

切土法面直下の路側に設置された防護柵にかかる堆雪圧

Snow Pressure on a Guard Rail Located by Roadside Below Cutting Slope

伊東 靖彦* 山田 毅** 加治屋 安彦***

Yasuhiko ITO, Takeshi YAMADA, and Yasuhiko KAJIYA

近年、北海道において切土法面直下のガードレールが融雪後に脱落する被害が認められている。その破損に至るメカニズムや時期、このときの応力等について未解明な部分が多いため、筆者らは被害報告のあった上川地方において調査を行った。

その結果、ガードレールの被害はビームの脱落が主であること、被害箇所は端部から2番目の支柱が最も多いこと、斜面に近い設置位置のものは被害が少ないこと、斜面上方に設置される雪崩予防柵の影響はないことなどが明らかとなった。

また、雪圧計測の結果からは2月上旬の最深積雪期に脱落が起こったこと、原因は除雪作業による直接的な圧力ではなく、堆雪内部からの作用によること、破断時のボルトにかかる軸力はボルトの許容力を上回るものであることなどが明らかとなった。

《キーワード：雪圧；ガードレール；切土斜面》

Roadside guardrails installed at the toe of cut slopes are found to be damaged when the snow melts each spring. Little study has addressed the cause or timing of such damage or the forces acting on such guardrails. To investigate these, the authors surveyed damage and snow pressure at guardrails in the Kamikawa region of Hokkaido.

The surveys found the following: 1) the damage tends to consist of detachment by the rails, 2) the damage is most frequent at the second rail support from each end, where the bolts anchoring the rails loosen, 3) the damage tends not to occur at the midpoint of the guardrail, and 4) the presence or absence of an avalanche prevention fence on the slope does not influence affect the damage severity.

The following were found: 1) the damage tended to occur in early February, which is when the snow depth is the maximum, 2) the damage was caused by the pressure of snow that had slid down the slope, rather than by the pressure of snow plowed from the carriageway into the guardrail, and 3) the axial force acting on bolts that failed exceeded the rated shear strength of the bolts.

《KeyWords：snow-pressure；guardrail；cutting slope》

1. はじめに

北海道では高規格幹線道路が伸長し、当初平野部が中心であった路線も、山間部での建設が増えてきている。

一般的にガードレール等の防護柵は車両の転落を防ぐために設置され、これまで主として盛土部分に設置されてきた。高規格幹線道路ではこれに加えて、非常電話や照明柱、カメラ支柱など道路付属物が多く、切土箇所でもガードレールが多く設置されている。

この切土箇所では、春先の融雪後にガードレールの端部が破損する事例が2004年春以降確認されている。

これは堆雪、除雪、融雪等の雪の影響と考えられるが、その破損に至るメカニズムや時期、このときの応力等について未解明な部分が多く、被害を防ぐ対策を検討するにあたりまず解決すべき課題となっている。

そこで筆者らは被害報告のあった上川地方において、ガードレールの破損状況や部材にかかる応力について調査し、被害メカニズムの考察を行ったので報告したい。



写真-1 切土部に設置されているガードレール

2. 既往の研究

既往研究では、旧建設省土木研究所による新潟県中頸城郡妙高村と山形県西村山郡西川町における測定¹⁾が、ガードレールへの雪圧測定で唯一の事例と思われる。

この事例は支柱間隔2mのガードレールを試験地に設置し、一冬にわたりひずみ量等を測定したものである。ただし設置箇所はいずれも高さ2mの盛土となっており、今回の計測箇所である切土法面直下とは状況が異なる。

既往研究では、ガードレールの支柱には最大で40kNから20kNの水平力が測定されているが、最大沈降力がその2～10倍の値であった。防護柵に関す

る一般的基準として用いられている「防護柵の設置基準・同解説」²⁾で参考掲載されている耐雪型防護柵では、既往研究の成果を基に、鉛直方向の積雪沈降力のみを考慮している³⁾。

このように既往研究は盛土形状の道路で設置されたガードレールに関する測定であり、本研究は、法面直下に位置するガードレールについて、雪圧による被害状況、積雪期における雪圧計測を通じて、ガードレールの脱落被害に至ったメカニズムを新たに調査したものである。

3. 調査場所

3.1 調査位置

高規格幹線道路である旭川紋別自動車道のうち、被害が確認された比布JCT～愛山上川ICで調査を行った。当該区間は2004年に供用が開始された。

この区間では、供用開始直後の2005年春の融雪後に複数箇所でもガードレールの脱落が確認されており、その後も毎年脱落が見られている。



図-1 調査箇所位置図

3.2 ガードレールの設置状況

設置されているガードレールはいずれも北海道開発局道路設計要領⁴⁾に掲載のGr-A2-4Eタイプで、耐雪型防護柵と呼ばれている。

ガードレールはビーム(横板)と支柱が間にブラケットを挟んでボルト1本で締結されている。

設置されている耐雪型は、ブラケット部が一般型に比べて板厚や幅が大きくなっており、積雪沈降力に対抗している。(板厚4.5mm→6.0mm、幅70mm→120mm)

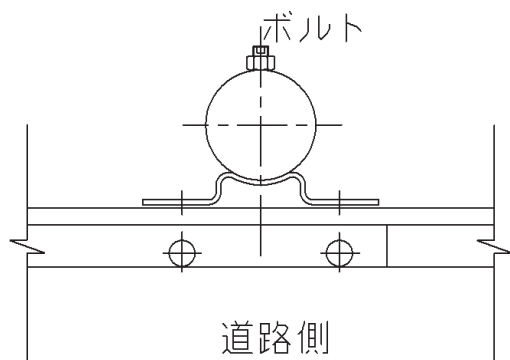


図-2 支柱とビームの結合模式図(上方から)

4. 調査の方法

調査は融雪後に現地を踏査し、実況を調査した脱落調査とガードレールのボルトにかかるひずみを2冬間にわたり測定した雪圧調査の2種類を行った。

4.1 被害調査

被害調査は2007年5月に現地で被害状況、周辺状況、法面との位置関係を調査した。

対象とした防護柵は切土法面法尻に設置されているガードケーブル、標識などの端末防護用のガードレールとした。このガードレールは当該区間に26箇所存在する。



写真-2 脱落状況

4.2 雪圧調査

雪圧調査では脱落時期等を特定するため、区間中1箇所のガードレールにおいて、そのボルトにひずみゲージ(ボルトゲージ)を取り付けて、防護柵にかかる荷重を2冬間(2006年2月～2007年5月)計測した。

このゲージを取り付けたボルトは、ガードレールのビーム、ブラケット、支柱を締結しており、ここにセンサーを取り付けることによって、ガードレールビーム(板)全体に掛かる荷重を知ることができる。

調査したガードレールは上り線 KP=0.96附近で、

2005年春に道路管理者において脱落が確認されている。

ボルトゲージは支柱毎にかかる雪圧を比較するため、端部と2本目の支柱(ボルト)に取り付けた。

一冬日(2006年)は準備の都合により、2月からの2ヶ月あまりの計測となった。設置時に一部除雪したこともあり、融雪後確認したところ、脱落の発生はなかった。

二冬日(2006/2007年冬期)は、初雪から融雪まで一冬期間を通しての測定データを得た。また、融雪後端部及び2本目の支柱でガードレールの脱落が確認された。しかし、計測中に機器異常があり、端部支柱は雪圧データが欠測であった。

4.3 観測各年の気象状況

観測年の気象状況について概観するため、2カ年の積雪推移を示す。図-3は気象庁ホームページから入手した上川アメダスに於ける積雪深の推移と平年値である。

2005/2006冬期、2006/2007冬期ともに平年値と比べ根雪となったのは1ヶ月ほど遅かったものの、その後急速に積雪を増加し、12月中旬には平年値を上回るようになった。その後の積雪傾向は平年値に類似しており、消雪日もほぼ平年並みであった。この間の積雪深推移は平年値に比べ若干多い。

「設計積雪深に関する技術資料」⁵⁾によると上川アメダスでの再現最大積雪深は5年確率で120cm、10年確率で134cmであり、最大積雪深で比較すると観測した2カ年はほぼ平年並みといえる。

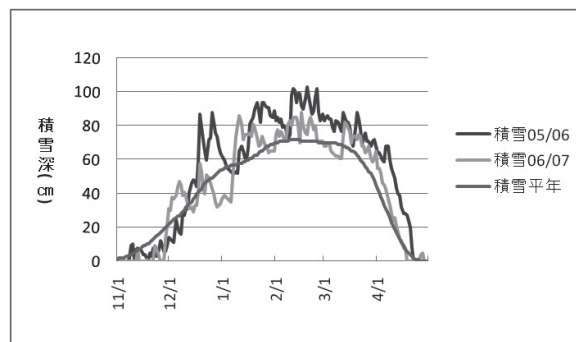


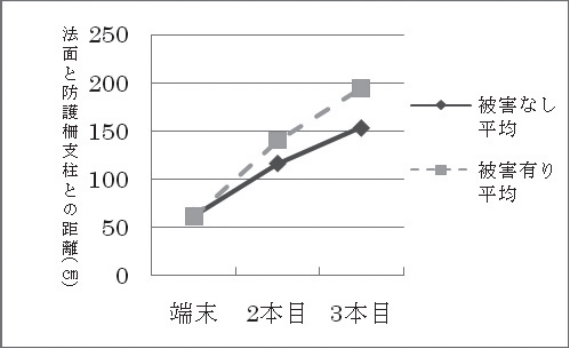
図-3 積雪推移(上川アメダス)

5. 調査結果(被害調査)

被害のあったガードレールは26箇所のうち15箇所であった。被害状況はブラケットの破損によりビームが脱落している例が多かった(写真-2)。脱落まで至らなかったものでもブラケットの変形が認められた。一方、ガードレール支柱、あるいはその基礎部から損傷を受けている例は外見上ほとんど見られなかった。

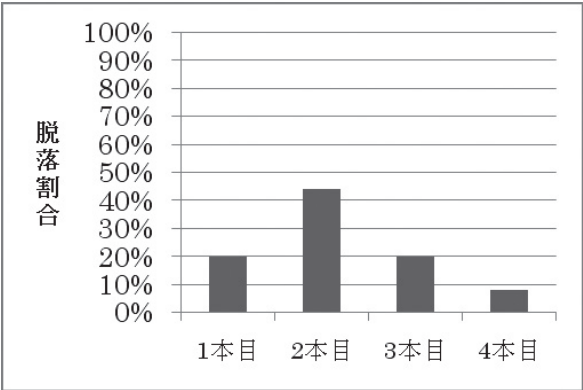
被害箇所は法面から比較的離れて設置されているケースが多かった(図-4)。斜面積雪には積雪の変形

による移動(クリープ)と積雪の地表面での滑り移動(グライド)が作用するが、クリープは地表面から離れるに従って大きくなる。このことから被害の発生に至った雪圧の発生にはクリープの作用が大きいことが示唆される。



図－４ 法面－支柱間距離と脱落状況との関係

次に脱落調査から、脱落時の状況を考察する。図－５は支柱の位置と脱落割合である。脱落は端部から２本目が最も多く、ガードレールが脱落した事例のすべてで２本目支柱部が脱落していた。脱落割合は２本目４４％をピークで、３本目４本目となるに従って、徐々に小さくなり４本目では８％となった。また端部（１本目）は３本目と同じ被害割合であった。



図－５ 支柱位置と脱落割合



写真－３ ガードレールの脱落状況

端末防護用ガードールの端部支柱は付属物と車両を保護するため、極力法面に近づけて設置される。このため、法面や地面からガードレールまでの距離は端部が最も短くなり、２本目３本目と徐々に広がる。法面（地面）からの距離が短いと、上載した雪荷重が大きくなり、またグライド圧が大きくなる。雪の内部変形であるクリープは地表面では０となるので、法面との距離が短いと小さなものとなる。クリープとグライドによる雪圧の合力が２本目支柱付近で最も大きくなり、２本目支柱の脱落割合が高かったと考えられる。

１本目（端部）の脱落割合が２本目に比べて小さなことは、雪圧のかかるビーム長が２本目以降に比べて短いことに加えて、クリープによる雪圧が小さいためと考えられる。また３本目以降の脱落割合が小さくなるのは、支柱が法面部から一定距離を保った水平面上に建立され、斜面積雪に起因するグライドやクリープの影響が徐々に小さくなるためと考えられた。

表－１ 想定されるガードレールに作用する雪圧等

	端部 (1本目)	・ ・ ・	(2本目 附近)	・ ・ ・	4本 目
法面との距離	短い	・ ・ ・ ・ ・	長い		
グライド(斜面移動)による雪圧	大	・ ・ ・ ・ ・	小		
クリープ(雪の内部変形)による雪圧	中	・ ・	大	・ ・	小

ガードレールのビームはブラケットを介して支柱にボルト１本で締結されている。ボルトは直径20mm (M20)である。完全に脱落している事例ではボルトの押し抜き破壊によってブラケットのボルト穴が拡大し脱落していた(写真－４)。ボルトそのものの損傷はほとんど無い(写真－５)。



写真－４ ブラケットの破損状況

脱落までしていない事例では、ガードレール上部が道路側に変形している例が見られる(写真－6)。このことから、除雪圧が直接ガードレールに作用したのではなく、除雪雪堤も含めた斜面堆雪からクリープによりガードレールが押されたものと推察できる。

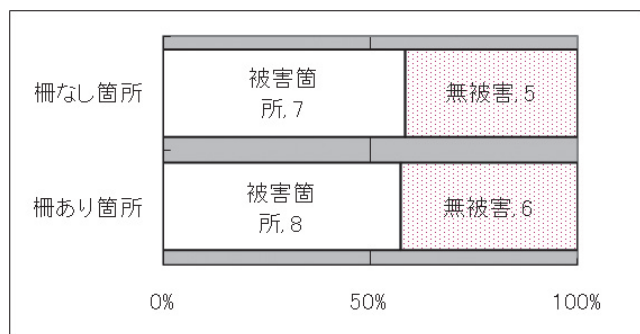
このほか、防護柵上部の法面上に雪崩予防柵が取り付けられていた箇所が約半数あった。柵の設置位置は道路上からの高さ5m程度の地点である。しかし脱落状況を見たところ、柵の有無による差はなく(図－6)、柵設置位置より下部の堆雪によって、脱落を受けている状況が明らかとなった。



写真－5 脱落したボルトの状況
(写真提供：北海道開発局旭川道路事務所)



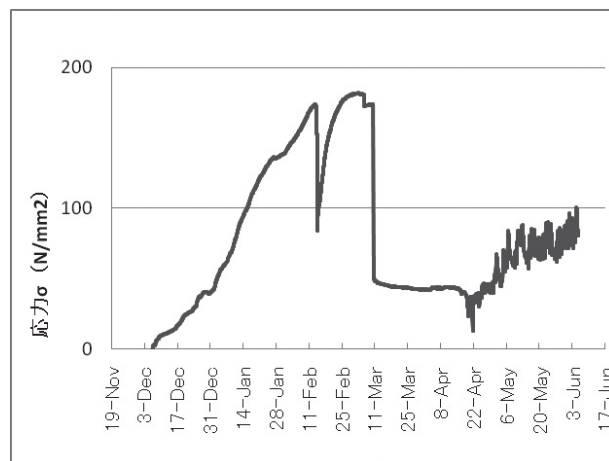
写真－6 板の上部から下向きに変形している状況



図－6 脱落状況と雪崩予防柵の有無

6. 調査結果(雪圧調査)

つぎに雪圧調査結果について記す。図－7は脱落に至った2006-2007冬期間のビームと支柱を結合するボルトの軸方向応力推移である。測定で得られる応力は主としてビームにかかる水平力となる。



図－7 ボルトゲージによる応力推移(2本目、2006-07冬期)

これらの応力挙動から推測すると、2月14日にボルト穴の一部が破損してガードレールが脱落し、応力開放が起こり、一時的に堆雪とビームとの間に空隙ができ応力が低下した後、圧密、焼結等の堆雪変形により再びビームと接触、雪圧が再び掛かり、3月9日に完全に脱落したものと考えられる。



写真－7 雪圧測定した支柱(脱落後)

積雪開始以降2月上旬に至るまで、線形的に雪圧の増加が確認できた。柵近傍の堆雪増加に伴うものと考えられる。図中には急激な変曲点が見られないことから、除雪作業による雪圧増加の影響は少ないものと考えられる。

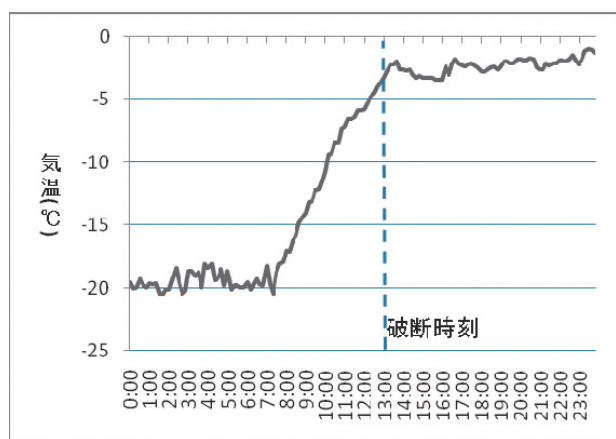
線形的に増加した後、2月14日の13:00から14:00の間で一時的な応力開放が認められた。このときまでに観測された最大応力は174N/mm²であり、その観測後半

日を経て応力低下が発生していた。応力低下の後、応力が再び回復し182N/mm²を記録した後、3月9日10:00に173N/mm²から51N/mm²に急落した。

4月19日頃から応力に日変化が見られるが、これは融雪によりガードレール板が露出し、温度応力が変化したためと考えられる。

ここでガードレール脱落時の状況について考察する。

北海道開発局旭川道路事務所の記録によると、2月14日、3月9日はいずれも除雪作業(新雪、拡幅除雪とも)が行われていない。このことから、ガードレールの脱落に至った直接の原因は堆雪内から発生した雪圧によるものと考えられる。



図－8 07/2/14 上川アメダスの気温変化

2月14日の上川アメダスにおける気象状況を見ると、積雪深は約80cmで、未明以降積雪深の増加は見られない。また、気温は8:00から14:00にかけて-15℃から-3℃に急上昇している。これにより斜面積雪の移動が促進され、ガードケーブルの脱落につながったと考えられる。

このような温度の上昇は、積雪期を通じれば通常起こりうることであり、特異気象状況の下でなく、一般的な気象推移の中で脱落が発生したことがわかる。同様の脱落は現状の施設のままであれば、今後も継続して発生する可能性が高く、雪圧を軽減する方策を講じる必要があるといえる。

使用されているボルトはM20の普通ボルトである。許容(軸)力⁶⁾は31.3kNである。2月14日の応力低下時には軸力で42.6kN(有効断面積244.8mm²)となり、既に許容値を超えている状況となっている。

次にピーク時の応力を、盛土形状の道路で測定した既往研究事例¹⁾と比較する(表－2)。ただし支柱間距離が異なるので、道路延長方向1mあたりとしている。

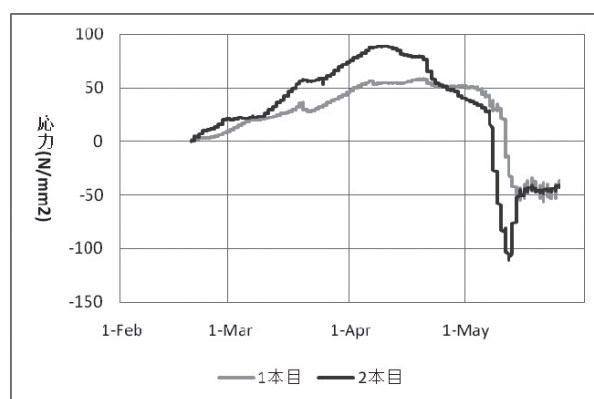
表－2 盛土形状道路との水平力比較
(道路延長1m当り)

	切土形状 (今回)	盛土形状 (妙高村,1982)	盛土形状 (西川町,1982)
最大水平力 (kN)	10.6	9.5 (w=1.0) 5.5 (w=3.0)	4.1(w=1.0) 3.6(w=0.3)
比率	1	0.52-0.89	0.34-0.38

注)w:路肩幅(m)

切土形状はボルトの軸力、盛土形状は支柱たわみで測定

これによると、今回測定した水平力は盛土形状における測定に比べると1.1～2.9倍の水平力を示した。観測年における最大積雪深は妙高村で300cm、西川町で390cmとなっており、今回の測定箇所と比べると両観測地は3倍以上の積雪があり、既往研究が除雪をせずに計測していることを踏まえても、切土箇所におけるガードレールにかかる雪圧が大きいことが示唆される。



図－9 ボルトゲージによる応力推移(2005-06冬期)

つぎに、端末支柱と2本目の支柱にかかる応力について比較する。図－7に示した2006-2007冬期間の端末支柱データは欠測となったので、2005-2006冬期のデータを図－9に示す。

ここで、測定期間が2月以降となったことに留意する必要があるが、比較的長期間の継続したデータであり、2本の支柱にかかる応力の相互関係はこれで示すことができると考える。ただし測定の絶対値は機器設置時に除雪したため堆雪状況が異なり、2006/2007冬期に比べ小さくなったと考えられる。

図－9によると、端末支柱にかかる応力は堆雪期、融雪期いずれにおいても2本目支柱の7割程度の応力でほぼ比例的に推移しており、端末支柱よりも2本目支柱の方が脱落発生しやすい状況であることが明らかとなった。このことは、図－5で示した脱落状況の結果と整合する。

7. まとめ

本稿では、高規格幹線道路の切土法面直下に設置されたガードレールの雪圧による被害状況についてまとめた。2種の調査からは以下のことが明らかとなった。

- 1) 被害の原因は、ブラケットの破損によるビームの脱落が主であった。クリープの影響などによりガードレールの斜面側堆雪からビーム全体に道路側へ雪圧荷重がかかり、ビームと支柱とをブラケットを介して締結するボルトに荷重が集中して、ブラケットの押し抜き破壊が起こり脱落に至ったと考えられる。また、除雪による直接的な被害は認められなかった。
- 2) 脱落した事例では、平年並みの積雪状況下で、2月上旬の最深積雪期に破断が発生していた。また破断時のボルトにかかる軸力は、ボルトの許容力を上回るものであった。
- 3) 脱落のあった箇所は端部から2番目の支柱が多い。設置位置が斜面に近い端部は比較的脱落が少ない。脱落は端部から4本目までの支柱の範囲に多く、対策を施す際は少なくとも端部から支柱4本の範囲に施すことが必要となる。
- 4) 雪崩予防柵の有無にかかわらず脱落状況は変わらない。ガードレールにかかる雪圧は最下段の雪崩予防柵より下側の比較的位置の近い堆雪によるものと考えられる。
- 5) 過去の盛土形状における雪圧計測事例と比較すると、切土箇所である今回の最大雪圧が1.1～2.9倍となり、盛土道路に比べて切土箇所にかかる雪圧が大きいことがわかった。

8. おわりに

今回の調査からは切土箇所におけるガードレールにかかる雪圧としては、盛土区間における既往研究で指摘された積雪沈降力に加え、防護柵にかかるクリープも無視できないほど影響があることがわかった。

脱落の発生状況が、一般的な許容範囲を超えることから、ガードレールにかかる雪圧を軽減する方策を今後検討していく必要がある。

今後は脱落軽減に向けて、雪圧を防止する杭、防護柵本体の耐性を高める方法などについて検討を行い、現地試験を進めてゆきたい。

最後に、計測準備、交通誘導等で北海道開発局旭川道路事務所上川分駐所に協力をいただいた。ここに記して礼に代えたい。

参考文献等

- 1) 建設省土木研究所：積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書(その1)、土木研究所資料、1885、142pp、1982
- 2) (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説、(株)丸善、2004
- 3) (社)日本道路協会：防護柵の設置要綱・資料集(橋梁用防護柵・耐雪型防護柵)、(株)丸善、1986
- 4) 北海道開発局道路建設課：北海道開発局道路設計要領、2007
http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/download/downlord.html
- 5) 北海道開発局：設計積雪深に関する技術資料、2001
- 6) (社)日本道路協会：道路橋示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説、(株)丸善、2002



伊東 靖彦*
Yasuhiko ITO

寒地道路研究グループ
雪氷チーム
主任研究員
技術士(建設)



山田 毅**
Takeshi YAMADA

寒地道路研究グループ
雪氷チーム
研究員



加治屋 安彦***
Yasuhiko KAJIYA

寒地道路研究グループ
雪氷チーム・地域景観
ユニット(兼務)
上席研究員
博士(工学)
技術士(建設)