

凍上性地質に対応した法面对策について

— 一般国道334号斜里町岩尾別 —

網走開発建設部 道路整備保全課 ○山内 章
遠軽道路事務所 田原 浩二
網走道路事務所 庄司 宜可

一般国道 334 号は羅臼町を起点に、斜里町・清里町などを經由して美幌町に至る延長 120km の路線で、道東とオホーツク圏を結ぶ重要な路線であり、世界遺産に登録されている知床へのアクセス道路である。当該法面は、知床峠頂上付近に位置しており、平成 21 年 6 月の豪雨により、延長約 160m の切土法面の一部が崩壊した。これを受けて原因調査、対策工の検討を行い、同年より法面復旧工事を実施しているところである。本稿では、調査結果から災害原因について報告するとともに、法面抑止工として採用した、凍上性地質に対応した凍上緩和装置を併用した鉄筋挿入工について報告するものである。

キーワード：防災、自然災害、事業評価、自然環境

1. まえがき

一般国道 334 号知床峠は、世界自然遺産に登録されていることや、ハイマツ・ダケカンバ・ナナカマドなどの自生種の立木が群生していることから、環境、景観への配慮が求められている路線である。

当該箇所は、斜里郡斜里町岩尾別の知床峠頂上より斜里側 900m、標高約 700m に位置する高さ 15m、延長約 160m の切土法面である。

当該法面は、平成 21 年 6 月 22 日～23 日の大雨（連続雨量 155mm）により、法長 15m、延長 15m、平均深さ 1m、崩壊土量約 200m³ の法面崩壊が発生した。

また、崩壊部を含む約 160m にわたり、凍上によるものと思われる既設法枠の変状が以前から確認されており、対策工の検討においては、環境への影響および法面の凍上を考慮することが必要とされた。



図-1 工事箇所位置図

2. 地形・地質の概要

当該箇所は、北海道東部のオホーツク海に突き出た知床半島の中央部知床峠近傍であり、羅臼岳の麓の標高約 700m の地点に位置する。また、北北東～北東方向に伸びる尾根地形の先端部に位置している（写真-1）。



写真-1 被災箇所周辺の空中写真

当該法面を構成する地質は、第四紀更新世の羅臼岳火山噴出物および表層の土砂である。羅臼岳火山噴出物は、基質の違いや礫の混入度合いから、礫混じり砂、礫混じり火山灰質シルトおよび礫混じり火山灰の3層に区別される。

3. 法面の崩壊機構

(1) 被災状況

a) 被災概要

被災時の状況写真を写真-2に示す。

崩壊規模は、法長15m × 延長15m × 平均深さ1m、崩壊土量 $V=200\text{m}^3$ であった。

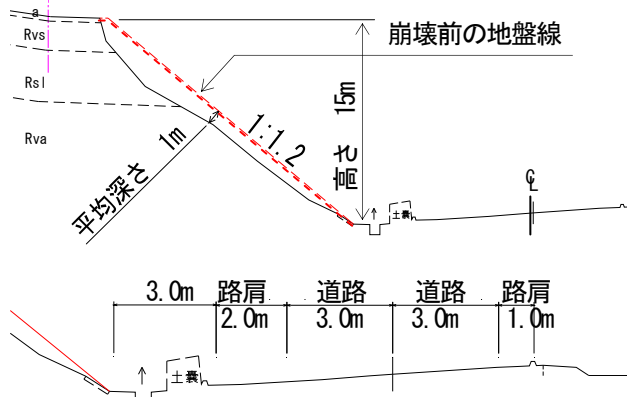


図-2 崩壊断面図および道路幅員図

b) 地形地質状況

当該法面は、南から北方向に伸びる細い尾根と途中で南西から北東へ延びる尾根と分岐している尾根に囲まれた箇所位置している。崩壊部は、尾根と尾根に挟まれた箇所にあたり、集水地形を呈している。(写真-2)

当該地域に分布する地質(羅臼岳火山噴出物)は、降下火山灰を主とした堆積物であり、羅臼岳火山が噴出する以前の地形面に平行に堆積し、現在の地形が形成されているものと考えられる。



写真-2 工事箇所全景

c) 被災時の降雨状況

被災時のテレメータによる時間雨量と連続雨量を図-3に示す。前線の影響を受け、連続雨量は155mmであり、時間雨量は最大24mm/hを記録した。

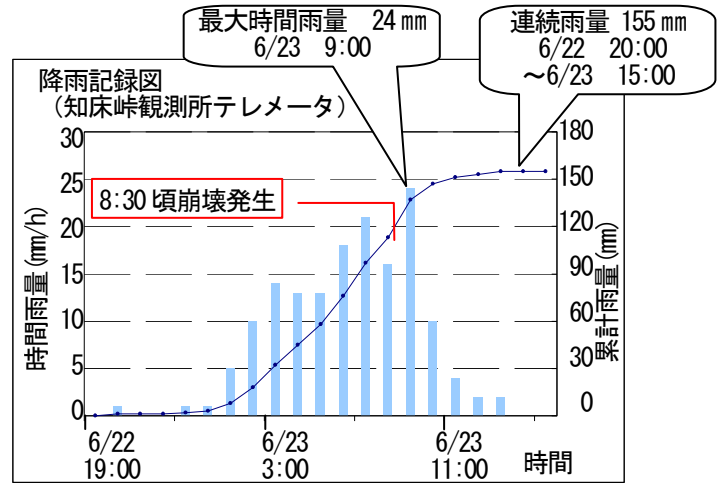


図-3 崩壊時における降雨量(テレメータ知床峠)

a) 素因

- ・法面背後に集水地形が形成
- ・比較的細粒分が多い礫混じり火山灰質シルトが、不透水層となり、法面上部から恒常的に湧水していた
- ・湧水により法面表層部が湿潤化し、凍上・融解の繰り返しにより劣化が進行し、法面表層に緩みが生じた
- ・土質試験結果より得られた粒度特性では、礫混じり火山灰質シルトは細粒火山灰質土に分類されるため、凍上する可能性のある土質である。また、被災箇所は、知床峠の頂上付近に位置し、標高が高いことより、低温環境となることや、前述のように法面が常時湿潤状態であることから、凍上3条件(寒冷・土質・水)がそろった箇所であると考えられる。
- ・凍上に起因する変状と考えられる法肩の段差(写真-3)や既設法枠の変状(写真-4)が確認されることから、凍上による表層の緩みや降雨後の表流水による表層の泥濘化が推定される。



写真-3 法肩の段差



写真-4 既設法枠の変状

(2) 崩壊機構

現地踏査、ボーリング調査、粒度試験などから総合的に勘案した結果、崩壊原因を次のように考えた。

b) 誘因

・前線の通過に伴う豪雨（6:00～9:00に時間雨量20mm程度の強い降雨が連続して確認され、崩壊後も含めて、連続雨量で155mmに達している）

c) 結論

- ・背後斜面が集水地形となっていることから、湧水の供給を受け易い状況下にあった。また、不透水層を有することから、法面上部から恒常的な湧水が発生しており、法面表層が湿潤化していた。
- ・既設法枠の変状などが著しいことから、現地では著しい凍上が発生していたと考えられた。
- ・崩壊発生の直接的な原因は、崩壊当日の豪雨と考えられた。

これらのことから「凍上による表層の緩み（経年変化）+豪雨時に湧水の走りやすい地質構造」が、崩壊に至った要因であると考えられる。

崩壊に至る経過を図-4に示す。

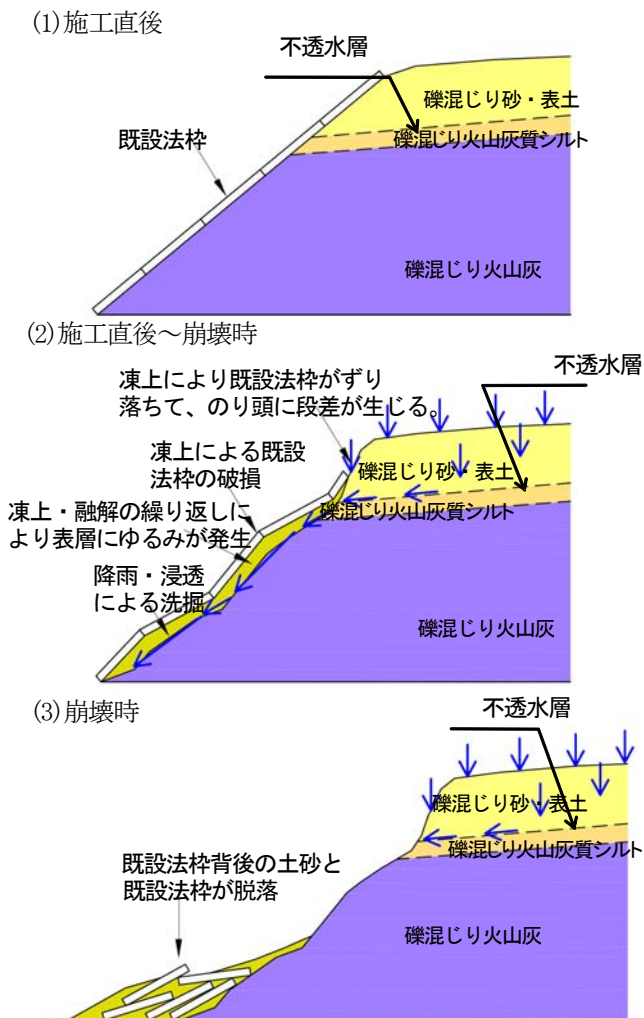


図-4 崩壊機構

4. 対策工の選定

当該法面は、前述したように凍上・融解の繰返しによる強度低下と、湧水による浸食作用を受けて法面崩壊が発生したと想定される。崩壊部以外にも同様な崩壊の発生が懸念されるため、崩壊防止を目的とした対策工の検討を行った。検討に当たっては、崩壊に至った要因および当該法面の特殊性を考慮した工法を選定するものとする。

a) 当該法面の特殊性

当該法面の特殊性としては、

- ①世界自然遺産として登録されており、法面背後地には、ハイマツ・ダケカンバ・ナナカマドなどの自生種の立木が群生し、環境保護および景観保持が必要であること
- ②凍上性地盤であるため、凍上変位を考慮する必要があること
- ③背後斜面が集水地形となっており、さらに、地盤内に水みちが分布することから、湧水対策が必要であることが挙げられる。

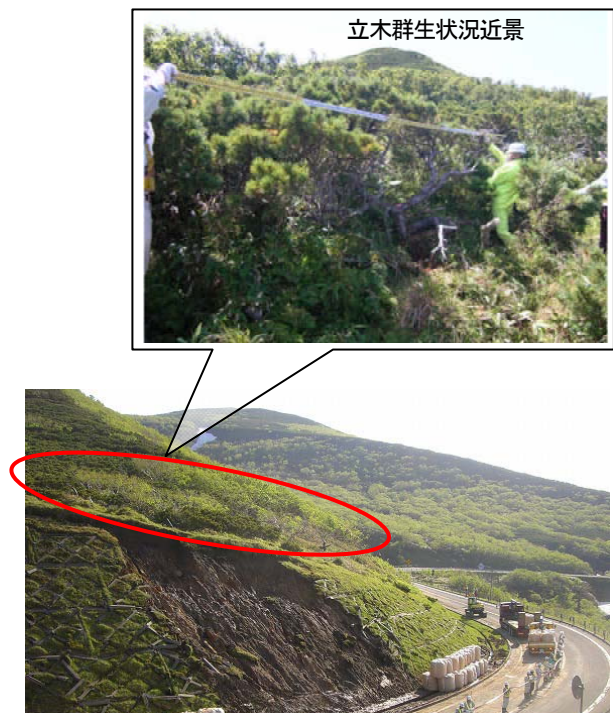


写真-5 法面背後地の立木群生状況

b) 法面对策工法の抽出・選定

法面对策工法としては、安定勾配での切り直し、ふとんかご工、抑止工が考えられた¹⁾。

当該法面については、地形改変を最小となり、立木の伐採が伴わないなど、環境保護・景観保持が可能な抑止工による法面对策工が有効と判断された。なお、安定勾配での切り直しについては、立木伐採を伴い、上記①の環境保護に関する特殊性を満たさないため不採用とし、ふとんかご工は、自生種による法面緑化が困難であることから同じく不採用とした。

抑止工法については、上記②の特殊性より、凍上変位による抑止工への影響を緩和させることを目的とし、頭部にばね構造を設置するものとした。また、上記③の特殊性より、遮断排水工、地下排水工による湧水対策を設置するものとした^{1) 2)}。さらに、独立受圧板の間や枠内の表層土の中抜け防止を目的とした連続繊維補強土による法面保護工を設置するものとした³⁾。詳細は、「5. 対策工の設計」に詳述する。

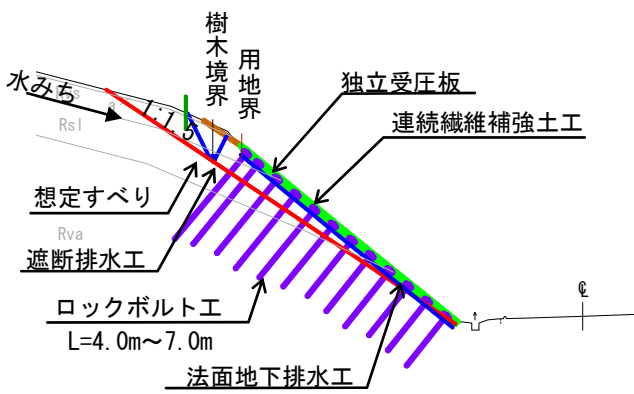
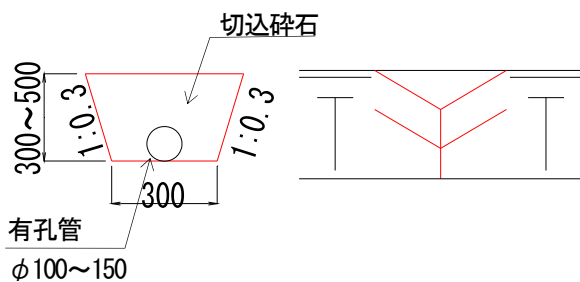


図-5 対策工標準断面図



断面図 展開図

図-6 法面地下排水概要図

抑止工法の形式については、表-1に示す3案を抽出し¹⁾、比較検討した結果、施工性・経済性において、『独立受圧板+ロックボルト抑止工』が最も優位であると判断されたため、当該法面における対策工に選定した。

表-1 抑止工法の比較検討結果

工法	概算工事費	概略工程
独立受圧板+グラウンドアンカー抑止工	197,000千円 (1.31)	9.5ヶ月
現場吹付法枠工+ロックボルト抑止工	168,000千円 (1.12)	12.0ヶ月
独立受圧板+ロックボルト抑止工	150,000千円 (1.00)	8.0ヶ月

5. 対策工の設計

(1) 法面保護工

当該法面は、凍上・融解のくり返しにより強度低下した表層土が湧水により流出する崩壊形態を有するものと考えられた。よって図-7に示すように、独立受圧板のすき間からの表層土の中抜けが懸念されるため、**連続繊維補強土**による法面保護を行い、表層土の中抜け防止を図るものとした³⁾。

また、連続繊維補強土は、非凍上性材料となる砂質土を主体として構成されており、表層を非凍上性材料で被覆することで、凍上の緩和にも寄与するものと考えられる。^{3) 4)}

連続繊維補強土表面には、浸食防止・緑化を目的とした植生工を設置するものとした。

植生工については、自生種による緑化を図ることを目的とし、表土すき取り土を利用した植生基材吹付工法となる「埋土種子活用緑化工法」を採用するものとした。

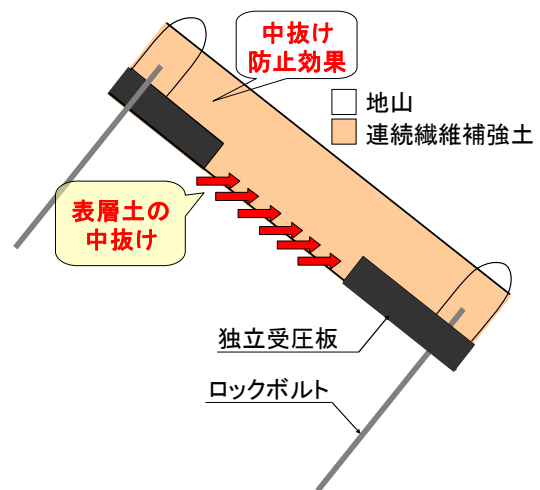


図-7 法面保護工の考え方

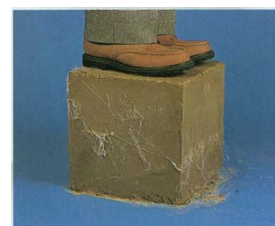


写真-6 連続繊維補強土の供試体

(2) 凍上緩和装置

当該箇所は、既設法枠が変状(浮き上がり)などの経緯を考慮すると、ロックボルト材や独立受圧板の変形・破損が起りやすいと考えられることから、凍上によるロックボルト材や独立受圧板への影響を緩和させることが望ましいと判断した。

これらのことから、凍上変位を吸収することを目的とした凍上緩和装置を、ロックボルト頭部に設置することとした。

ここで、凍上緩和装置による凍上変位吸収は、**図-8**に示すように、バネ材の伸縮効果により凍上変位を吸収する構造原理である。

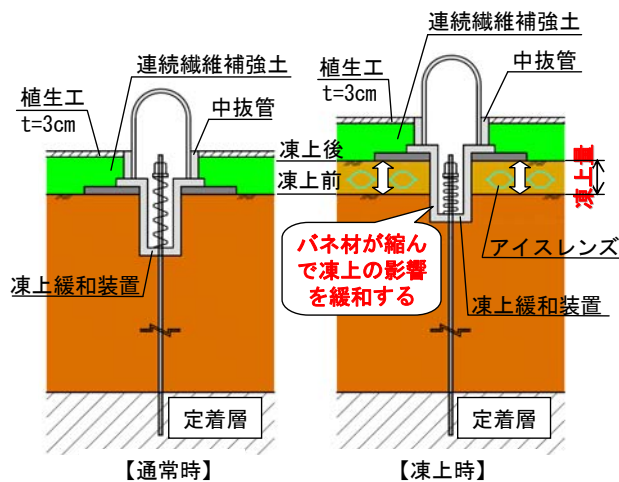


図-8 凍上緩和装置の原理

(3) 排水工

背後斜面表層付近は、湧水の水みちであることが想定されることから、法肩に遮断排水工を設置し、すみやかに湧水の排除を図るものとした。また、法面全域からの湧水も想定されたため、法面全域に法面地下排水工を設置し、湧水の排除を図るものとした。

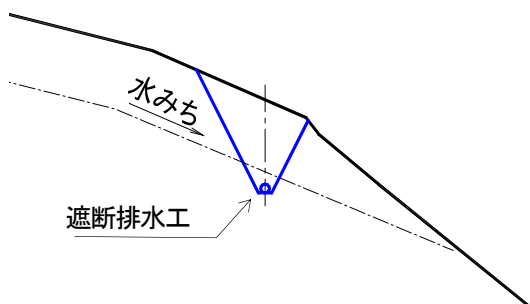


図-9 遮断排水工

(4) 施工状況

図-10に施工順序、写真-7、写真-8に施工状況写真を示す。

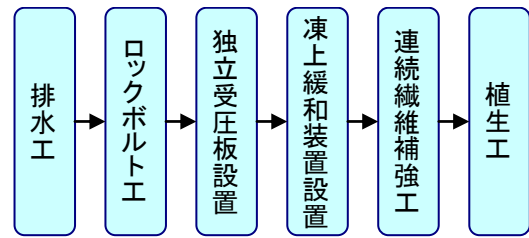


図-10 施工順序



写真-7 ロックボルト施工状況



写真-8 連続繊維補強土工施工状況

5. 対策工の効果検証

対策工の効果検証として、現地にて平成 22 年 11 月～平成 23 年 5 月までのおよそ 7 ヶ月間、凍上緩和装置設置の有無によるロックボルト頭部荷重を計測した。

検証は、気温変動が少なく、計測値が安定する午後 3 時の計測値を用いて考察した。

ロックボルト頭部荷重の時系列推移を図-11 に示す。気温が零下となりはじめる 12 月中旬から徐々に荷重が増加しており、12 月下旬以降において、凍上緩和装置の有無による差異が認められる。凍上緩和装置を設置している場合は最大 4kN 以内の荷重で推移しているものの、凍上緩和装置を設置していない場合は最大 12kN 程度の荷重であり、最大で 9kN 程度の荷重軽減効果が認められた。これは、法面表層が凍上によって変形するものの、凍上緩和装置がロックボルトへの過度な荷重増加を抑制していることを示している。

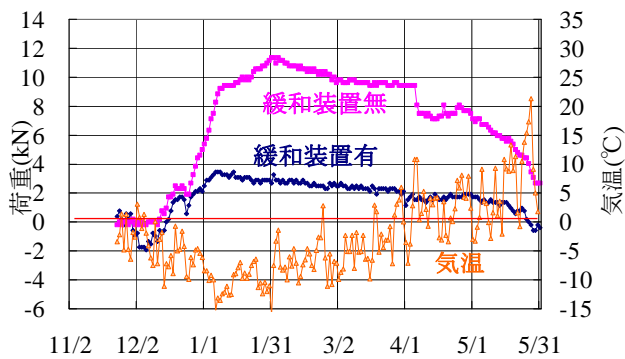


図-11 ロックボルト抑止工頭部荷重

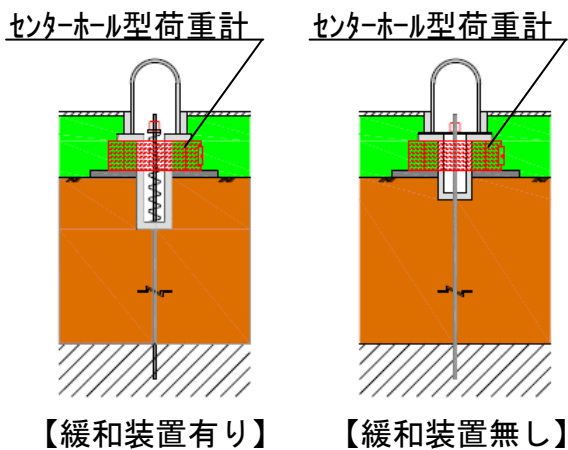


図-12 計測器概要図

6. あとがき

当該箇所については、法面崩壊による災害発生から早期の復旧が求められた中で、知床自然遺産に属することから環境面の配慮および、北海道特有である寒冷地における凍上対策を考慮した計画・施工を行い、その対策効果の確認を行った。

現段階において、対策後の法面に変状は確認されていない。また、計測データからは、凍上緩和装置の効果が確認されている。



写真-9 復旧状況全景写真

今後、継続して道路巡回による目視および定期的に計測データを確認することより、対策効果を確認していく予定である。

本報告では、凍上性地盤における法面对策の1例について記載したが、北海道のような寒冷地では、当該地域以外にも凍上性地盤が数多く分布していることが想定されるため、本対策を一つの事例としていただければ幸いです。

最後に本報告を行う上で協力いただいた、関係各位および(独)寒地土木研究所 寒地地盤チーム安達隆征研究員に感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 道路土工 のり面工・斜面安定工指針 平成11年3月 社団法人 日本道路協会
- 2) 北海道開発局 道路設計要領 平成21年4月 北海道開発局
- 3) 法面保護用連続繊維補強土「ジオファイバー工法」設計・マニュアル 平成21年4月 財団法人 土木研究センター
- 4) 三上登ら 「連続繊維補強土による法面基盤の耐凍上性(その4)」 第44回地盤工学研究会(横浜) 2009年8月