

冬期の温度変化と林道路面の凍上

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

林道の冬期における路面凍上は凍上期間はもとより、融解期においては路面のみならず、路床の軟弱化をもたらす起因となっている。これは林道の位置するところの立地環境、とりわけ日照時間に関わる部分が最も大きいことが上げられる。また、凍上防止策として各種の土質環境を考えた実験によれば、土中50cmにまで達すれば地中温度はほとんどマイナスにならず路床に空隙量の多い排水良好な礫質土を使用することで大きな凍上防止効果が得られること等が前回までの報告²⁾³⁾で明らかになった。

本報告では前年に引き続いての温度と凍上量の測定結果から、2ヶ年の資料について土質条件の異なった条件下での凍上が、温度（気温）の変化に伴って進行していく過程を、積算温度をもとに分析し考察した。また凍上による路床の支持力の変化をみるために、凍上前と融解後の路床支持力試験を行ったのでその結果も合わせて報告する。

2 試験地及び測定方法の概要

1) 試験地の設定

平成4年の冬期に本学手良沢山演習林4林班内で行った林道の凍上試験地A・Bについて、引き続き気温、地温の観測と路面凍上量の測定を前回と全く同じ手法で行った。ただし前回の試験区の中での①散水区に替えて、新たな条件として軟弱路盤の路床強化材として使用される大型碎石C-80（φ80mm以下）を入れ、これを④角礫区として設定した。角礫は厚さ15cmに敷き詰め、それをトラックとランマーで十分に圧し試験区とした。他の②から③までの試験区はA・B試験地共に前回と同一のものを同一条件で使用した。試験地の概要については表-1に示す。

2) 温度測定

前回と同様A・B試験地共に②、③、④試験区の地下15cmと⑤試験区横の地下50cmに温度測定用センサー（KADEC-U）を埋め込み、地中温度の変化を1時間間隔で記録した。また、気温は現地にて地上1.2m高の立木を利用し1時間間隔で記録した。積算温度は凍上直前と判断された観測開始日の12月12日を0として逐次累計していったものである。積算温度を使用した主な理由は、地下の凍結は一朝一夕の冷却では起こりにくく、寒い日、暖かい日の日変化や、また、一日の中でも昼と夜では温度変化がプラスからマイナスまで幅が大きい。凍上が進行することは、このような日々刻々の温度変化が相対的に低下して凍結に向かうことであり、その意味で積算温度から凍上現象を捉えることは妥当と考えたからである。

表-1 試験区の概要

記号	名 称	試 験 区 の 条 件
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 15 cm 区	碎石C-40 (φ40mm以下)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にん圧する。
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。その後十分にん圧。
e	礫 厚 50 cm 区	碎石C-40 (φ40mm以下)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にん圧する。
f	散 水 区	約20 lの水を10日間隔で試験区全面に散布する。
g	角 礫 区	碎石C-80 (φ80mm以下)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にん圧する。

注) fは'91年, gは'92年のみの設定

3) 凍上量の測定

測定要領は前回測定した方法と全く同様であり、期間は1992年12月12日より1993年4月23日までの134日間であった。

4) C・B・R 試験

凍上による路床土の支持力の変化をみるために、凍上前の12月15日、及び凍結が融解した直後の翌年4月13日の2回、現地においてC・B・R試験を行った。測定箇所は谷側轍部で、A・B試験地共に④～⑧の各試験区総てについて行った。

3 結果及び考察

1) 気温の推移

1992～1993年(以下本年と言う)のA・B両試験地の気温の推移を示したものが図-1、図-2である。林内地であるA試験地(以下Aと言う)と、林縁地であるB試験地(以下Bと言う)では至近距離にありながら気温の変化には微妙な差異がみられた。Aでは平均気温では全体に低温傾向がみられ、特に3月以降の上昇期にその傾向が強くなる。また最低気温の極値ではBの方が大きな値を示す傾向がみられた。このことからAにおいては比較的気温の変動幅が小さく、Bにおいては逆に変動幅が大きい結果が示され双方の立地的環境の特性が示されていると言える。なお1991～1992年(以下前年と言う)の観測結果においてもほぼ同様の傾向がみられた。

2) 凍上量と積算温度の推移

本年測定した各試験区毎の凍上量(路面谷側轍部)の推移と測定開始日を0とする積算温度の関係を図-3、図-4に示した。Aにおける凍上は観測開始と同時に始まり、いったん1月5日に低下した(暖冬で一時期軟弱化したため)ものの以後は増大傾向に入り、3月23日の約9cmをピークに減少傾向になり、4月23日にほぼ融解が終了している。この間の凍上量の最も大きい試験区はaであり、逆に最も小さい試験区はeであり、この傾向は前年の測

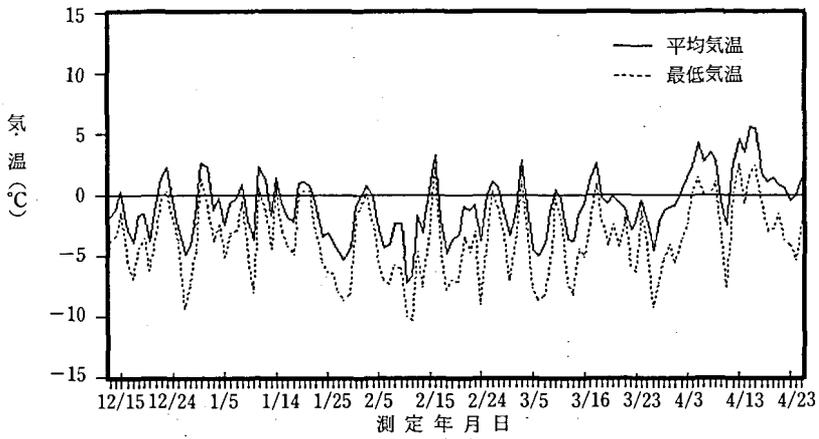


図-1 A試験地での気温の推移 ('92~'93)

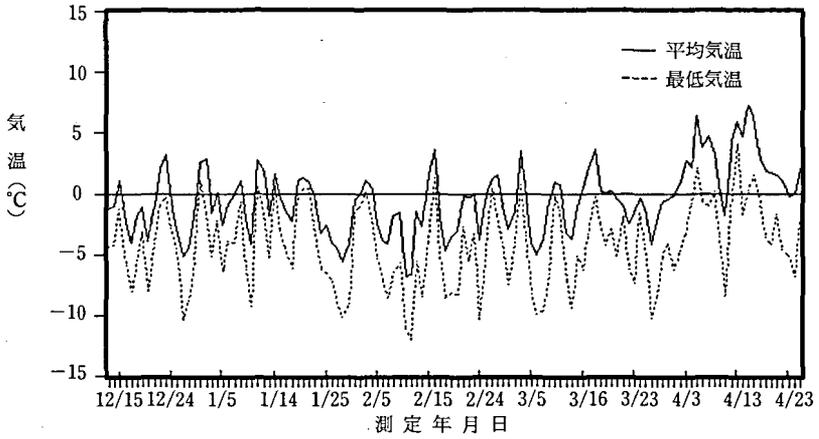


図-2 B試験地での気温の推移 ('92~'93)

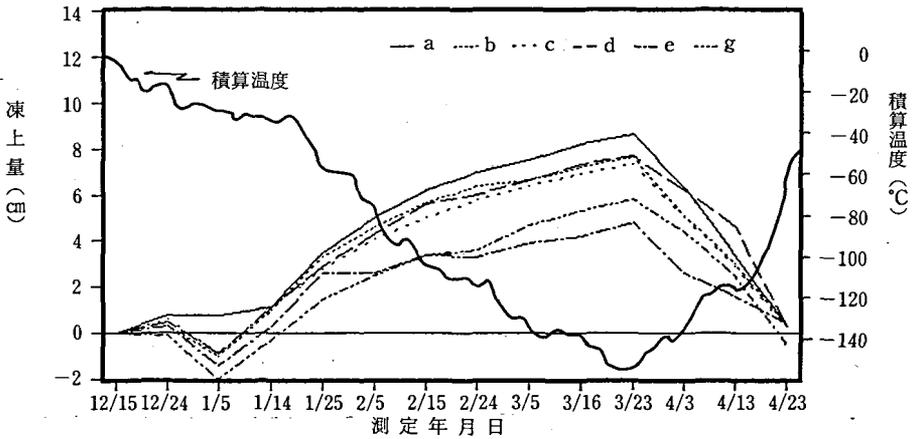


図-3 A試験地での凍上量と積算温度の推移 ('92~'93)

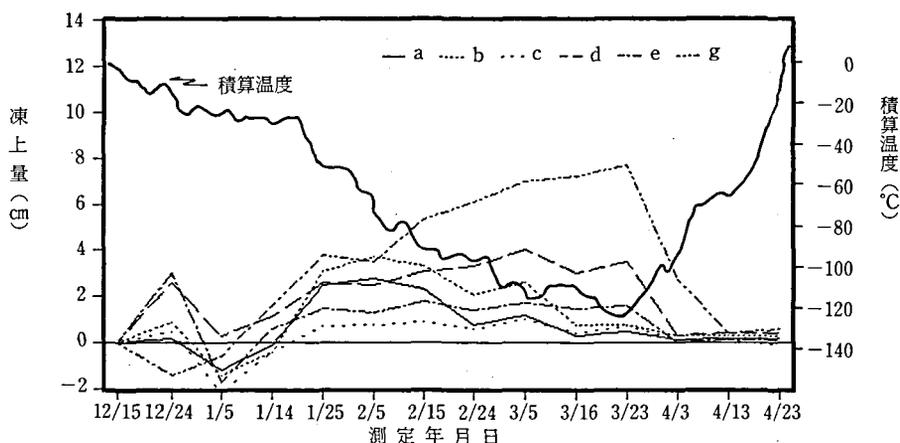


図-4 B試験地での凍上量と積算温度の推移 ('92~'93)

定結果とほぼ同様であった。

一方この間の積算温度の推移をみると測定開始日より低下を続け、1月の暖冬期間中はやや下降速度が鈍ったものの2月に入って急速に下降を速め3月23日低温のピーク -155°C に達し、その後は4月23日の測定終了日まで上昇に向かっている。この上昇期のカーブの角度はピークまで下降する時期の角度に比べて著しく急である。この傾向は凍上量がピークに達し、それが融解に向かって下向する場合とプラスとマイナスが逆ながらほぼ類似していることがわかる。

Bでの凍上量はgを除いて最大値が4cm以内と小さく1月下旬より3月下旬までピークが明瞭でないまま4月上旬に融解が終了している。gについては試験地の中にあつては最下方に位置し庇蔭度が他に比べてやや高い為かAに似た凍上の推移を示している。

Bについての積算温度はAに比し全体にマイナス値が小さく、測定開始日よりその差は徐々に広がりピークの3月23日では -125°C とAに比べおよそ 30°C 高い温度を示し、その後も差は拡大方向で推移し4月13日には最大の 50°C の差がみられた。Bでは先にも述べたとおりマイナスの極値は大きな値を示すものの平均気温は高く、積算温度としてはそのトータル値が示されたものと解釈できる。

同様に前年の両試験地の凍上量と積算温度の推移を示したものが図-5、図-6である。Aについてみると測定開始以降本年とほぼ同様に凍上量は上昇線をたどり、2月29日ピークに達した(本年より約25日早い)後、しばらくして下降期に入り、4月上旬に融解が終了している。全体をとおしてどの試験区もきれいな山形を描いている。これを裏づけるように積算温度も凍上量の増大に合わせて下降線を描き、凍上量のピーク時にはほぼマイナスの極値に近い値を示している。

このことからAの凍上量においては、各試験区共にその土質環境に即した大小の差異は当然あるものの、積算温度とはかなり高い反比例的な相関があるのではないかと推察される。

Bにおいては積算温度の低下に伴う凍上量をみると、試験区によっては凍上量のピークを示す時期など異なる傾向が見られ、その意味では本年と同様の傾向がみられた。このように、Bにおいてはf以外ではかならずしも積算温度の変化と、凍上量の間にはAのような高

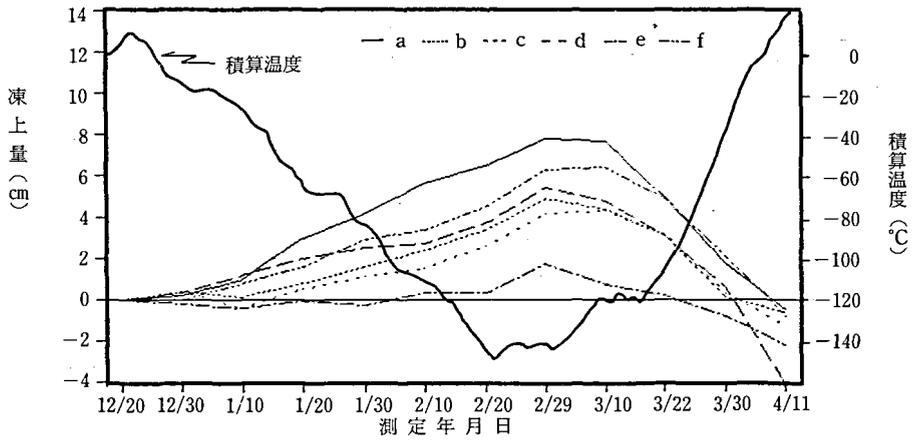


図-5 A試験地での凍上量と積算温度の推移 ('91~'92)

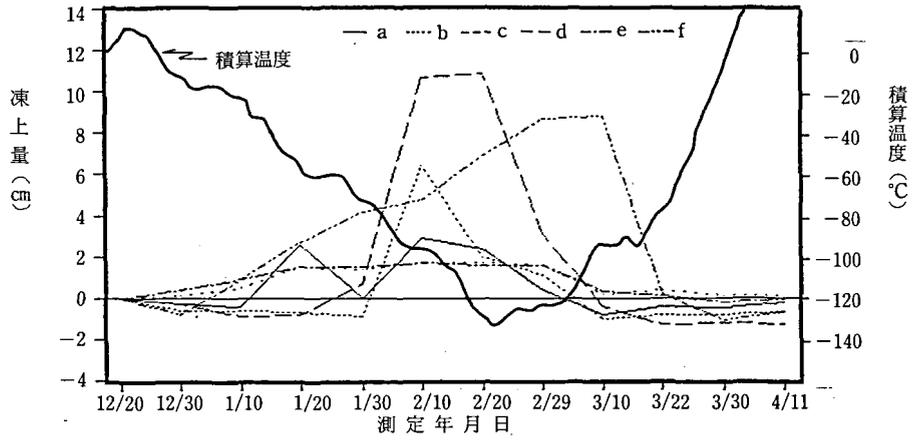


図-6 B試験地での凍上量と積算温度の推移 ('91~'92)

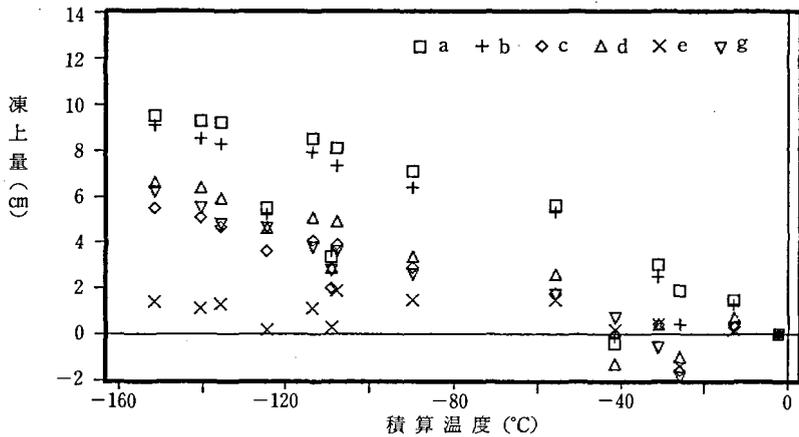
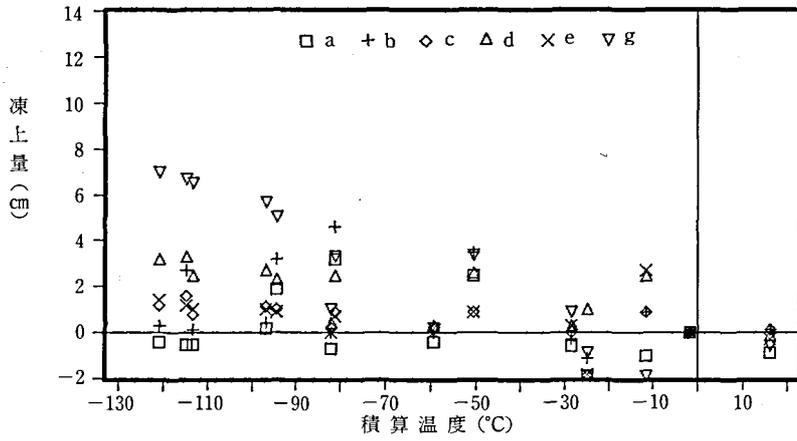
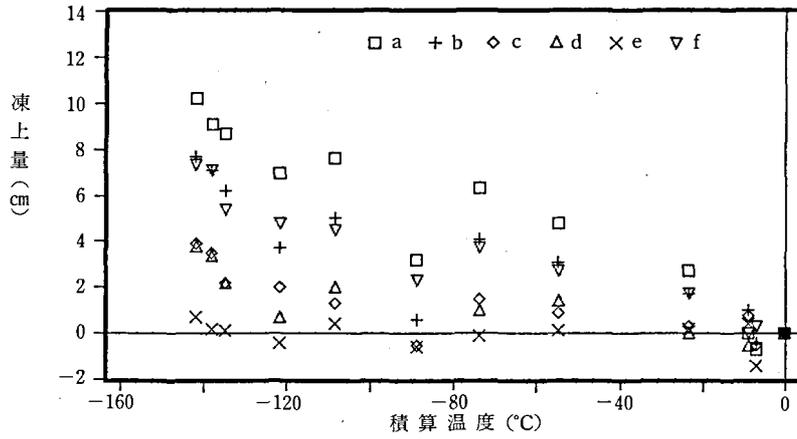


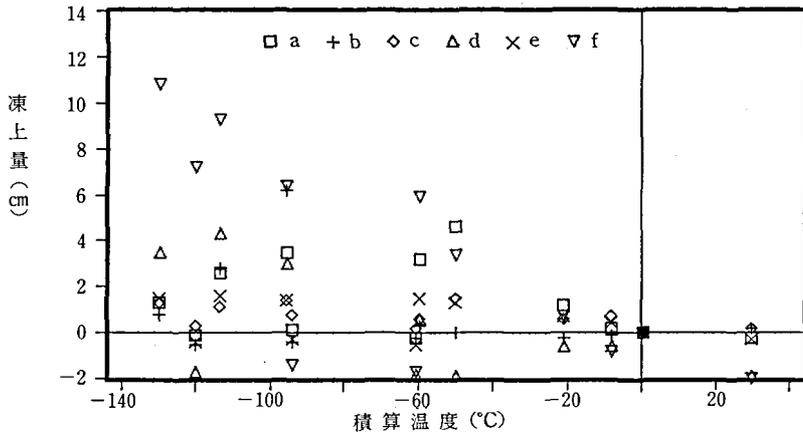
図-7 A試験地における積算温度と凍上量の関係 ('92~'93)



図一八 B試験地における積算温度と凍上量の関係 ('92~'93)



図一九 A試験地における積算温度と凍上量の関係 ('92~'93)



図一十 B試験地における積算温度と凍上量の関係 ('91~'92)

い相関は認められなかった。

3) 積算温度と凍上量の相関

積算温度と凍上量の関係をみるために、谷側轍部を例に前掲の推移図から両者の値を読み取り、2ヶ年にわたる凍上開始から融解終了までの測定結果を試験地別に表したものが図7～図10である。両試験地共に全体的には積算温度のマイナス値が大になるに従い凍上量も増大する傾向がみられる。しかし土質環境の異なる試験区毎に注視してみると、Aにおいては積算温度と凍上量の間はかなり高い相関があるように伺える。それに対しBでは個々の試験区毎に読みとるとかなりバラツキがみられ、必ずしも相関があるとは思えない。これは前掲の両者の推移図から推察した結果とはほぼ同様であった。このことからA・B両試験地の試験区別及び路面位置別に積算温度と凍上量の間的相关係数について、有意差の検定を行ったのでその結果を表2、表3に示す。表から読みとれる事項については、先ず2ヶ年を通じてA試験地での相関がほとんどの試験区で1%以下の危険率に入る有為性を示し、非常

表-2 積算温度と凍上量の相関について有意差の検定 ('92~'93)

試験地 測定 位置 試験区	A			B		
	山	中	谷	山	中	谷
a	-0.846**	-0.875**	-0.956**	-0.337	-0.264	-0.395
b	-0.840**	-0.898**	-0.943**	-0.443	-0.329	-0.495
c	-0.831**	-0.936**	-0.949**	-0.471	-0.588*	-0.529*
d	-0.826**	-0.932**	-0.974**	-0.772**	-0.699**	-0.717**
e	-0.734**	-0.592*	-0.901**	-0.447	-0.349	-0.388
g	-0.829**	-0.950**	-0.949**	-0.763**	-0.894**	-0.898**

n=14 *5% **1%

注) 山:山側轍部 中:中央部 谷:谷側轍部

表-3 積算温度と凍上量の相関について有意差の検定 ('91~'92)

試験地 測定 位置 試験区	A			B		
	山	中	谷	山	中	谷
a	-0.900**	-0.951**	-0.949**	-0.319	-0.268	-0.285
b	-0.824**	-0.880**	-0.904**	-0.139	-0.339	-0.366
c	-0.734**	-0.795**	-0.891**	-0.489	-0.517	-0.570*
d	-0.604*	-0.671**	-0.835**	-0.477	-0.483	-0.501
e	-0.588*	-0.324	-0.666**	-0.423	-0.347	-0.491
f	-0.754**	-0.957**	-0.963**	-0.779**	-0.764**	-0.806**

n=14 *5% **1%

注) 山:山側轍部 中:中央部 谷:谷側轍部

に高いことが上げられる。中でも a 除雪区、f 散水区など凍上量の大きかった試験区の相関係数が高い値を示し、逆に e 礫厚50cm区など凍上防止策を施したものにはやや低めの値が示された。また道路の位置関係では、谷側轍部が最も高い値を示し、次いで中央部、山側轍部の順となり、これもおよそ凍上量の大きい順位、すなわち凍上し易い条件を持つ場所ほど相関係数が高くなることが読みとれる。

またB試験地ではやはり凍上量の大きな値を示した f 散水区、g 角礫区及び今年の d ビニール遮断区で高い有意性を示した外は相関係数が低い値を示している。また道路の位置関係でも、谷側において必ずしも高い関係はみられず、A に比べてほとんど順位性はみられなかった。なお以上のデータは測定開始から終了するまでの全期間についてのものであったが、参考までに測定開始から積算温度がマイナスのピーク、また凍上量がピークに達するまでと、その後融解するまでを分けた場合の相関係数について有意差の検定を行った結果、ほとんど変わりがなかったことを付記しておく。

以上の結果から積算温度と凍上量の相関が高低に影響する要因について考察すると、第一にA試験地にみられるように立地環境としては日照時間の短い庇蔭地であること、また土壤水分が多く裸地で礫などの混入物の少ない土壤条件、すなわち“凍り易い”条件を備えたところほど相関関係が高くなることが推察できる。

4) 路床面の支持力試験

前年での温度変化と凍上量の関係から凍上しやすい条件に入ると思われる谷側轍部において、凍上減少が路床面の支持力にどのような影響をもたらすものかをみるため、現地において凍上直前と、融解直後の路床面の支持力試験を行ったのでその結果を表-4に示す。結果からみるとA・B合わせて12ヶ所の比較試験のうち、融解後に支持力が低下したものが9箇所(A:5, B:4)で全体の75%に達した。逆に増加したものが3箇所(A:1, B:2)あり、そのうち2箇所は礫混入区であった。

現地試験では土壤の含水率のちがいや礫の切合には互いの致隙や礫どうしの噛具合など必ずしも路床状態を適正に表せない要素があることを加味すると、凍上後に増加する場合もあってしかるべきと思われる。ちなみに支持力が低下した箇所の支持力は凍上前のそれに比べて、Aでは約1/4、又Bでは1/2と大幅低下が示された。

表-4 凍上直前と融解直後の路床面の支持力

試験地	A		B	
	1992.12.15 C・B・R (%)	1993. 4.13 C・B・R (%)	1992.12.15 C・B・R (%)	1993. 4.13 C・B・R (%)
a	7.85	0.89	2.59	0.44
b	2.44	2.94	2.94	1.54
c	61.45	11.24	2.19	4.44
d	31.95	7.44	6.94	0.69
e	38.95	15.94	3.94	2.44
f	29.53	7.69	1.04	2.99

4 おわりに

本年及び前年の2ヶ年にわたる、温度（気温・地温）と路面凍上を測定した資料から両者間の関係を種々検討したところ、およそ次の様な結果が得られた。

1) A試験地において、気温の積算温度と凍上量との間に非常に高い相関があることが明らかとなった。それは路床を形成する土質の違いによって凍上量そのものに差が生ずることは、土質の特性としてむしろ当然と言えるかもしれないが、異なった土質が揃って高レベルでの相関を示したことは、今後冬期間での路面管理を予知する上で参考になるものと思われる。またこのような関係がみられた条件を、A試験地を例に順序性をもってあげてみると①日照時間が極めて短い庇蔭地。②比較的高含水率の高い路床。③積雪を含む地被物のない裸地。④路面の位置では谷側（盛土）。等が考えられるが、これらはいずれも“凍結しやすい”環境下にあると言える。

2) C・B・Rによる路床支持力試験の結果は凍上前に比べて融解後の値は低下したものが多く、その大半は半減以下の数値を示した。このことから凍上現象は路床の支持力を低下させる作用のあることが示唆されたものの、中には少数ではあるが、増加したものもあり、現地での測定方法の工夫・改善の必要性が感ぜられた。また路床支持力を明らかにすることは、林道の維持管理をする上で重要なことであり、今後厳冬期の測定方法も含めて検討を重ねていきたいと考えている。

本研究を進めるにあたり、本学手良沢山演習林職員、故安積悦郎氏、那須野好春氏、清水昭行氏、他の諸氏にはC・B・R試験並びに試験地管理の面でご協力頂いた。心よりお礼申し上げます。次第である。

参 考 文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 林 博道・井上 裕：林道の土質環境と路面凍上について— 信大農演習林報告 29 1992

**Research in the Relation between Transition of temperature in winter
and Frost-heaving of Forest Road**

By Hiromichi HAYASHI

University Forest, Fac. Agric., Shinshu Univ.

Hiroshi INOUE

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

Summary

From measurement of frost-heaving of forest road and temperature since winter in 1991, it appeared as follows.

1. At hide place, there was high correlation between accumulative temperature and frost-heaving hight.
2. From analysis of relation between correlation coefficients and environments of forest road, it appeared that the places, showed high correlation efficient, had factors of causing to high frost-heaving, for example, hide place, place of high water content, place uncovered with snow, banking side of road, etc.
3. From examination of resisting capacity before and after frost-heaving in last winter, it appeared that the resisting capacity declined in most places. But, there is necessary to improve the method of measurement and to continue of measurement.