

# 林道の土質環境と路面凍上について

林 博道 ・ 井上 裕

信州大学農学部 演習林研究室 森林生産保全研究室

## 1 はじめに

凍上現象は気温の低下が地表面に及び更に地中のかなり深い部分（当地方山間部裸地での最深土壌凍結深度は約70cmと言われている）にまで達することから、路面のみならず路盤凍結まで達することは珍しくない。また、この凍結が温度の上昇に伴って融解が始まると、土質によっては大きな路盤の攪乱を起す危険がある。このことが春季林道を使用するにあたり、場所によっては路面及び路盤の安定化をはかるために大量の砂礫の投入や、補修を必要とする原因となっている。前年度おこなった冬期における林道路面の凍上試験<sup>1)</sup>では、主として林道のおかれた立地環境面から路面凍上に最も大きく影響する因子として日照量の大小があげられた。また土壌面からは、ローム土と砂礫土とでは霜柱を介在として路面凍上量に少なからぬ相違の現れることが示唆された。

本報告ではこれらの試験結果を踏まえた上で、特に路盤土質の異った2試験地を選定し、路面凍結に関係の深いとみられる土質の相違、積雪の影響、路面への供給水分の多寡、投入砂礫の厚さとその有効性等を調べるため温度変化と路面凍上量の関係を観測し、若干の考察を試みたのでここに報告する。

## 2 試験地の設定及び測定方法

### 1) 試験区の設定

平成3年の冬期間、信州大学手良沢山演習林内で行った凍上試験の内、主として路盤土質の異なる2試験地A・Bについて凍上測定を行った。

試験区はA・B試験地共に道路中心線を基準として2m×2mの正方形とし、傾斜上方より④除雪区、⑥対照区、③礫厚15cm区、①ビニール遮断区、⑤礫厚50cm区、②散水区の6区を設置した。除雪区は、積雪が保温効果と共に凍上防止の役割も果しているのではないかと、この仮定のもとに、他の区とは別に降雪後直ちに除雪を行ない、常時露出状態にすることでそのちがいを調べた。対照区は全く手をつけずの状態に放置した。散水区は路面を湿潤状態にした場合の凍上への影響をみるために、10日に1回の割合で約20ℓの水を試験区全面に散布した。礫厚15cm区は、試験区全面を厚さ15cmにわたり碎石（ $\phi$ 40mm）に入れ替えたもので、礫の凍上防止における有効性をみるためのものである。なお厚さ15cmは気象観測の地中温度計の深さと一致させた。ビニール遮断区は、深さ15cmの試験区全面に建設用厚ビニールを敷きつめ、その上に掘り取った原地盤の土砂を埋め戻したもので、路盤の下方からの水分供給を遮断したものである。礫厚50cm区は、試験全面を深さ50cmにわたり碎石

表-1 試験地の概要

試験地名	路面状態				路盤硬度(平均)		路路盤土質	立地環境
	路面方位	勾配	幅員	数砂利厚	中央部	轍部		
A	S70°E	12%	3.5m	10cm	7.7 kg/cm <sup>2</sup>	14.6 kg/cm	砂礫混交	樹陰地, 日照2時間未満
B	N20°E	10%	3m	0cm	6.8 kg/cm <sup>2</sup>	10.2 kg/cm	ローム・砂混交	半陰地, 日照2時間未満

表-2 試験区の概要

記号	名称	路面状態
a	除雪区	降雪のある度に除雪し常に路面を露出状態とする。
b	対称区	路盤・路面共に手をつけず自然状態で放置する。
c	礫厚15cm区	碎石(φ40mm)を路面より15cm厚に敷きその上をランマー及びトラックで十分でん圧する。
d	ビニール遮断区	路面より15cm下に厚ビニールを敷き, 下方及び側方からの水分補給を遮断。その後十分でん圧。
e	礫厚50cm区	碎石(φ40mm)を路面より50cm厚に敷きその上をランマー及びトラックで十分でん圧する。
f	散水区	約20ℓの水を10日間隔で試験区全面に散布する。

(φ40mm)に入れ替えたもので、更に礫の厚さを増した場合の凍上への影響を見ようとしたものである。なお路盤の土を掘り起し施工した礫厚15cm区、ビニール遮断区、礫厚50cm区は土砂の埋め戻し後、ランマーとダンブトラックにより十分でん圧し、他の試験区と同じ状態になるよう心がけた。これらの試験区は当地方において冬期および春先に一般に行なわれる路盤の改良工事や、路面安定のための礫材の投入など、主として水と凍上防止に関わる林道の維持管理作業の中から、これらの諸作業がどの程度の凍上防止効果があるのか、数量的に把握しようとしたものである。試験区の概要については表-1及び表-2に示す。

## 2) 温度測定

地中温度は㉔, ㉕, ㉖試験区の地下15cm及び㉗区横の地下50cmに温度測定用センサー(KADEC-U)を埋め込み、それぞれ条件の異なった路盤の地温の変化を1時間間隔で記録した。

気温は現地測定とし、A・B試験地共に最寄りの立木を使用して地上1.2m高で地中同様1時間間隔で測定し記録した。なお一日の平均温度は1時間間隔で測定した24観測の平均で示し、最低温度は一日の極値をもって表わした。

## 3) 凍上量の測定

前年度に測定した要領とはほぼ同様に、各試験区共に2m正方形の中心点を道路中央部とし、そこから左右へ一直線上に70cm隔てた点(轍)の計3点を定点として頭に十文字の印のついたコンクリート打込用ピンを打込み目印とした。観測は土壤凍結が始まる前の12月20日より凍結融解が終了した4月11日までとし、ほぼ10日に一回の割合でレベルと箱尺(1m/m目盛)で測量した。測量時刻は毎回9時を原則として行った。

### 3 結果及び考察

#### 1 土壤環境を異にした試験区の凍上量の比較

##### 1) A試験地での結果

試験地路面内の使用区分帯毎に路面環境の異なったa～f試験区（以下試験区の呼称は省略する）の凍上量の推移を示したのが図-1～3である。

凍上経過は、概ね凍上進行期は緩斜曲線を描き、本観測期間の中では2月29日のピークを境に融解期に移り、3月下旬～4月上旬の融解終了までは比較的急傾斜で推移している。期間中数回の暖冬傾向がみられたが、凍上量にはほとんど影響がみられず、ほぼ昨年と同様の傾向を示した。以下各試験区毎の観測結果を検討してみることにする。

①無施工区 路面の土壤自体に直接手をかけていないa, b, fの凍上観測結果をみると、先ず路面の部位に関係なく、凍上の開始時期により融解に至るまで常に高い値で推移してお

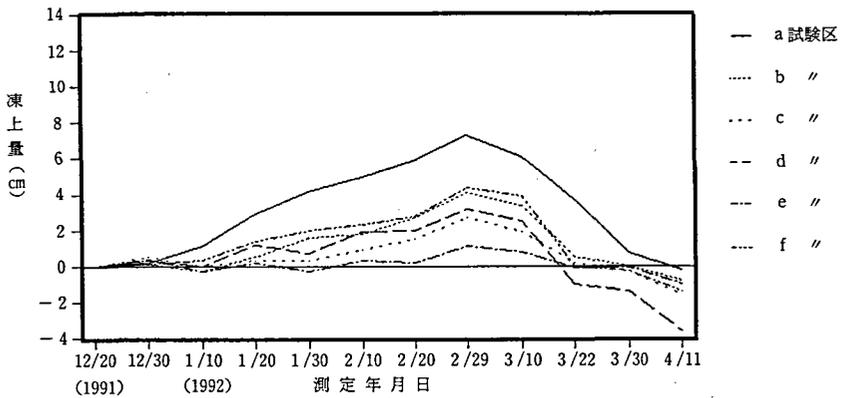


図-1 A試験地轍山側凍上量

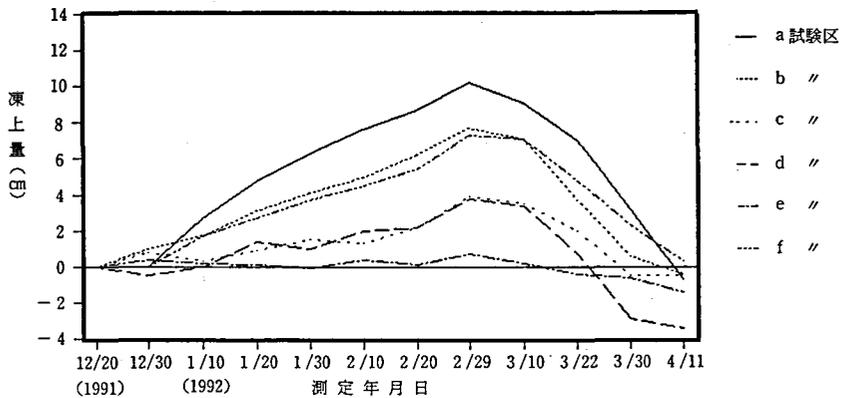
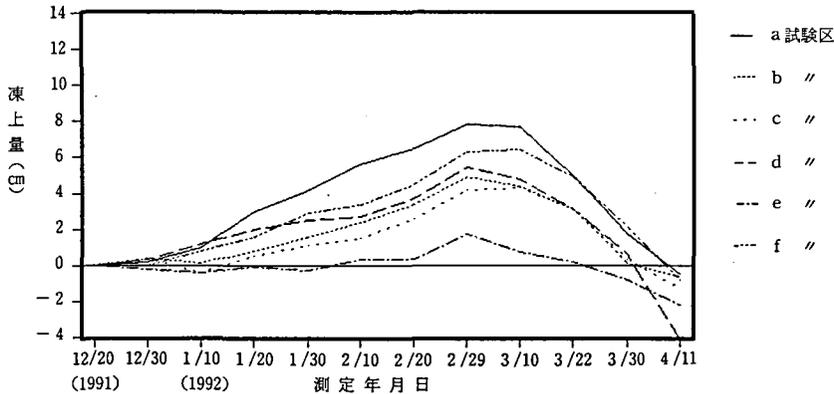


図-2 A試験地中央部凍上量



図一3 A試験地轍谷側凍上量

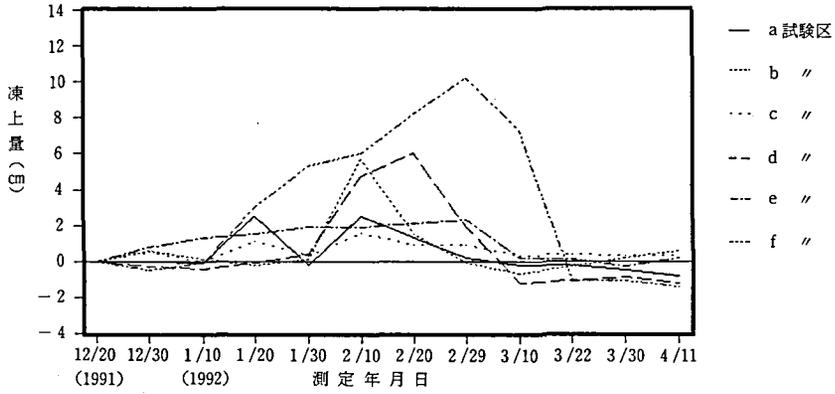
り、何らかの路面施工を施した区に比して明らかな相違があることを示している。中でもaは全期間通して最大値を示しており、積雪のない裸地状態での気温低下は、路面凍上を著しく進行させる様子が伺える。ちなみに、この試験地における期間中の積雪量は、1月上旬の9 cmから3月下旬の融雪期まで平均12cm程度、最大15cmであり、さほど多い量であるとは言えないが、積雪が気温低下に伴う放射冷却を抑止し、凍上を少なからしめる効果のあることが示された。fでは中央部を除いた轍部で、対照区であるbをかなり上回る結果を示している。土質的に比較的透水性の良いA試験区にあっては、散水による影響は少なくなるものと思われるが、3月下旬の融解期になってから他区に比べて融解速度が鈍くなる傾向が表れている。これは、路面よりやや深部での散水による余剰水の氷結が原因しているのではないかと推察される。

② 施工区 礫の厚さ50cmを施したeは、観測期間を通じて全ての部位で凍上量は最小値を示した。2月下旬の凍上ピーク時でも最大2 cm未満で推移しており、ほとんど日照時間のないA試験地の立地条件を考慮すると、50cmの礫の投入は凍上抑止面においては際立った効果があることが実証された。

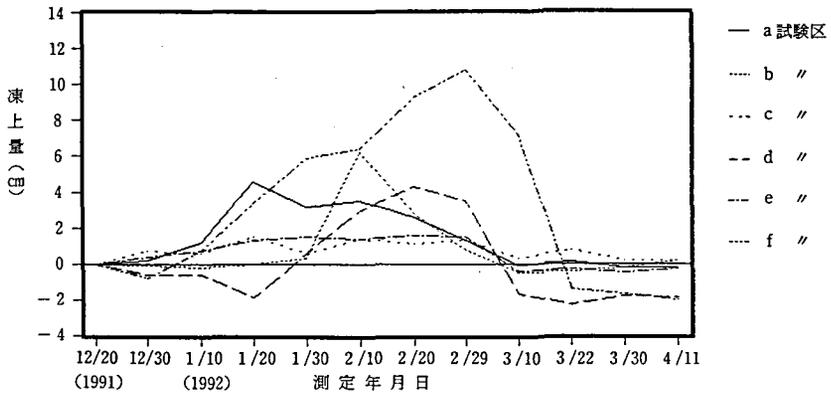
cとdをみると、道路中央部ではほぼ等しい凍上量で推移しているものの、轍部ではcがやや少ない値を示している。数値的には中央部で最大4 cmであり、この値は対照区であるbの約1/2と大きな抑止効果が見られた。轍部では全体的に凍上量が減少することから、ピーク時においてc、dはbの約70~80%、山側においてはbよりもやや増大する傾向さえもみられ、効果の程度は林道の部位によって異なる結果が示された。しかし、このような礫質土壌環境下において、ビニールシートで下盤からの水分補給を遮断することにより、礫厚15 cm投入区とほぼ同等の凍上抑止効果がみられたことは注目し値すると言えよう。

2) B試験区での結果 B試験地の使用区分帯別凍上量の推移は、図一4~6に示すとおりである。本試験地は黒色ローム土と砂質土の混交であり、また樹陰から一時、斜光としてこぼれ陽が差し込む点などA試験地とは環境的に多少異なる点があり、凍上量の推移の上でもやや異変が見受けられる。

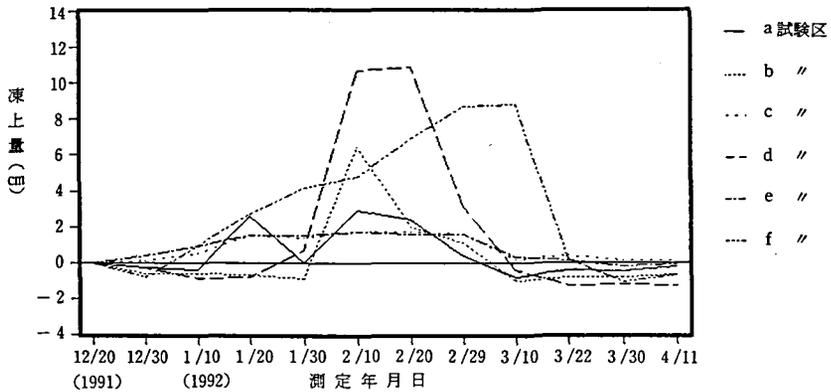
①無施工区 対象区であるbを基準にみた場合、fの散水区がどの部位においても最大の



図一 4 B試験地轍山側凍上量



図一 5 B試験地中央部凍上量



図一 6 B試験地轍谷側凍上量

凍上量を示しているのが特徴的である。量的に見た場合、最大ピーク時で約10cm近くにもなり、A試験区のそれと比べて50~60%の増大傾向を示している。このことから冬期の水分供給はこのようなローム質土壌ではより凍上を促進させる作用があることが強調された。またaはbに比べて2月10日の一時期を除けば全体的に凍上量は大きく推移しているものの大差はみられず、A試験地の結果とは大きな隔りがあることが確認された。これは積雪量がA試験地に比べて厳冬期でも平均3~9cmと、B試験地で少なかった事が積雪の効果をそれ程顕著なものにしなかったとも言えるが、bでの絶対量が少ないのは、やはり土壤環境の相違が原因しているとも推察できる。

②施工区 礫投入区のcとeは、共に凍上開始期より凍上現象がみられ、凍上量も最大2cm程度と低水準で安定した曲線を描き、凍上抑止効果が大きい事が読み取れる。しかし、A試験地と異なり両者にはほとんど差がみられない結果が示された。このことは礫15cm厚で十分50cm厚と同等の効果が得られるとも読みとれるが、もう少し気象条件の厳しい場合にはどのような結果が出てくるだろうか、今後継続して観測する必要がある。

dはB試験地の中では最も特異な凍上現象を示している試験区である。気温の最も低下する2月に入って霜柱を伴った大幅な凍上現象が現われ、他区を圧倒している様子が伺える。A試験地でかなりの凍上抑止効果が示されたのとは相反する結果となった。ビニールシートは路盤の下方からの水分補給は遮断するものの、上方からの供給は無制限である。もしこのような土壤環境で凍上を抑止するとしたらどのような方策が考えられるだろうか。それは上方からの水分の補給を断つこと、すなわち降水は致し方ないとして、上方からの路面水の流入等は極力排除させるような工夫が必要であろう。

以上の観測結果からA・B両試験地に共通する項目として

- i) 礫厚50cm区は、全期間通して凍上量は2cm以下と低く、抜群の抑止効果のあることが示された。
- ii) 散水区は、程度の差こそあれ共に最大値を示し、冬期の水分補給は凍上の大きな要因であることが示唆された。

また両試験地間に大きな隔りがあるか、或いは相反する傾向を示した項目として

- i) 礫厚15cm区ではAではかなりの抑止効果が認められたものの、Bでは更に量的に1/2以下となり、礫厚50cm区と同等の効果が示され、明らかな差が見られた。
- ii) 除雪区ではAで明確な凍上促進現象がみられたのに対し、Bではそれ程の現象は表れなかった。
- iii) 対照区自体Aでは凍上過程がスムーズ曲線を描くのに対し、Bでは特異な現象を示し、量的にもかなり低い値を示している。
- iv) ビニール遮断区のAでは礫厚15cm区とほぼ同等の効果が示されたものの、Bにおいては厳寒期において異常に高い値を示し土質による差が明らかとなった。

## 2 気温及び地温の変化と凍上量

1) A試験地 A試験地の気温とa, b, e試験区の地下15cmでの地温、及び試験区外の地下50cmでの地温の推移を図-7, 8に示す。

①気温 最低気温は測定開始直後よりマイナスとなり、2月下旬まで概ね-5°C~10°C

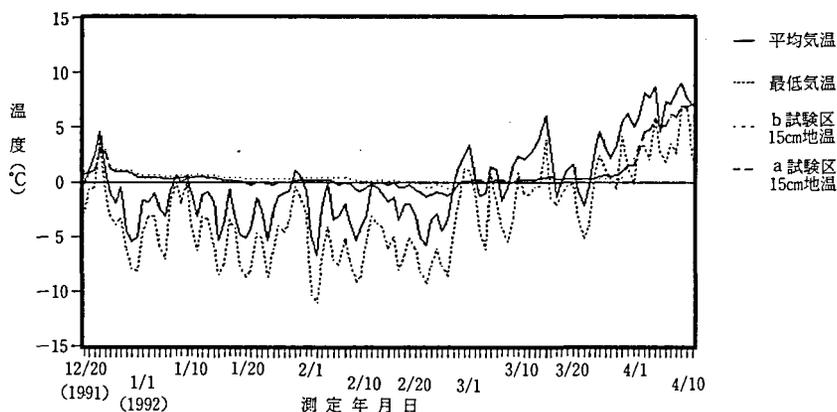


図-7 A試験地での気温と地温の推移

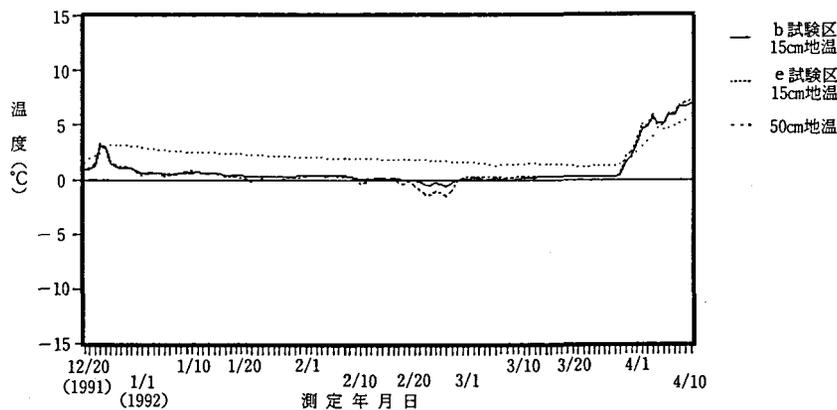


図-8 A試験地での地温の推移

(極値 $-11^{\circ}\text{C}$ )を中心に凹凸を繰り返しながら比較的暖冬の中で推移している。日平均温度は日最低温度に比べ約 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 高い値を示しながらほぼ平行に変化している。平均気温は2月下旬より、また最低温度は3月初旬よりプラスに転ずることが多くなり、一時的な寒の戻りを繰り返しつつも全体的にはかなり急角度で上昇を示している。この傾向を凍上量の変化と対応させてみると、凍上量の上昇と下降の変換点は7日 $\sim$ 10日のずれで、温度変化の方が早期に訪れるようである。

②地温 地下50cmの温度変化は図から明らかなように、観測初期の $3^{\circ}\text{C}$ から3月下旬の $1.3^{\circ}\text{C}$ までほぼ直線的に推移しており、期間を通してマイナスに降下することはなかった。しかし3月下旬からは、他の試験区の地温と時を同じくしてかなり急激な上昇線を示している。このことから、この深度になると、ほとんど外気温の変化に敏感に反応しないものの、凍上融解終了時期直前になって一気に上昇することは、現地路面観察から地表の凍結が急速に融解し路面攪乱を起こす危険のある時期と一致している。

他の試験区では、凍結期間に入った直後より $0^{\circ}\text{C}\sim 1^{\circ}\text{C}$ のプラスの温度でほぼ同温で推

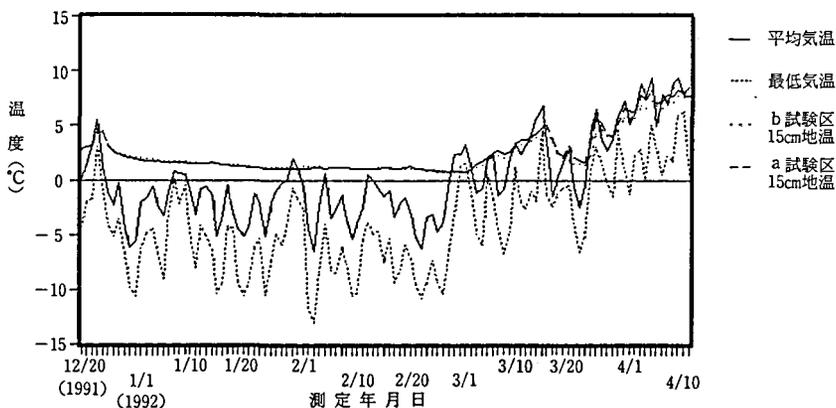


図-9 B試験地での気温と地温の推移

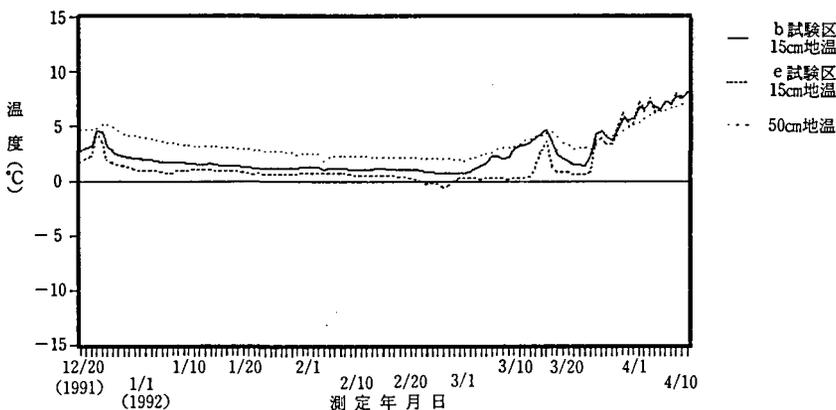


図-10 B試験地での地温の推移

移している。2月中旬に10日間程 $-1^{\circ}\text{C}$ 前後のマイナス期間があるのは特徴的であり、それが下旬の凍上ピークにつながっているものと思われる。しいて低温のものから順位をつけるならば $e < a < b$ となり、対照区に比して礫厚50cm区、更に除雪区と低温になる徴候があるものの、地表の凍上量とはあまり関係がないようである。

2) B試験地 B試験地での気温と各試験区での地下15cmでの地温の変化を図-9, 10に示す。

①気温 A試験地とは150m程しか離れていないため大きな差はないものの、最低温度は概してA試験区に比し $1^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ の範囲で低下しており、気温の局地的な特色がみられた。平均気温はA試験地とほとんど変わらぬ値を示した。

②地温 地下50cmの地温は、観測開始期の $5^{\circ}\text{C}$ 前後から降下しほぼ $3^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ で推移し、他の試験区地温に比べてかなり高い値を示している。また、この地温はA試験地のそれと比較しておよそ $1^{\circ}\text{C}$ 近く高いものであり、気温の割に地温の変換点はA試験地に比べて明確でないものの、約1ヶ月近く早い時期に表れており、3月上旬(10日)の平均気温上昇の第

1 ピークを示す時点ではA試験地より10日も早く、すでに凍上はほぼ終了している。これはA試験地では地温としては全く反応がなかったもので、B試験地のみで見られた特徴であった。これは土質の特性なのか、それとも周辺の影響が影響しているものか今後解明していく必要がある。

各試験区別地温の推移を比較してみると、A試験地と比べて1~2月の凍結期に1°C近く高い温度を示しており、このことが結果的に融解期を早めているものと読みとれる。この試験区での順位としては $e < a < b$ となり、 $a$ 、 $b$ はほとんど同値であるのに対し $e$ の礫投入区は明らかに低温で推移しており、ここでも凍上量の最も少ない礫投入区で地温が最も低くなると云う皮肉な現象がみられた。

以上の結果からA、B両試験地に共通する項目として

- i) 地下50cmの地温は、地下15cmのそれに比べて高い温度で推移し、地上の温度変化には鈍感である。
  - ii) 各試験区別の15cm深地温の順位は、僅かの差ではあるものの $e < a < b$ となり、砂質土壌では凍上量の少ない割に地温は低下する傾向が示された。
- A、B試験地に大きな差異の認められるものとして
- i) 両者の平均気温はほぼ同じであるのに対し、地温はどの深度においても、またどの試験区においてもBが高くなる傾向が示された。
  - ii) 凍上期の後半、Bにおいて地温上昇期が早く訪れ、その結果地上の凍結融解終了期が早まる。

#### 4 おわりに

ここで言う土質環境とは、林道路面を構成する土質とそれを取りまく雪、水、日照、気温、地温、人為による施工等の環境的要素を総合したもので、それらと凍上量との関係を観測、検討してみたところおよそ次の様な結果が得られた。

- 1) 礫厚を50cmとしたものは、両試験地共に凍上量が2cm未満とほぼ完べきな凍上抑止効果のあることが示された。
- 2) 散水試験区は、A・B両試験地共に対照区を大きく上回る凍上量を示した。このことから、路盤の水分過剰は、凍上を大きく促進させる作用のあることが示唆された。
- 3) A・B両試験地間で相反する凍上結果が示されたものとして、除雪区( $A > B$ )、ビニール遮断区( $A < B$ )があり、今後土質環境との因果関係を調べる必要がある。
- 4) 地温の観測からは、深さ50cmが凍結期間中最も高い温度で安定的に推移し、本観測の結果からは凍結の心配は感ぜられなかった。また深さ15cmでは、両試験地共に温度の高い順から①対照区②除雪区③礫厚50cm区となり、地上に表れる凍上量との相関は認められなかった。
- 5) 今回の試験からは、凍上量においては総体的にA試験地が過大な値を示し、また凍結期間でも長くなる結果が示された。またそれを裏付ける地温も、A試験地で低い傾向が示されているが、果してそれが土質の違いなのか、環境面の影響なのか断定は早計であると思われる。

以上結果をまとめてみたが、今後は更に土質分析による土壌間の凍上量のちがいを、新たな凍上防止工法の試作、冬期林道の路盤強度試験等林道の使用条件の向上に向けて研究を進めていきたいと考えている。

本研究を進めるにあたり、本学演習林職員の清水昭行氏、安積悦郎氏、小椋寿男氏には試験区作設及び路面管理の面でご協力いただいた。心より謝意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 林博道・井上裕：冬期における林道の路面凍上について 信大農演習林報告 28 1991
- 2) 辰野良秋：霜柱による侵食防止に関する実験的研究 信大農演習林報告 3 1961
- 3) 辰野良秋・堀内照夫：山腹工作物の凍害防止に関する研究—侵食土砂量に影響する因子の検討— 信大農演習林報告 6 1969
- 4) 辰野良秋・堀内照夫：山腹工作物の凍害防止に関する研究—凍結破壊に関係する凍結土壌の性質について— 信大農演習林報告 6 1969

## Research in the Relation between Frost-heaving of Forest Road and Conditions of Road Surface

By Hiromichi HAYASHI

University Forest, Fac. Agric., Shinshu Univ.

Hiroshi INOUE

Laboratory of Production and Conservation of Forest, Fac. Agric., Shinshu Univ.

### Summary

In order to research in the relation between frost-heaving of forest road and conditions of road surface, we set two experimental places, shade and sunny. And allocated six test sections in each place. The items of six test sections were ① removed snow, ② untouched, ③ paved 15cm depth with graded, ④ laid vineyl mat, ⑤ paved 50cm depth with graded and ⑥ sprinkled with water. further, we buried four sensoers of temperature in road at 15cm and 50cm depth in each place.

We measured the frost-heaving height and temperature of each point at intervals of about 10 days from late in December to early in April. As a result, it appears follows.

1. At the sections paved 50cm depth with graded, the frost-heaving hight was less than 2cm.
2. At the sections sprinkled with water, the frost-heaving was higher than at the untouched sections.
3. At the sections removed snow and laid vineyl mat, it appeared reverse resalts between two experimental places concerning frost-heaving.
4. The temperature of 50cm depth was higher than 1°C during this winter. Between the temperature of 15cm depth and the frost-heaving hight, no relation was shown.
5. At the hide place, the frost-heaving was higher and the period of frost-heaving was longer than at sunny place.