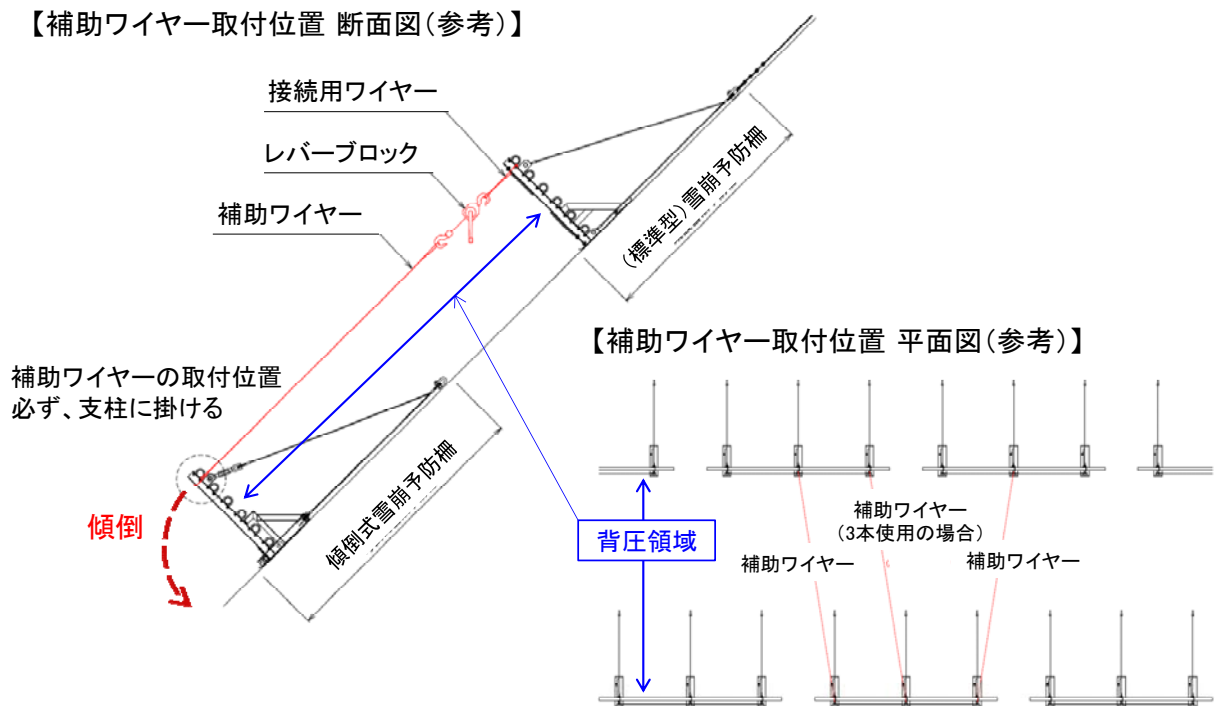


図-27 補助器具の取り付けイメージ

重が大きいことがあるので、必要に応じてバックホウ等の機械の他に、補助ワイヤーおよびレバーブロック等の補助器具を取り付ける (図-27)。

(4) 傾倒式雪崩予防柵の試験除排雪

試験除排雪を平成 27 年 2 月 26 日に実施した。しかし、この年は数十年に一度の少雪で、平年の除排雪を実施する積雪と比べると極端に少なかった (図-28、写真-14)。

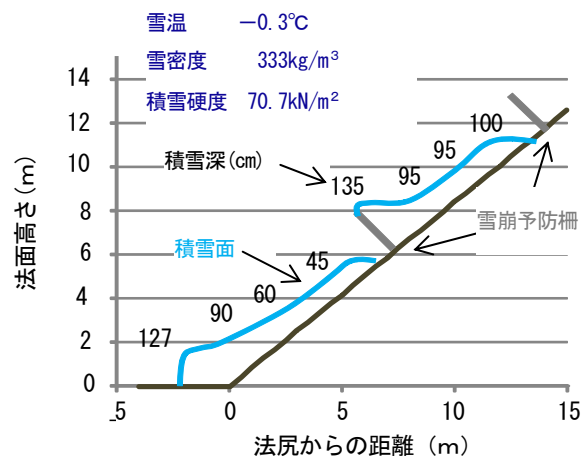


図-28 最下段柵周辺の積雪深 (H27.2.26)



① 柵下の除排雪（機械施工）



② 柵下の除排雪（人力施工）



③ 柵上部にワイヤーを玉掛



④ 重機による柵の傾倒



⑤ 柵背圧領域（山側）の除排雪（機械施工）



⑥ 柵背圧領域（山側）の除排雪（人力施工）



⑦ 重機による柵の吊り起こし



⑧ 除排雪完了後の法面

写真-14 傾倒式雪崩予防柵周辺の試験除排雪作業状況

(5) 傾倒式雪崩予防柵の現場適用性検証

雪崩予防柵の除排雪に係る人工、費用を標準型柵と傾倒式柵で比較検証した。

試験除雪時に、傾倒式柵（No.7）とそれに隣接する既設の標準型柵（No.8）の除排雪作業歩掛を調査した（表-3）。

歩掛調査対象の除排雪作業の範囲は、最下段柵の背圧領域（柵山側）とした。この場合、標準型柵は人力作業、傾倒式柵は人力と機械の作業である。

表-3の歩掛から、各積雪深毎の標準型柵と傾倒式柵の除排雪費用を試算した（表-4）。

なお、試算にあたり、標準型柵の除排雪については人力なので、積雪深に比例して大きくなり、また、傾倒式柵の除排雪は、人力については機械施工で除雪しきれない部分の補助的作業なので、積雪深に関係なく一定とし、機械についても積雪深により変わらないと仮定した。

試算の結果、積雪深が1.5m以下では標準型柵の除排雪の方が、可倒式柵より安価となったが、積雪深が2.0m以上では可倒式柵の方が安価となった。平年の雪崩予防柵周辺の除排雪時の積雪深は、柵高からすると概ね2m以上と推測されるので、可倒式柵は除排雪費用の縮減に有効であり、同時に省力化にもつながると考えられる。

(6) 傾倒式雪崩予防柵の今後の課題

試験除排雪を行った平成26年度は、数十年に一度の少雪であったため、平年の除排雪時期の積雪条件ではなかった。積雪深や雪質、雪密度、雪硬度などが異なる平年の積雪条件下での作業性および費用等の検証が必要である。

表-3 標準型柵と傾倒式柵の除排雪歩掛（H26年度試験除排雪から）

※単価は平成27年3月現在

柵形式	除雪形態	柵高(m)	積雪深(m)	人工(人)	台数(台)	日数(日)	柵数(基)	1基当たり人工(人)	1基当たり日数(日)
標準型	人力	1.5	0.5	2		0.063	1	0.126	
傾倒式	人力 機械	1.5	0.5	2	1	0.031 0.042	1	0.062	0.042

表-4 標準型柵と傾倒式柵の除排雪費用（1基当たり直接工事費）

※単価は平成27年3月現在

積雪深(m)	標準型柵				傾倒式柵			
	名称	数量	単価	金額	名称	数量	単価	金額
0.5	普通作業員	0.126	13,500	1,701	普通作業員	0.062	13,500	837
	計			1,701	バックホウ運転 計	0.042	123,000	5,166 6,003
1.0	普通作業員	0.252	13,500	3,402	普通作業員	0.062	13,500	837
	計			3,402	バックホウ運転 計	0.042	123,000	5,166 6,003
1.5	普通作業員	0.378	13,500	5,103	普通作業員	0.062	13,500	837
	計			5,103	バックホウ運転 計	0.042	123,000	5,166 6,003
2.0	普通作業員	0.504	13,500	6,804	普通作業員	0.062	13,500	837
	計			6,804	バックホウ運転 計	0.042	123,000	5,166 6,003
2.5	普通作業員	0.63	13,500	8,505	普通作業員	0.062	13,500	837
	計			8,505	バックホウ運転 計	0.042	123,000	5,166 6,003

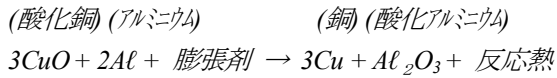
3. 2 大規模な雪庇を対象にした除排雪工法

道路法面に形成される大規模な雪庇の効率的な除排雪工法として、岩盤やコンクリート構造物の解体処理に使用されている非火薬組成の破碎剤の活用を検討した。

3. 2. 1 非火薬破碎剤の概要

非火薬破碎剤は、酸化銅とアルミニウムによるテルミット反応を利用した薬剤で、火薬類を使用していないことから法による規制が少なく、低騒音かつ低振動で破碎を行えることが特徴である。

以下に非火薬破碎剤の化学反応式を示す。



3. 2. 2 非火薬破碎剤の雪庇除排雪への適用

非火薬破碎剤の雪庇除排雪への適用を確認するため、破碎剤を雪中に配置して発破試験を行い、発破時

の雪の破碎状況および破碎伝播圧を調べた。

また、自然環境が保護管理されている国立公園内などの道路法面での使用も考慮し、発破による破碎生成残渣の分析を行った。分析は、「水質汚濁に係る環境基準」、「土壌汚染に係る環境基準」、「ダイオキシン類による大気汚染、水質汚濁（水底の低質汚染を含む。）及び土壌汚染に係る環境基準」に準拠した。しかし、どの環境基準に準ずるかなどは、それぞれの国立公園等の管理者との協議によるところである。

(1) 雪中発破試験

試験は、交通等による外的影響を受けていない自然積雪の雪中で行った。試験日時および試験場所を下記に、試験項目を表-5に示す。

① 試験日：

平成25年2月12日（破碎生成残渣採取）

平成25年2月25日、26日（破碎伝播圧測定）

② 試験場所：

寒地土木研究所 石狩実験場

表-5 試験項目

試験項目	種別	細別
雪の破碎状況の確認 破碎伝播圧の測定	単発発破(1本)	0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m
	斉発発破(4本)	直列配置1.0m間隔, 千鳥配置1.0m間隔
破碎生成残渣の分析	重金属	カドミウム, シアン, 鉛, 有機リン, 六価クロム, 砒素, 総水銀, アルキル水銀, PCB, ホウ素, フッ素
	ダイオキシン類	ダイオキシン類
	化合物	酸化アルミニウム, アルミニウム, 溶解性アルミニウム, 銅, 酸化銅
	その他	pH, 硫酸イオン, 硝酸イオン

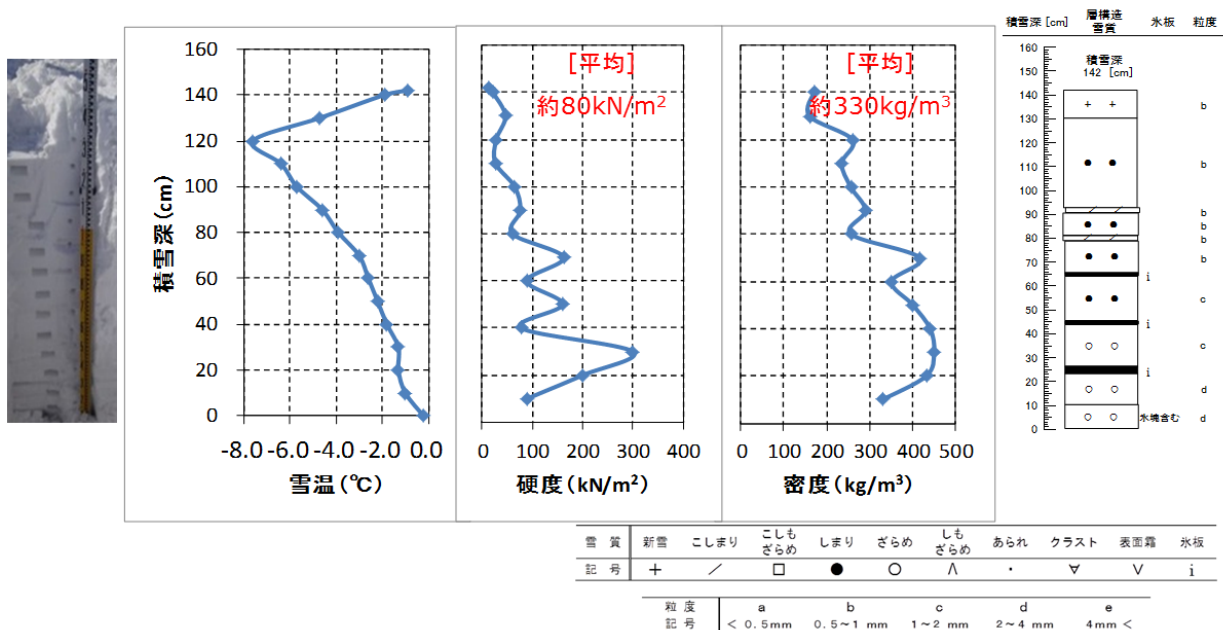


図-29 試験場所の自然積雪の断面観測結果

また、試験場所の積雪断面観測を行った。観測結果は図-29に示すとおり、積雪深0~45cm ざらめ雪、45~130cm しまり雪、平均雪硬度が約80kN/m²、平均雪密度が約330kg/m³だった。なお、破砕剤は、試験日時点で市場に流通していた3種類（破砕剤A、B、C）を用いた。

(2) 破砕伝播圧の測定

破砕伝播圧は、非火薬破砕剤から一定の距離にロードセル3個を組み込んだ受圧板を配置し、受圧板での圧力を計測した。破砕剤と受圧板の設置断面図および平面図を図-30~32に、破砕剤の設置模式図を図-33に、試験状況を写真-15、16に示す。

破砕剤を雪中で発破した場合、雪への破砕効果があったのは、破砕剤AとBの2種類で、破砕量は破砕剤A、Bの順で多かった（写真-17）。

破砕伝播圧の測定結果を図-34~39に、破砕剤からの距離と最大伝播圧の関係を図-40に示す。

破砕伝播圧は、破砕剤A、B、Cの順で大きく、伝播圧が、概ね1kN/m²以上で雪の破砕が確認された。したがって、雪の破砕範囲は、破砕剤Aは中心から約1.5m、破砕剤Bは中心から約1m程度である。

また、今回の試験では、破砕剤の連続配置と千鳥配置での破砕伝播圧の明確な違いは見られなかった。

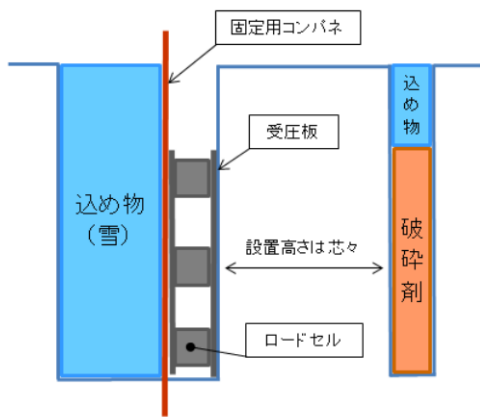


図-30 設置断面図

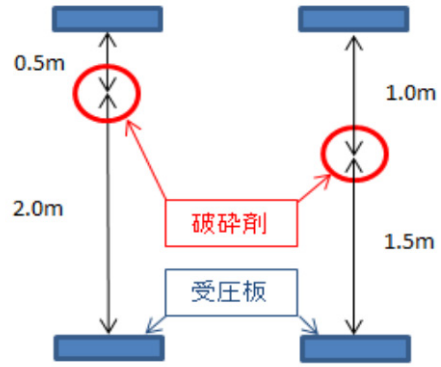


図-31 設置平面図（単発発破）

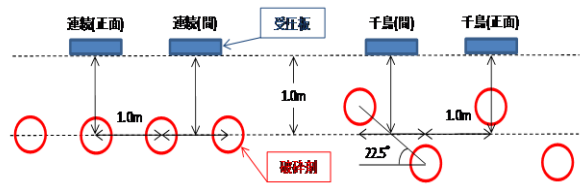


図-32 設置平面図（斉発発破）

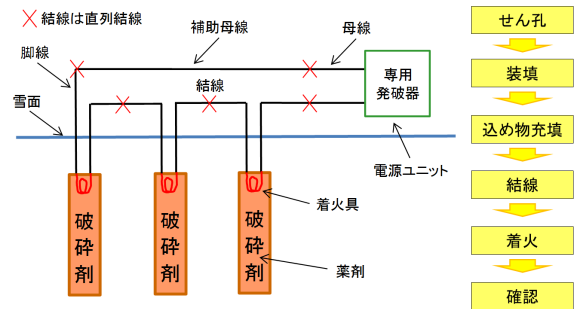


図-33 破砕剤の設置模式図



写真-15 せん孔作業状況



写真-16 発破状況（破砕剤 A、斉発発破）

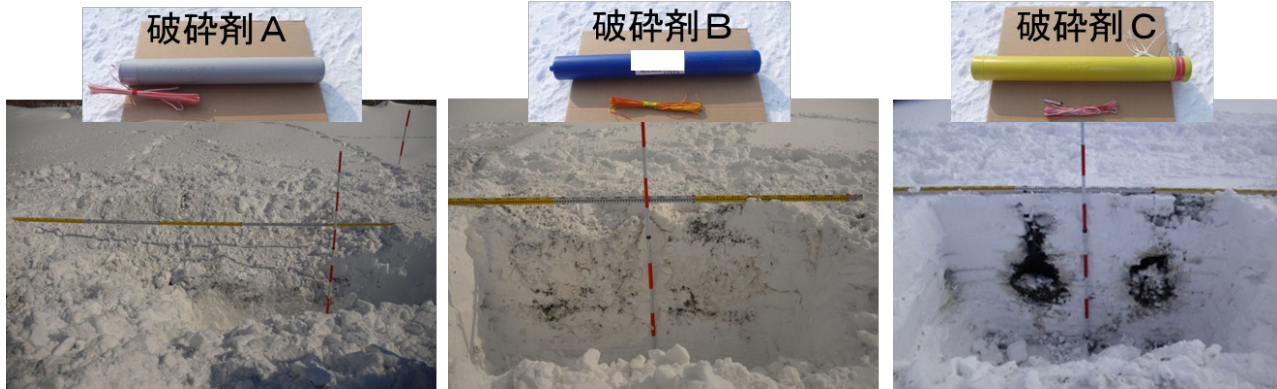


写真-17 雪中発破による雪の破砕状況（破砕状況が分かるように破砕断面カット）

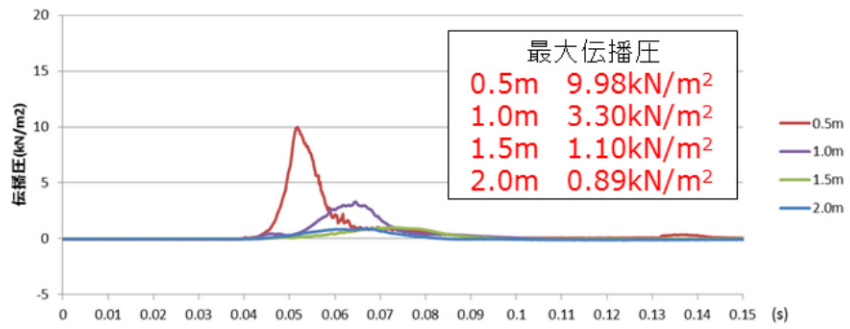


図-34 破砕伝播圧の測定結果（破砕剤 A、単発発破）

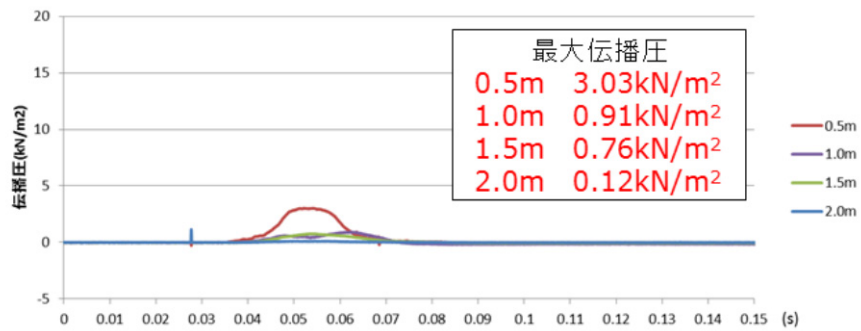


図-35 破砕伝播圧の測定結果（破砕剤 B、単発発破）

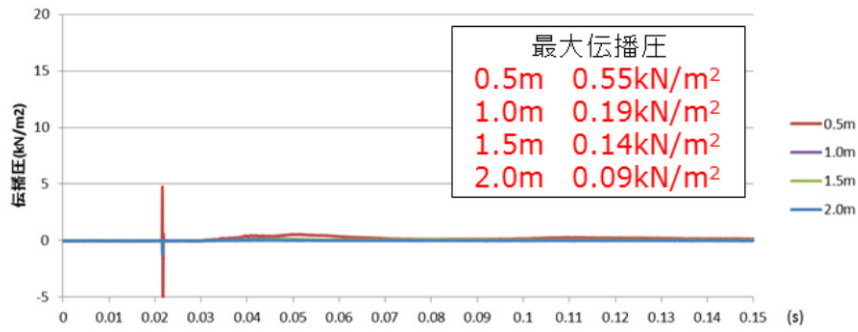


図-36 破砕伝播圧の測定結果（破砕剤 C、単発発破）

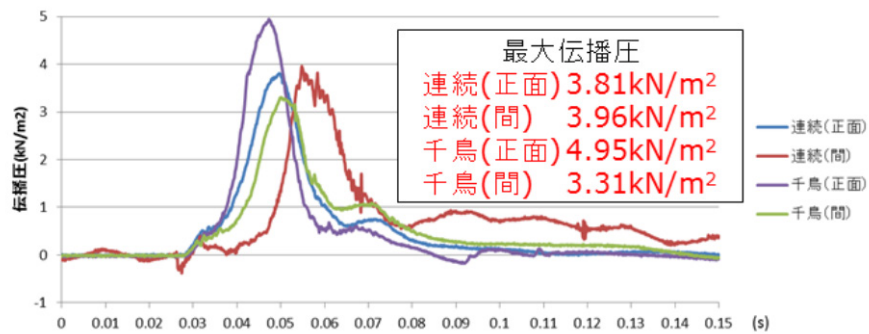


図-37 破砕伝播圧の測定結果（破砕剤 A、斉発発破）

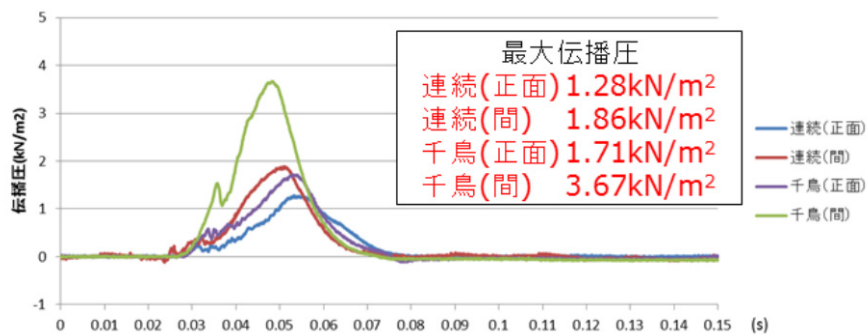


図-38 破砕伝播圧の測定結果（破砕剤 B、斉発発破）

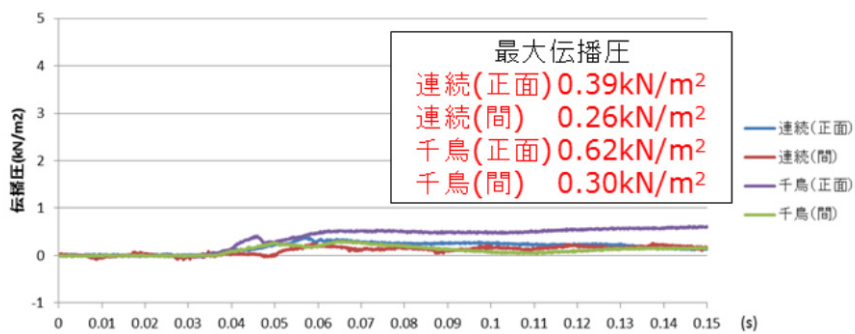


図-39 破砕伝播圧の測定結果（破砕剤 C、斉発発破）

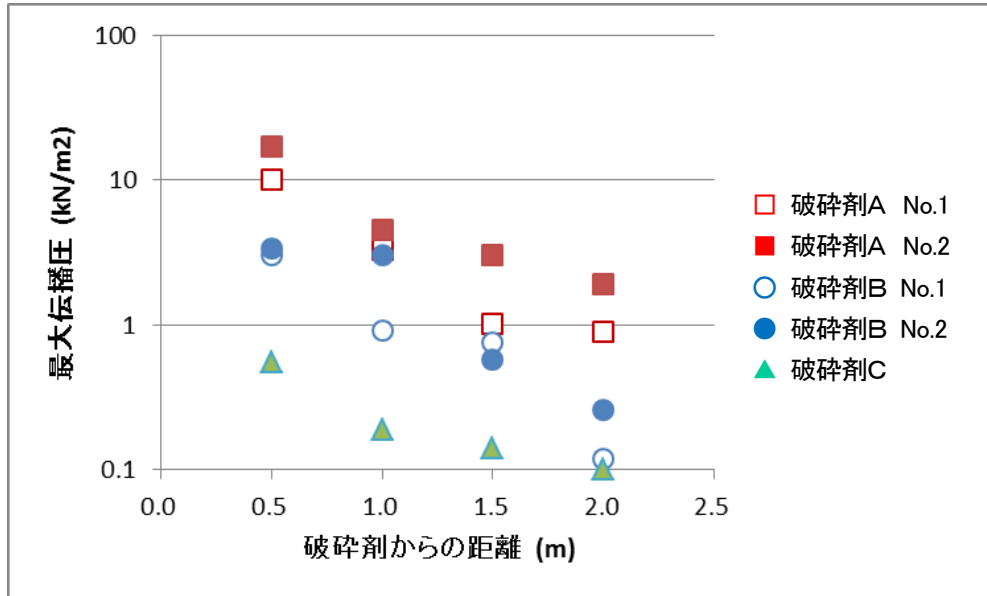


図-40 破砕剤からの距離と最大伝播圧の関係

(3) 破砕生成残渣の分析

雪中で発破した場合に生じる破砕生成残渣は、発破による破砕影響部の雪を全量採取し、その雪を溶かしたものを検体とし、各破砕剤について2検体ずつ分析した。破砕影響部の雪の採取概要を図-41に示す。また、自然由来の物質の量を確認するため、自然積雪のままの雪（blank snow）についても分析を行った。

分析結果を表-6~9に示す。表中の赤の数値は環境基準値を超えているものである。また、表中に記載している融雪量は、検体を作製するために採取した雪を融かした量で、各発破で破砕影響部の範囲が異なるため各検体の融雪量は異なっている。

破砕剤 A、B、C の主成分はほぼ同じであるが、破砕生成残渣の成分と量にはかなりの違いがある。全分析項目が環境基準値以下なのは破砕剤 A であるが、分析項目の濃度は、融雪量により大きく変化する。

今回の分析では、最も過酷な条件として、発破で影響を受けた雪のみを融解し各成分濃度を比較したが、実際の雪底に使用した場合、雪融け時には周辺の大量な雪に希釈されるため、濃度は大幅に低くなると考えられる。

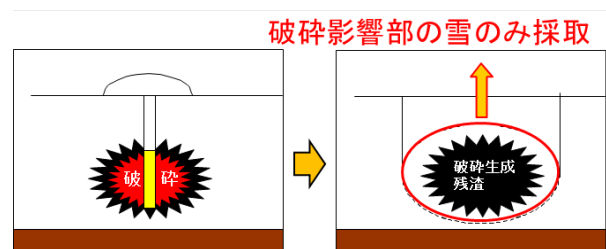


図-41 破砕影響部の雪の採取概要

表-6 破碎生成残渣の分析結果（重金属）

※環境基準：「水質汚濁に係る環境基準」および「土壌汚染に係る環境基準」

(01)カドミウムは値が厳しい「水質汚濁」、(04)有機リンは「土壌汚染」の基準値を採用

※赤の数値は環境基準値を超えたもの

重金属分析	環境基準 (mg/l)	ブランク雪	破碎剤A ①	破碎剤A ②	破碎剤B ①	破碎剤B ②	破碎剤C ①	破碎剤C ②
		融雪量 66l	融雪量346l	融雪量298l	融雪量103l	融雪量 52l	融雪量142l	融雪量117l
(01) カドミウム	0.003以下	<0.003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0005	0.0007	0.0008
(02) シアン	検出されないこと	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
(03) 鉛	0.01以下	0.003	0.008	0.008	0.33	0.44	0.022	0.028
(04) 有機リン	検出されないこと	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
(05) 六価クロム	0.05以下	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
(06) 砒素	0.01以下	0.001	0.003	0.002	0.004	0.010	0.009	0.013
(07) 総水銀	0.0005以下	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
(08) アルキル水銀	検出されないこと	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
(09) PCB	検出されないこと	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
(10) 杓素	1以下	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.13	0.16
(11) フッ素	0.8以下	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1

表-7 破碎生成残渣の分析結果（ダイオキシン類）

※環境基準：「ダイオキシン類による大気汚染、水質汚濁（水底の低質汚染を含む。）

及び土壌汚染に係る環境基準」

ダイオキシン類含有分析	環境基準 (pg-TEQ/l)	ブランク雪	破碎剤A	破碎剤B	破碎剤C
(01) ダイオキシン類含有量	1以下	0.31	0.75	0.25	0.15

表-8 破碎生成残渣の分析結果（化合物）

※環境基準なし

残渣化合物分析	環境基準 (mg/l)	ブランク雪	破碎剤A ①	破碎剤A ②	破碎剤B ①	破碎剤B ②	破碎剤C ①	破碎剤C ②
(01) 酸化アルミニウム		0.25	8.8	2.3	490	530	590	730
(02) アルミニウム		0.13	4.7	1.2	260	280	300	390
(03) 溶解性アルミニウム		0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	95	150
(04) 銅		0.35	76	49	330	1500	380	590
(05) 酸化銅		0.44	95	62	410	1900	480	740

表-9 破碎生成残渣の分析結果（その他）

※環境基準なし

その他	環境基準 (mg/l)	ブランク雪	破碎剤A ①	破碎剤A ②	破碎剤B ①	破碎剤B ②	破碎剤C ①	破碎剤C ②
(01) pH		5.3	6.5	6.7	7.4	6.8	4.5	4.4
(02) 硝酸イオン		1.1	1.0	1.2	1.3	1.1	2.3	1.8
(03) 硫酸イオン		5.2	12.2	5.1	1100	2250	5700	2900

(4) 非火薬破砕剤の除排雪作業手順

非火薬破砕剤の除排雪作業は以下の手順で実施する(図-42)。なお、手順は既往の知見に基づき作成した一般的な事項であり、斜面規模や勾配、雪庇状況等によって個別に検討する必要がある。

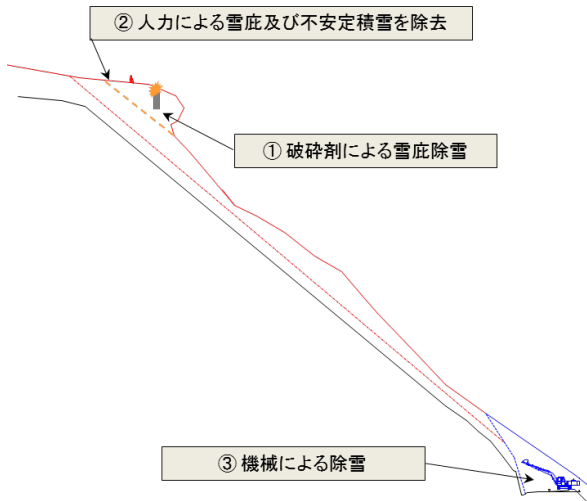


図-42 非火薬破砕剤による除排雪作業手順

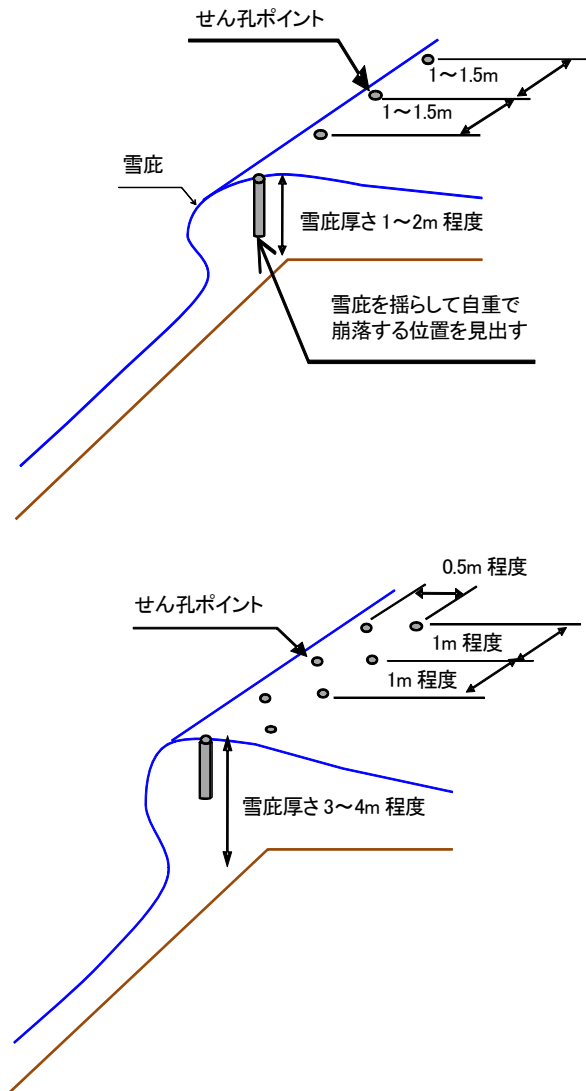
①非火薬破砕剤による雪庇の発破

破砕剤による雪庇の発破(写真-18)は、雪庇の付け根部に破砕剤を装填して発破し、その部分の雪を破砕して雪庇の自重で崩落させて行すが、破砕剤の装填位置が雪庇発破の成否に大きく影響する。

破砕剤の装填位置は、そこを発破することで雪を破砕するとともに、さらに、雪庇を揺らして自重で崩落させることをイメージして決定する。

装填深さは、雪庇の厚さにもよるが1~2mが一般的である。なお、融雪期は、高めの気温と日射の影響で、積雪表面付近が、ざらめ雪化していることがある。この場合、ざらめ雪層で発破させても圧力は伝播せずに、その部分を破壊するにとどまるので、スノーサンプラー等を用いて積雪断面を調査し、ある程度の硬度がある深さに装填することが重要である。

縦断方向の配置間隔は、雪質にもよるが1~1.5mが一般的である。雪庇の厚さが1~2m程度であれば1列配置で問題はない。ただし、3~4m程度の厚い雪庇の場合は、それでは破砕しきれないことがある。このような場合は、2列の千鳥配置として破壊力を高める必要がある(図-43)。なお、3列以上の配置は、破壊の圧力が、お互いに打ち消し合い雪庇が崩落しない場合があるので、十分な検討が必要である。



上図：雪庇厚さ1~2m程度

下図：雪庇厚さ3~4m程度

図-43 非火薬破砕剤の設置位置の概念図



写真-18 非火薬破砕剤による雪庇の発破状況(イメージ)

②人力による除排雪

破砕剤による発破後に、不安定積雪が残った場合は、人力施工で除排雪する。

③機械による除排雪

発破や人力施工によって崩落した雪は、法面下方に流下し堆積するため、それを機械施工で除排雪する。

④発破により雪庇が崩落しなかった場合の作業手順

発破により雪庇が崩落せず、クラックが形成されてしまった場合、過去の事例では、その後に再度発破を試みても、クラックにより発破の伝播圧が伝わらず、効果的な雪庇の崩落ができない。

雪庇が崩落しなかった場合は、まず、現場でクラックの有無を確認する。クラックは、積雪表面まで達していない場合や達していたとしても極めて幅が狭い場合があるので留意が必要である。

クラックがないと判断されれば、発破失敗の原因を究明し、新たな装填箇所を決定して再度発破を試みる。

クラックが形成されている場合は、クラックにスコップなどを入れて揺すり崩落を試みる。このとき、作業員は雪庇の山側に位置取り、安全带等で安全を確保したうえで作業をすることが原則である。

この作業でも雪庇が崩落しない場合には、基本的に即時対応は不可能で、継続的に雪庇の経過観察を行うことになる。この間は当然、法面下の道路の安全確保が重要になるので、交通の制限や法面下の路側に相応の規模の雪崩を止める雪堤等の形成が必要になる。その後、時間経過とともにクラックが消滅すれば、そのときの雪庇の状況に応じて再度発破を試みる事が可能になる。なお、暖気などで雪庇自体が消滅、あるいは小さくなり崩落の危険性がないと判断されれば、当作業は終了となる。

作業手順を図-44に示す。

(5) 非火薬破砕剤の導入効果

非火薬破砕剤の導入効果は、除排雪費用（経済性）および作業時間（効率性）を試算し、人力施工の場合と比較して検証した。

試算対象の雪庇規模は、延長 50m、雪庇除去量 500m³を想定した（写真-19）。この規模の雪庇の場合、人力施工では、土木一般世話役8人工、普通作業員75人工、作業日数4~5日を要している（写真-20、表-10）。

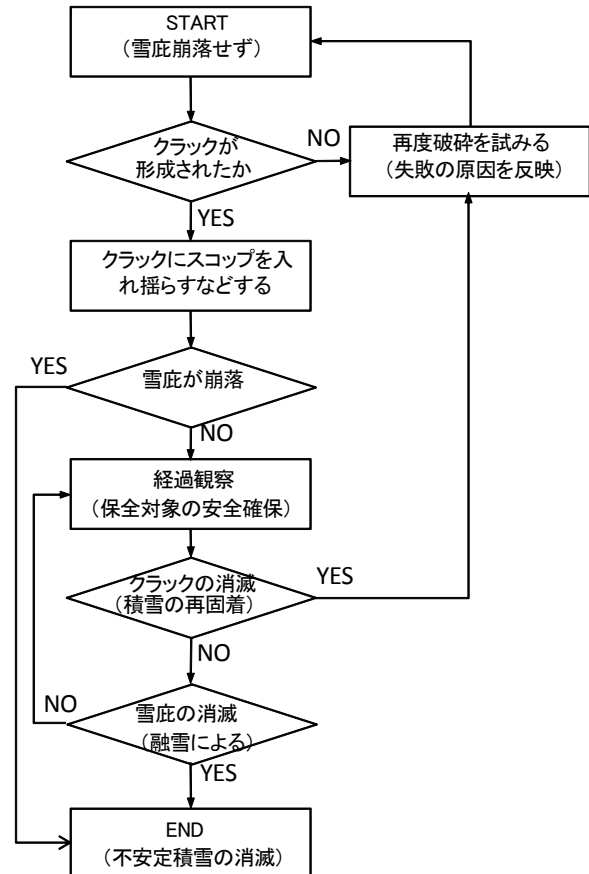


図-44 発破により雪庇が崩落しなかった場合の作業手順

非火薬破砕剤を使用する場合の除排雪費用は以下の条件で試算した（表-11）。

配置方法：2列千鳥配置

配置間隔：縦断方向 1m、列間 0.5m

使用本数：50m 区間に対して、51本×2列=102本
点火器能力：30本/台

発破回数：102本/30本=3.4回
⇒4回（26本/回）

発破時間：せん孔：39分
※15分/10本×26本

（スノーサンプラーせん孔仮定：15分/10本）

安全退避・発破：5分

法面健全度点検・筒材回収：30分

合計 74分/回

作業日数：74分/回×4回=296分/60分
=4.9時間⇒1日

試算の結果、図-45のとおり、雪庇の除排雪に破砕剤を使用した場合、除排雪費用の縮減および人工の省力化が図られる。また、作業日数も短縮できる。



写真-19 破砕剤の導入効果の試算対象とした雪庇のイメージ



写真-20 人力施工による雪庇の除排雪状況

表-10 人力施工の除排雪費用（直接工事費）

※単価は平成27年3月現在

項目	数量	単位	単価	金額	摘要
作業指揮（世話役）	8	人日	18,500	148,000	
人力除雪（普通作業員）	75	人日	13,500	1,012,500	
合計				1,160,500	

表-11 非火薬破砕剤の除排雪費用（直接工事費）

※単価は平成27年3月現在

項目	数量	単位	単価	金額	摘要
作業指揮（世話役）	1	人	18,500	18,500	1日当たり
発破技術者（さく岩工）	3	人	20,200	60,600	〃
人力除雪（普通作業員）	5	人	13,500	67,500	〃
計				146,600	
非火薬破砕剤	102	本	6,800	693,600	
破砕剤用点火器	1	台日	21,600	21,600	
計				715,200	
合計				861,800	

(6) 非火薬破砕剤の今後の課題

平成25年に行った発破試験に使用した破砕剤3種類の中で最も破砕能力が高く、かつ破砕生成残渣の少なかった破砕剤Aが、平成26年4月以降製造販売を中止したため、現時点で国内では破砕剤B、Cの2種類しか市場に流通していない。

しかし、実際の施工現場での破砕生成残渣の濃度の試算や管理者等との協議によっては、大規模な雪庇が毎年発生する知床峠のような国立公園内などの自然保護地域でも施工できる可能性がある。

今後、現在市場にある破砕剤の改良状況や新規の破砕剤の開発状況などを把握していく必要がある。

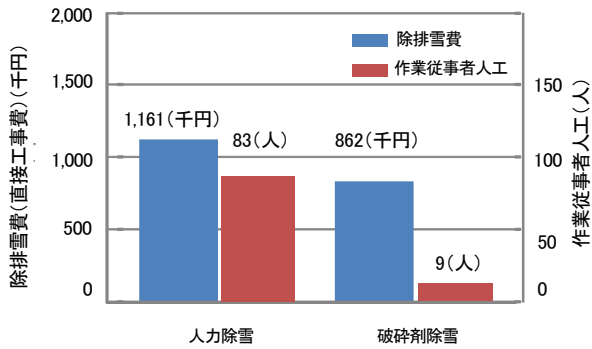


図-45 人力と非火薬破砕剤による除排雪費用および人工の比較

参考文献

- 国土交通省気象庁気象統計情報
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 北海道開発局：設計積雪深に関する技術資料、平成13年3月
- 内閣府大臣官房政府広報室：政府広報オンライン
ー最大で時速200kmものスピードに！雪崩（なだれ）から身を守るためにー
<http://www.gov-online.go.jp/useful/article/201311/4.html>
- 社団法人日本建設機械化協会・社団法人雪センター、2005：除雪・防雪ハンドブック（防雪編）、pp143-2

3.3 道路法面における除排雪工法の提案

道路法面における雪崩予防柵周辺および大規模な雪庇を対象にした効率的な除排雪工法を検討した。

雪崩予防柵周辺については傾倒式雪崩予防柵、大規模雪庇については非火薬破砕剤を活用する除排雪工法を試験検証した。

その結果、傾倒式雪崩予防柵および非火薬破砕剤ともに、省力化、除排雪費用の縮減および工期の短縮が図られることがわかった。

また、本研究で得られた成果を、図-46に示す「道路法面における技術資料（案）」としてとりまとめた。

平成26年度

道路法面における効率的な除排雪工法

技術資料(案)

平成27年3月

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
寒地機械技術チーム

目的

雪崩危険の道路法面においては、雪崩発生を未然に防止するため、その年の降雪や融雪期によっては、急峻な雪庇や不安定な雪庇、雪崩危険箇所などの除排雪が行われる。本研究開発技術チームでは、「道路法面の雪崩対策における除排雪工法の研究」の目的として、平成22～23年度における北海道の道路法面の除排雪実態を調査しました。特に、道路法面に発生する雪庇の発生状況や発生している除排雪工法の状況について調査を行いました。そこで、この調査結果の調査に加えて、雪庇発生に関する道路法面の除排雪実態を調査し、雪庇発生に当たっての対策等を、「道路法面の除排雪実態」としてとりまとめた。本報告は、各現場における道路法面の除排雪作業の一助となれば幸いです。

報告書

日本建設機械化協会 寒地における雪崩対策の点検と対応技術事例、北東研発(13)号、2013
調査 今の道路除雪実態、社団法人 雪センター、1994
Water Maintenance Practice in the Northern Periphery, ROADEN, 2002
防雪防氷ハンドブック、社団法人 日本建設機械化協会、1993

目次

1. 除排雪	1
1.1 人の除雪	1
1.2 傾倒式	5
1.3 その他の除排雪	12
2. 安全対策	16
2.1 本調査地における安全対策	16
2.2 傾倒式除排雪の安全対策	21
2.3 施工上の安全対策	22
2.4 注意喚起の手段	30
2.5 その他	35
3. 謝辞	36

図-46 道路法面における効率的な除排雪工法技術資料（案）

A STUDY ON REMOVAL AND DISPOSAL TECHNIQUES FOR AVALANCHE MITIGATION ON ROADSIDE SLOPES

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY 2011-2014

Research Team : Machinery Technology Research Team

Author : SUMITA Noriyuki

YAMAZAKI Takashi

NAKAMURA Ryuichi

Abstract : In snowy cold regions, there are times when heavy snowfall or adverse weather makes it necessary to mitigate avalanche danger at roadside slopes by removing snow from around avalanche protection fences or by removing large snow cornices. Snow removal and disposal operations require many workers, are costly and incur accident risk. Because it has become difficult to secure the necessary number of snow removal workers and because the available labor pool is aging, safe, efficient, labor-saving techniques are required for snow removal and disposal.

In view of this, applicability and effectiveness were examined regarding drop-type avalanche snow bridges and a non-explosive fracturing agent. Drop-type avalanche snow bridges are avalanche protection fences that can be bent down to allow snow plows to operate in a large area on roadside slopes. The non-explosive fracturing agent is used for removing large snow cornices.

It was found that drop-type avalanche snow bridges and the non-explosive fracturing agent were useful for labor-saving and cost reduction.

Key words : roadside slope, avalanche protection, snow cornice, drop-type avalanche snow bridge, non-explosive fracturing agent