

北海道における火山灰の凍上問題と対策

Problems caused by freezing and thawing on volcanic ashes (shirasu) in Hokkaido

おか 岡 ざき 崎 よし 嘉 ひこ 彦* たか 高 はし 橋 とも 朋 かず 和**

まつ 松 まえ 前 ふみ 文 お 夫***

1. はじめに

北海道縦貫自動車道（札幌～登別）は、供用区間も含めて、火山噴出物および、その堆積物で構成される丘陵性台地を通過する。その主たる火山灰は支笏火山灰と呼ばれる支笏軽石流堆積物であり、南九州地方に広く分布するしらすの一種と考えられる。

このような火山灰を対象とした土工上の問題として、次のことがあげられる。

- 1) 雨水・流水による浸食・崩壊
- 2) 貧栄養による植生不毛
- 3) 凍上・凍結融解による融解時期における路床の支持力低下およびのり面の滑落

ここでは、上記のうち特に寒冷地として問題のある3)について述べるものであり、支笏火山灰の路床材としての適用性、のり面保護工について報告する。

2. 路床材としての適用性

2.1 火山灰の物理的・力学的性質

札幌～登別間の代表的な火山灰の物理的・力学的性質を表一1および図一1に示す。

表一1から分かるように、これらの火山灰は日本道路公団の規定では力学的には満足するが、粒度規格で上部路床材としてはもちろん、凍結融解を受ける寒冷地地方の置換え材としての規格をも満足しないのがほとんどである。

また、支笏火山灰は突固め試験（KODAN A 1210）による ρ_a-w 曲線がほぼフラットである。このことは品質管理において、密度による管理が困難であり、密度管理で路床の規準密度を得ることに難点があることを示している。

支笏火山灰の粒度組成の変化は、突固めエネルギーに違いがあっても $74\mu\text{m}$ 通過量が5～6%程度、また、現場での転圧によっても2～3%程度

であり、多少の細粒化がみられる。

一般に、北海道の火山灰は細粒分（ $74\mu\text{m}$ 以下）が多く、凍上・凍結融解作用の影響を受けやすいと思われる粒度組成であるが、火山灰の種類および風化の程度により難凍上性のものもあれば、一方、凍上しやすいものもある（表一1参照）。

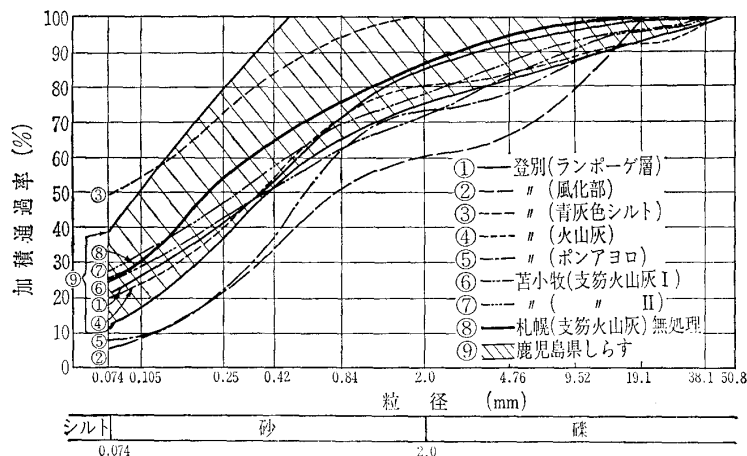
2.2 凍上試験

凍結融解を受ける寒冷地地方の路床は、凍結深まで凍結を起こしにくい材料で施工しなければならないが、土の凍上性の判定は凍上試験・凍結融解試験により行っている。

凍上試験の供試体は、KODAN A 1210 に準じ、凍上試験用モールドを使用して作成する。

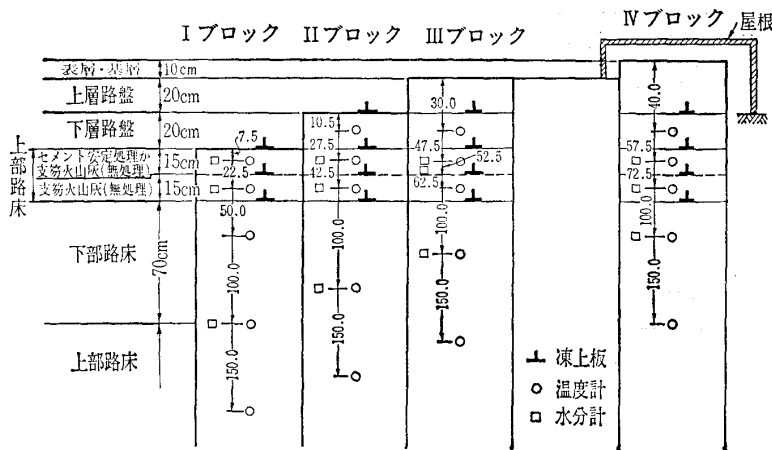
試験時の含水比は上部路床材の場合は、最適含水比付近で行う。また現場では転圧機械の最大級（28t）程度のもので転圧しても、85～90%程度（道路公団規定：上部路床は、最大乾燥密度の95%以上）の締固め度しか得られないため、これに相当する突固め回数（3層×17回程度）を適宜選定して行っている。試験方法は図一2のとおりである。また、凍上試験結果は表一1に併示した。凍上試験結果の強度の取扱いについては次のように求める。

- ① 4日水浸 CBR……………各突固め回数の CBR
- ② ①による仕様最小密度における CBR（修正 CBR）……………95%，90%，85%修正 CBR

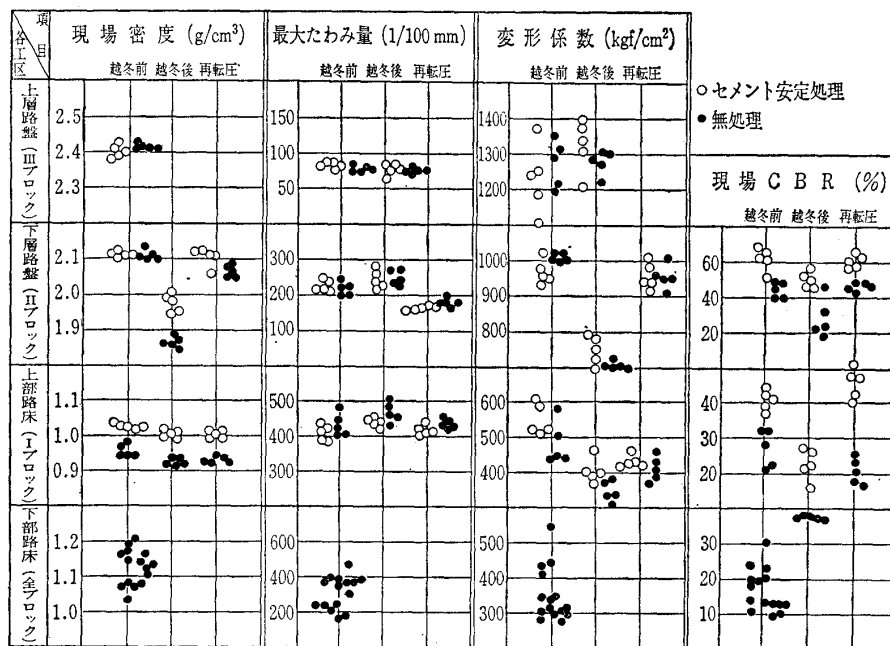


図一1 火山灰の粒度

*日本道路公団札幌建設局 札幌工事事務所 副所長
 **日本道路公団札幌建設局 札幌工事事務所 試験課長
 ***日本道路公団札幌建設局 札幌工事事務所 試験課



図—4 調査断面および計器埋設位置図



図—5 越冬前後の現場試験

違による凍上抑制の効果としては、添加量 2% では凍上率が大きく、4%、6% では小さいことが分かった（セメントの添加量は 試料の乾燥重量に対する 重量比%である）。また、添加量 4% と 6% の両者では凍上率に有意な差がみられないことから、セメント添加量は 4% が妥当であると判断し、上部路床の上部 15 cm をセメント 4% 混合の安定処理したものと、全く処理しないものとの二つのタイプに分け、合計 8 タイプとした。なお、上部路床以外の舗装は、すべて同一の構造である。

また、調査箇所の平面および横断面図は図—3 のとおりである。調査箇所は現在まだ供用していない高速道路上であり、両側の道路より 5 m くらい高く、地下水位は両側の道路より下にある。

調査断面および計器埋設位置は図—4 のとおりである。また、IV ブロックについては、高速道路上では完全な除雪を行うため、屋根を設け積雪のないようにし、外気の流通

もよくした。

2.4 現場試験

現場試験結果は図—5 に示すとおりであり、以下各項目について説明する。

各測定項目の越冬前後および越冬後の再転圧における変化は、上部路床（I ブロック）、下層路盤（II ブロック）で越冬するブロックでは、セメント安定処理、無処理ともほぼ同様な傾向を示し、越冬後の密度低下、たわみ量の増加、変形係数の低下、現場 CBR の低下を生じている。なお、越冬後再転圧によりそれぞれかなり回復し、越冬前と同程度の状態を期待できる。

各道路構造別の越冬後の強度低下は次のとおりである（表—2）。

1) 上部路床で越冬する場合（I ブロック）

上部路床上の測定結果において、越冬後では上部路床 30 cm のうち上部 15 cm をセメント安定処理したタイプ、無処理のタイプそれぞれの強度保存率は、変形係数と現場 CBR を考えた場合 60~70%、30~70% になる。

2) 下層路盤で越冬する場合（II ブロック）

下層路盤上の測定結果において、越冬後ではセメント安定処理のタイプ、無処理のタイプそれぞれの強度保存率は、80%、70% 程度になる。

3) 上部路盤で越冬する場合（III ブロック）

上部路盤上の測定結果において、

越冬後ではセメント安定処理のタイプ、無処理のタイプそれぞれ強度低下は見られない。

地中温度および積雪深の測定は 12 月 19 日から開始した。

図—6 は、凍結深を単純にプロットしたものから前後の凍

表—2 道路構造別における越冬後の強度低下

区分	セメント安定処理		無処理		摘要
	変形係数	現場 CBR	変形係数	現場 CBR	
上部路床で越冬 (I ブロック)	400 550 $\div$ 0.73	23 40 $\div$ 0.58	350 470 $\div$ 0.74	8 27 $\div$ 0.30	上部路床で測定
下層路盤で越冬 (II ブロック)	750 970 $\div$ 0.77	50 65 $\div$ 0.77	700 1000 $\div$ 0.70	30 45 $\div$ 0.67	下層路盤で測定
上部路盤で越冬 (III ブロック)	1350 1250 $\div$ 1.08	現場 CBR は測定せず ※たわみ量は変化なし	1280 1280 $\div$ 1.00	現場 CBR は測定せず ※たわみ量は変化なし	上部路盤で測定

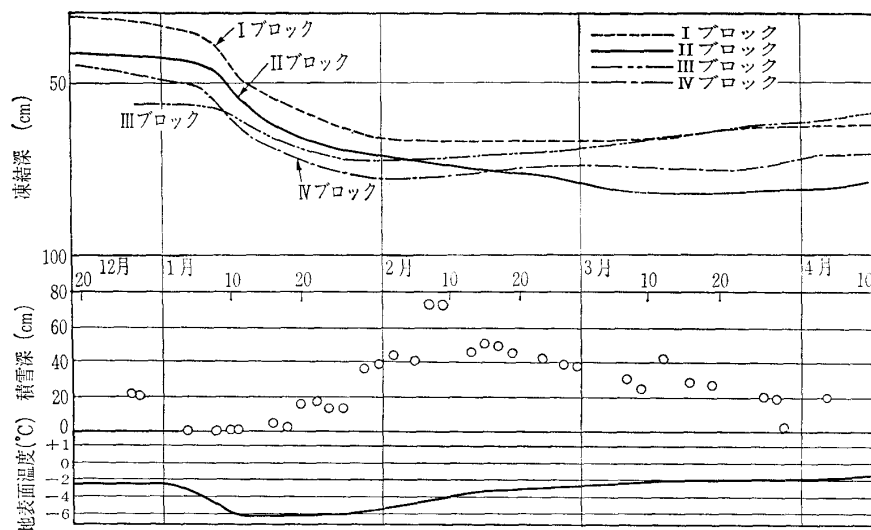


図-6 凍結深, 積雪深および地表面温度

結深の変動を考慮して描いたものである。

1月初旬の積雪のない期間は、どのブロックも凍結深が深くなるようである。IVブロックは積雪しないように屋根を設けたので、その傾向がよく分かる。ただ、その凍結深も80cm程度で横ばいになっている。

IIIブロックは積雪の影響により、IVブロックに比べ10cm程度浅くなっているが、凍結深はIVブロックと同じく下部路床面までの深さとなっている。

ところがIIブロックについては、2月初旬の積雪の多い時期から凍結深が深くなり、3月中旬くらいからは横ばいとなっている。凍結深は、下部路床面より30cmほど入ったところまで及んでいる。Iブロックが最も凍結深が浅く60cm程度である。このブロックもIIブロックと同じく、下部路床面より35cmくらいまで凍結深が伸びている。

表-3は、各道路構造別の凍上量を示したものである。各ブロックごとの全凍上量を見ると、セメント安定処理と無処理との有意な差は、上部路床で越冬するIブロックで見られる。他のブロックでは、ほとんど有意な差はないようである。

表-3 各ブロックの凍上量

各工種	ブロック	I		II		III		IV	
		無処理	セメント安定処理	無処理	セメント安定処理	無処理	セメント安定処理	無処理	セメント安定処理
表層基層	アスファルト安定処理(10cm)							0	0
上層路盤	アスファルト安定処理(20cm)					0	0	0	0
下層路盤	切込み砕石(40~0)			5	9	6	4	3	5
上部路床	上部(15cm)		24		10		0?		5
下部路床	下部(15cm)	35	2	8	5	1?	7?	12	2
下部路床	支筋火山灰	5	0	6	0	0	1	2	4
凍結深	—	下部路床面下35cm(65cm程度)	下部路床面下30cm(80cm)	下部路床面下30cm(80cm)	下部路床面下30cm(80cm)	下部路床面下30cm(80cm)	下部路床面下30cm(80cm)	下部路床面下30cm(80cm)	下部路床面下30cm(80cm)
全凍上量	—	40	26	19	24	7	12	17	16

注) 凍上量の単位はmmである。斜線はセメント安定処理した箇所である。

上部路床で越冬する場合には、セメント安定処理をした方が凍上量をかなり低減できる。

また、I・IIブロックではセメント安定処理した方が、下部路床での凍上量が0mmであるのに対し、無処理では5~6mm凍上している。これは融雪水が浸透する道路構造での越冬(I・IIブロック)では、セメント安定処理を行うことにより、これが遮水層となり下部路床以下への融雪水の浸透を防いだためと思われる。

2.5 試験施工の評価

セメント安定処理による強度は、無処理よりはるかに大きくなり、また凍上・凍結融解後の強度は、無処理も春先の再転圧により、強度回復する。

また、下層路盤、上部路床で越冬した場合、セメント安定処理の遮水効果により、安定処理面以下の凍上量を低減できる。すなわち、路床部の強度低下を抑えることができる。以上の結果より、上部路床、下層路盤で越冬する場合は、安定処理、無処理とも凍上・凍結の影響を受けるが越冬後の再転圧により、強度回復が見られ、その後上層路盤、基層、表層を施工すれば凍上・凍結による影響はほとんど受けないものと思う。

3. のり面の適性保護工

3.1 切土のり面の崩壊

積雪寒冷地におけるのり面は、盛土のり面の植生工試験の実績を踏まえて、全面被覆の植生工が望ましいという結論を得、盛土のり面については、施工時期により、種子吹付+わらむしろ張工または張芝工を、切土のり面については張芝工を採用している。

しかし、張芝工を施工した切土のり面のうち、苫小牧地区で施工中に、北向き切土のり面の支筋火山灰層が春先の降雨により滑落崩壊した。この崩壊現象を調査し、検討を加えた結果、張芝工だけでは切土のり面の表面が滑落を起こす可能性があるかと判断された。

以下に支筋火山灰層のり面崩壊状況を説明するとともに、保護工の検討経緯について述べる。

3.2 崩壊現象

切土のり面の支筋火山灰層が滑落崩壊した原因として以下のように推察された。

切土のり面の支筋火山灰層の滑落崩壊した箇所は、路線がほぼ東西に走っている区間に位置する。したがって、切土のり面は南向きと北向きとなり、南向き面は一日中陽が当たるため、融解作用も順調に進むのに対し、北向き面は一日中陽が当たらず、融解作用もかなり遅れることになる。

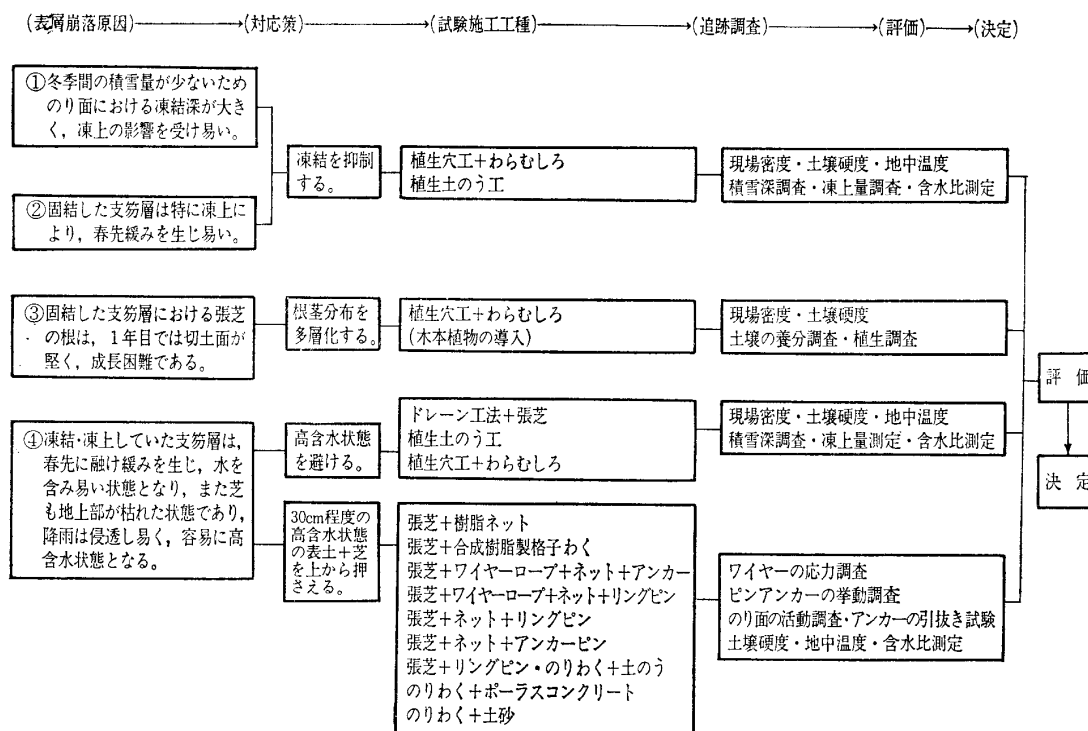


図-7 試験施工工種および崩壊の解明手法

このような状態で北向きのり面の表層は、過飽和な湿潤状態にあり、そこへ2日間で43mmの降雨があったため、張芝が水を含んで重くなり、緩んでいたのり面の表層がまだ凍結していた層を境に、滑落崩壊したものと考えられる。滑落の深さは、表層から15~25cm程度である。なお、張芝は前年の夏に施工しており、滑落時の芝の根は10cm程度の長さになっていた。

3.3 現場試験結果

現場で試験ヤードを設け、各種保護工の比較検討を行った。

調査結果は以下のとおりである。なお、図-7に保護工の試験工種を示す。

1) 含水比の変化

冬期から春先にかけての地表面下20cmの含水比の変化は、図-8のとおりである。張芝工について、南向き面、北向き面の含水比を比べると、4月下旬で20%ほど北向き

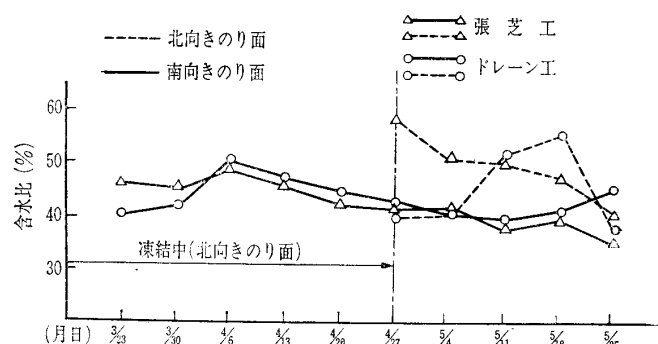


図-8 含水比の変化

面の方が高い。また、のり面の高含水状態を避けるために試みたドレーン工法については、のり面上の作業で施工性に難があるため、効果は少ないようである。

2) 地中の凍結深

地中の凍結深の変化を図-9に示す。北向きのり面においては、2月上旬から3月下旬まで地表から50cm程度まで凍結する。そして、気温の高くなる4月上旬ころから表層部より融解してくる。崩壊の起きた4月下旬から5月上旬にかけて、地表面下20cmの所から50~60cmの所まで凍結層が存在する。一方、南向きのり面では地中温度がマイナスになることはなく、地中に凍結層は確認されなかった。これは南向きのり面は冬期間も陽がよく当たり、降雪はすぐに解けたためと思われる。また、調査期間のうち昭和54年2月の月平均気温が平年に比べて3.5℃高い-2.8℃であり、暖かかったことが影響したともいえる。

3) 土壌硬度

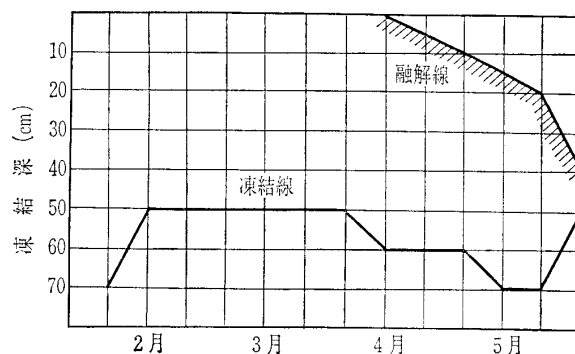


図-9 地中の凍結深(北向きのり面)

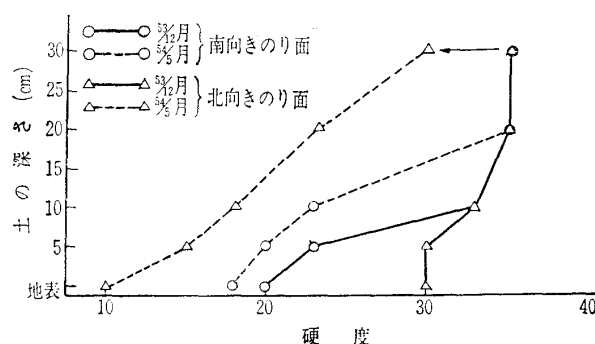


図-10 土壌硬度の変化

土壌硬度は山中式硬度計（長さ 20 cm，径 3 cm）を使用し，KODAN 601 により測定したものである。試験方法は，のり面に垂直に硬度計を立て，のり面に圧入したときの目盛が土壌硬度である。

凍結融解作用による表層部の硬さの変化を調べるため，越冬前の 12 月と融雪後の 5 月の前後 2 回，土壌硬度を測定した。測定結果は図-10 のとおりである。5 月の測定値は北向きのり面，南向きのり面とも，12 月に比べて低くなっている。また，地表部ほど低下の度合いが大きい。南向きのり面では，地表から 20 cm まで土壌硬度が低下しているのに対し，北向きのり面は 30 cm まで低下しており，凍結融解作用による硬度の低下は北向きのり面の方が深部まで及んでいることが分かる。

4) のり面の目視調査

昭和 54 年の春先において，現場試験ヤードではのり面が滑落することはなかった。しかし，各工種の状態を調査すると，のり面の状態が良好なものから，芝に凹凸や洗掘の見られるものまであり，全般的に見て，「張芝 + ネット」工法が良好な状態であった。

3.4 試験施工の評価

1) 施工性

植生穴工，植生土のう工は人工植生工であるため，越冬に備えて十分な生長が得られるよう夏期まで施工を完了しなければならず，北海道のように成育期間の短い地域では，大規模な採用が難しい。それに対し，張芝工は秋期にも施工が可能であり，施工直後にのり面を完全に被覆できる。

2) 崩壊抑制効果

凍結を抑制する工法および高含水状態を避ける工法は，調査結果に示したように，あまり効果がなかった。また，

根茎分布を多層化する工法は，表面にガリ浸食を生じたのに対して，「張芝 + ネット」工法は比較的良好であった。

3) 経済性

経済比較をすると，植生穴工が最も安価であり，以下，ドレーン工法，ネット関係工法，植生土のう工法の順になり，施工に重機等を必要とするのりわく工法が経済的に不利といえる。

以上，三つの評価基準から総合的に判断すると，「張芝 + ネット」工法がのり面の早期被覆が可能であること，施工性が良いこと，比較的安価なことから現実的な工法といえる。

一方，追跡調査結果から「張芝 + ネット」工法でもネットとのり面との接着に若干の問題が生じたため，改良を行うことにした。

第一に，北向きのり面においてはワイヤーの間隔を密にし，押さえの効果を高める。第二に，小段付近のアンカーがのり面の積雪荷重の影響で浮き上がったため，その防止対策として，アンカーの周りをコンクリートで巻く。

4. あとがき

以上，札幌～登別間における支笏火山灰の凍上問題について報告した。

支笏火山灰の路床材の適用性については，現場試験を行って日も浅いため，今後長期にわたる凍上，凍結融解作用の繰返しによる強度低下も考えられるので，これからの追跡調査をする計画であり，また，のり面保護工についても今後の状態により改良を加える計画である。

参考文献

- 1) 日本道路公団：土木工事試験方法。
- 2) 日本道路公団：設計要領 第一集 第一編 土工。
- 3) 高橋朋和・山中 治：凍結融解を受ける寒冷地の路床についての一考察，日本道路公団第 21 回業務研究発表会，1979. 6。
- 4) 長屋 厚・目黒正之・山中 治：支笏火山灰のセメント安定処理による効果について，日本道路公団第 22 回業務研究発表会，1980. 6。
- 5) 浅田秀典・真嶋光保：北海道におけるシラス（支笏火山灰）の凍上・凍結融解特性について，日本道路公団第 19 回業務研究発表会，1977. 6。
- 6) 北川賢治・問谷邦利・岡 隆延・岩崎洋一郎：支笏火山灰質切土のり面の保護について，日本道路公団第 21 回業務研究発表会，1979. 6。
- 7) 北川賢治・問谷邦利・岩崎洋一郎：支笏火山灰の切土のり面保護について，日本道路公団第 22 回業務研究発表会，1980. 6。

（原稿受理 1980. 11. 12）