

# 冬期における林道の路面凍上について

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

林内を巡る路網は、様々な地形、土質、水文、日照に対する陰陽等環境条件の異なった地域が複雑にかみ合いながら連続して成立している。これらの林道を安定的に維持し管理する上では幾多の障害要因が考えられるが、その中の一つとして、特に寒冷山岳地域においては、冬期の路盤凍上がある。路盤の凍上現象は、外気の温度低下とともに始まり、気温の変化に連動しながら、徐々にその厚みを増していくと考えられている。路盤凍上は、凍結期間中はさして走行障害にはならない場合が多いものの、春先の気温上昇と降雨が重複した時期の融解度が、最も路盤の軟弱化を招き易いとされ、走行上の支障はもとより、路面維持（骨材の沈下による補給、及び整形）に最も神経と労力を費やす要因となっている。

本研究では、このような凍上現象の特性を把握し、路面維持の対策を立てるための基礎調査として、本学手良沢山演習林、及び構内演習林の各環境条件の異なった林道について路面内の位置毎に凍上量を観測し、気温の変化と対比させ、検討を行ったので、その結果を報告する。

## 2 試験地の概要

本学手良沢山演習林3、4林班内林道と、対照地として建物敷の一部を測定地点として選定した。また、環境条件の異なる場所として、構内演習林内林道の一部も同時測定を行った。手良沢山演習林の測定地点は、標高約1000m、地質は領家変成岩に属する高遠花崗岩からなるが、林道の多くは沢に沿った部分にあるため、砂礫の堆積地域でもある。年降水量は、1500mm前後あるが、冬期の降雪量は少なく、最深積雪量は30cm程度である。演習林の気象観測資料からは、年平均気温7.9°C、最低極値-17.5°Cが記録されており、内陸性気候を示す高寒冷地と言える。

林況は、ヒノキ・カラマツ・アカマツなどの人工林が大部分で、経営林として運営しているため、林道密度は高い。林道使用頻度は、4月上旬から12月下旬までは一般に使用可能で、春期及び秋期には、林内作業の関係で使用頻度が高くなる。冬期間は、雪の吹き溜まり現象や、路盤凍上でほとんど使用されないのが実状である。しかし、試験地の一部林道は、職員の通勤用道路として、年間通して使用されているものが含まれている。

構内演習林の測定地点は、標高約770m、ヒノキ、アカマツで上部が閉鎖された地域に林班界として開設された道路で、年間通して車両の通行量は稀である。地質は、黒色ローム土で厚く被われ、地形は平坦であるため落葉も豊富であり、一部苔類の繁茂もみられる。年平

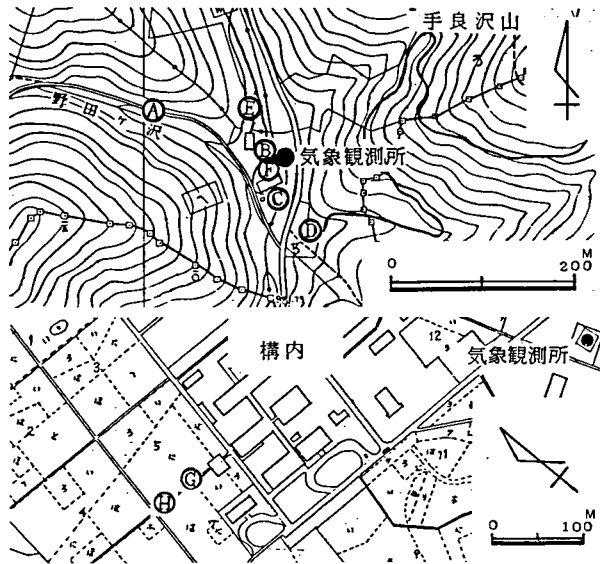


図-1 試験地位置図

表-1 試験地の概要

試験地名	位置	路面状態				使用頻度	路盤土質	立地環境
		路面方位	勾配	幅員	敷砂利厚			
			%	m	cm			
A	手良 4-は	S70°E	12	3.5	10	多	砂礫混交	幹線, 樹陰地(I)
B	〃 4-ト	S35°W	5	3.5	7	多	〃	通勤に使用, 陽地(III)
C	〃 4-ト	—	0	3.2	11	少	〃	建物南側陽地(III)
D	〃 3-ほ	N48°W	10	3.0	3	中	〃	支線, 樹開地(II)
E	〃 5-に	N20°E	10	3.0	0	少	砂, ローム混交	半陰地(I)
F	〃 4-ト	—	0	0	0	少	砂礫混交	建物北側, 陰地(I)
G	構内 5-に	—	0	2.5	0	少	ローム	樹陰地(I)
H	〃 5-に	—	0	2.5	0	少	〃	樹陰地, 凹地形(I)

注) 立地環境欄の( )内数字は日照時間の範囲を示す。

(I): 2時間未満, (II): 2~4時間, (III): 4時間以上

均気温は12°C, 最低気温は-15°C近くまで下がり, これまた内陸性気候を示す高寒冷地の範囲にはいる。

試験地の位置図及び詳細については, 図-1 及び表-1 に示す。

### 3 測定方法

① 路面の凍上量 対象となる林道は, 路面に礫を敷き詰めたものと, 林地を切り取った原地盤のままのものに分かれるが, いずれも一試験地で, 両端の路肩と両側の轍, 道路中央の計5点を道路を横切る一直線上にとり, 上に十文字の印のついたコンクリート打込用ピン

( $\phi = 6 \text{ mm}$ ,  $L = 53 \text{ mm}$ ) を路面に打ち込み測定地点を決定した。期間は、路面凍結が始まる12月上旬から、融解が終了する4月上旬までとし、ほぼ10日に一度の割りりで地盤高をレベル測量した。測定時刻は、手良試験地で9時から、構内試験地で11時からとした。

② 気温・地温 気象観測は手良試験地の場合、試験地のほぼ100m範囲内に演習林気象観測施設があるため、気温及び地中温度(深さ15cm)は試験地の温度変化を充分把握できるものとみなして資料とした。また、構内試験地は、構内にある農学部気象観測施設のデータをそのまま整理し資料とした。

平均温度の算出は、常時10分間隔で記録されている温度の一日分の平均値(144観測の平均)であり、最低温度は、極値をもって表した。

③ 路盤構造 路盤構造と深度別硬度をみるために、融解終了後に深さ約50cm、幅50cmの掘削断面を掘り、路盤材料及び深度別硬度を調べた。硬度の測定には、山中式土壌硬度計を用いた。

## 4 結果と考察

### (1) 路面使用区分帯別凍上量の検討

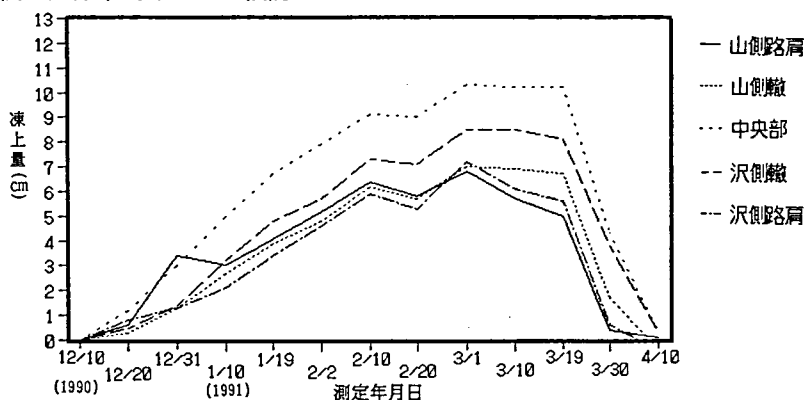


図-2 A試験地凍上量

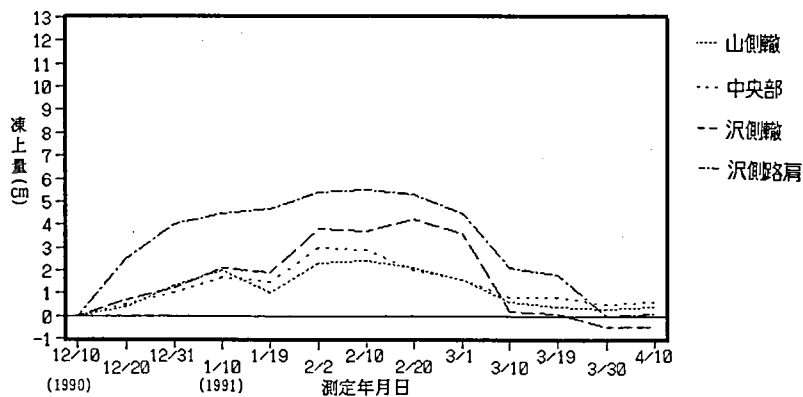
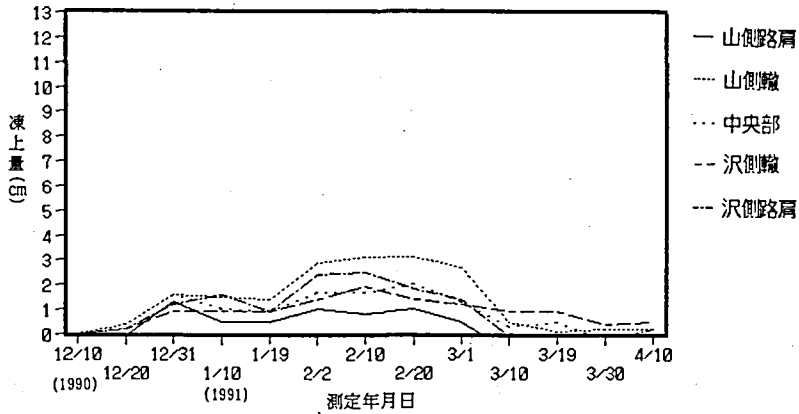
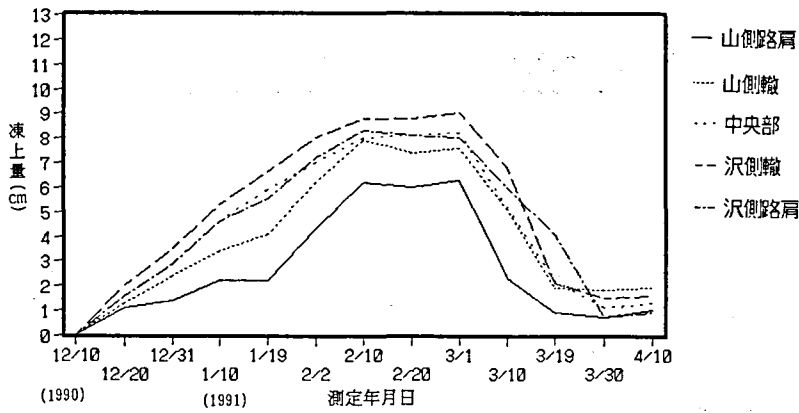


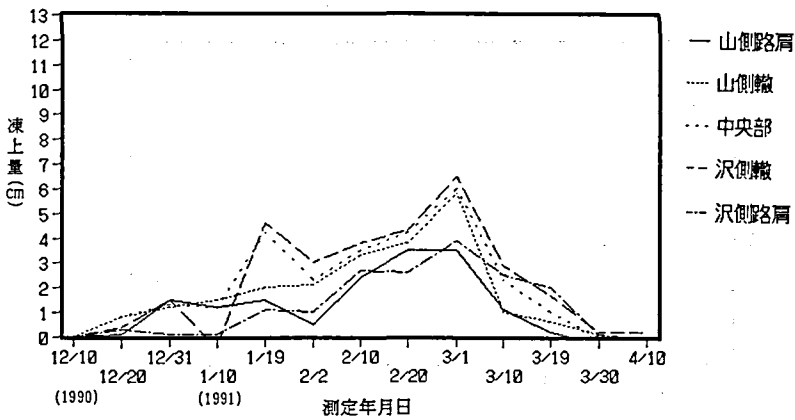
図-3 B試験地凍上量



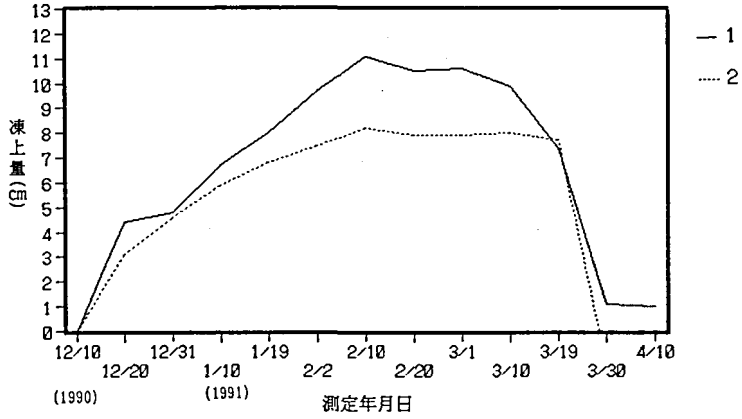
図一4 C試験地凍上量



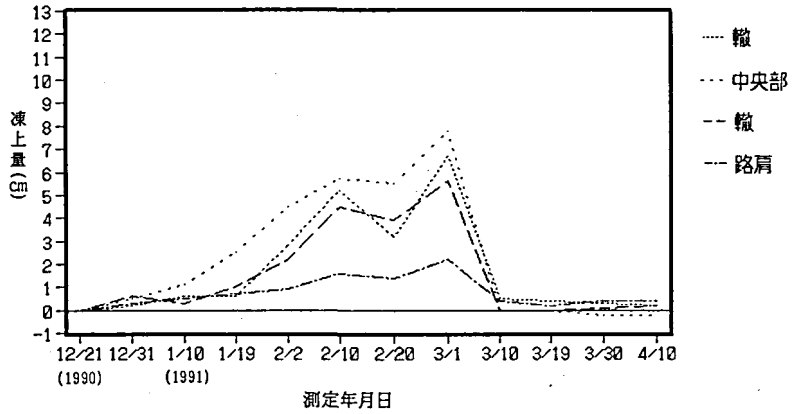
図一5 D試験地凍上量



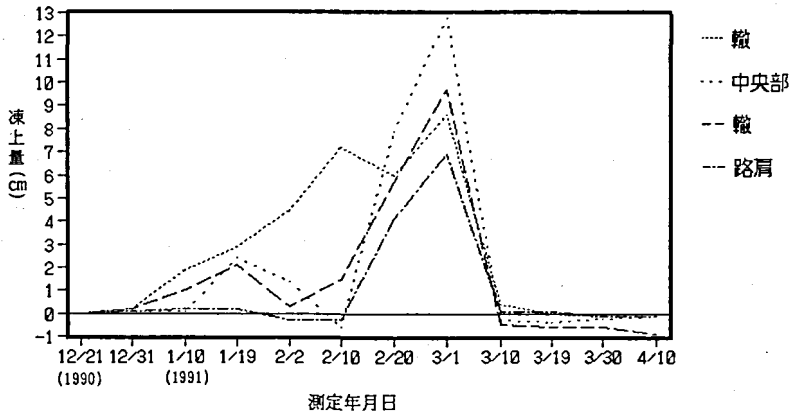
図一6 E試験地凍上量



図一七 F試験地凍上量



図一八 G試験地凍上量



図一九 H試験地凍上量

表-2 供試路盤硬度の測定結果

試験地	路 肩		中 央		轍	
	表層 (20cm>)	深層 (20cm<)	表 層	深 層	表 層	深 層
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
A	3.9	7.8	7.1	8.3	12.8	16.3
B	10.3	20.5	7.7	20.5	18.0	19.0
C	5.8	20.4	8.8	20.4	4.2	17.3
D	6.3	12.3	2.6	15.3	2.9	14.0
E	8.0	8.0	6.8	6.8	10.0	10.3
F			2.3			
G	1.2	4.9	1.3	4.1	1.5	6.5
H	1.2	2.1	4.9	5.8	5.1	6.5

注) 山中式硬度計による

試験地別に路面使用区分帯別凍上量を示したのが図-2~9である。12月上旬頃の気温の低下と共に凍上現象が現れ、ほぼ連続的に増加傾向を示すものと、一時的な気温の上昇に敏感に反応し、増減を繰り返すものがみられる。これらの現象は、立地環境が影響しているものと推察される。凍上のピークは、2月20日ないし3月1日であり、それ以降、3月中旬にかけて急激に減少していることが特徴的である。

- ① 路肩部 凍上量が最も大きいA, D試験地(以下、試験地の呼称は省略する)においても、他の区分帯に比べ最小の値を示している。構内のGにおいても同様の傾向が伺えるが、ここでは路肩部に苔の繁茂が見られ、地被物である苔が凍上量の軽減に影響を与え得ることが示唆された。また、山側の路肩部は、沢側の路肩部に比べて、全体的に凍上量は小なる値を示す。B, Cの陽光量の多い試験地において、この傾向は更に顕著になる。
- ② 中央部 道路中央部は、両端の轍に挟まれた部分に当たり、表-2による硬度測定の結果からも、深層はともかく表層での硬度は、轍部とは格段に低い値を示しており、使用時、直接転圧から外れる部分である。樹陰部にあたるA, G, Hでは、他の区分帯に比べて最も凍上量が大きな値を示している。しかし、それ以外の試験地においては、轍と路肩部のほぼ中間的な部分に位置しているものが多い。
- ③ 轍部 道路使用期間中の轍部は、表-2に示すように、特に使用頻度の高いA, Bにおいて表層土が硬く転圧されていることがわかる。しかし、冬期間の使用に供されない時期(Bは別)の凍上量をみると、どの試験地においても最大又は、それに次ぐ値を示すことがわかる。このことは、冬期間も常時使用されているBでは、山側の轍でとりわけ顕著にあらわれており、締め固められた表層土が、他に比べて凍結による膨張率の高いことが推察できる。

## 2) 試験地の立地環境の違いによる凍上量の検討

図-10~14は路面の同一使用区分帯毎に立地条件の異なった試験地の凍上量の差異を表したものである。A~Fは、ほぼ同一標高地点の互いに近傍地にあるが、道路の置かれている立地環境は個々に異なっており、そのことが凍上量の差になって表れている。表-1に示す

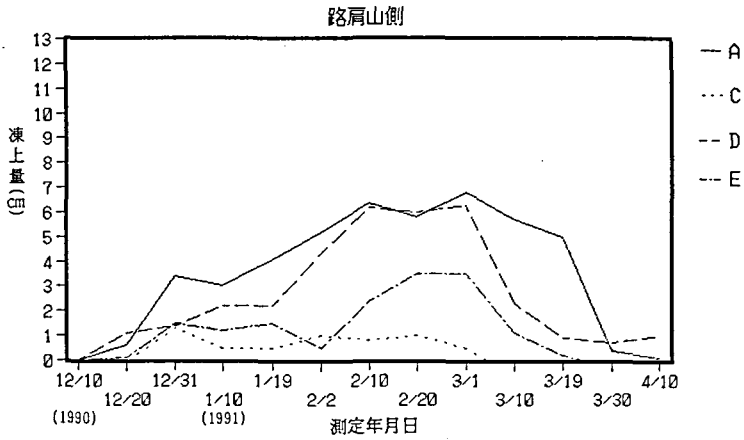


図-10 路肩山側凍上量

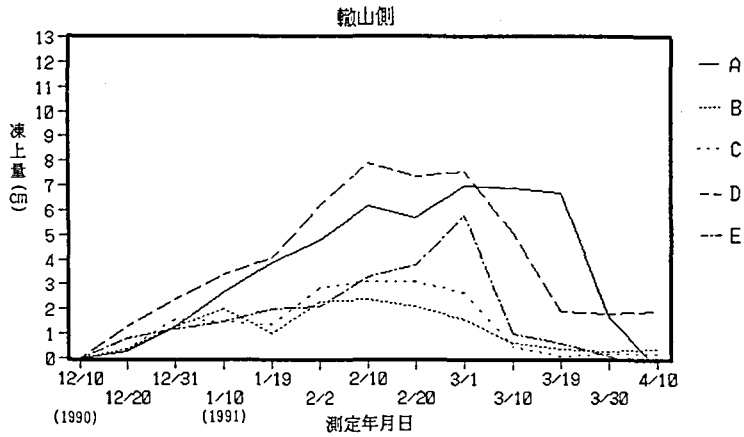


図-11 鞍山側凍上量

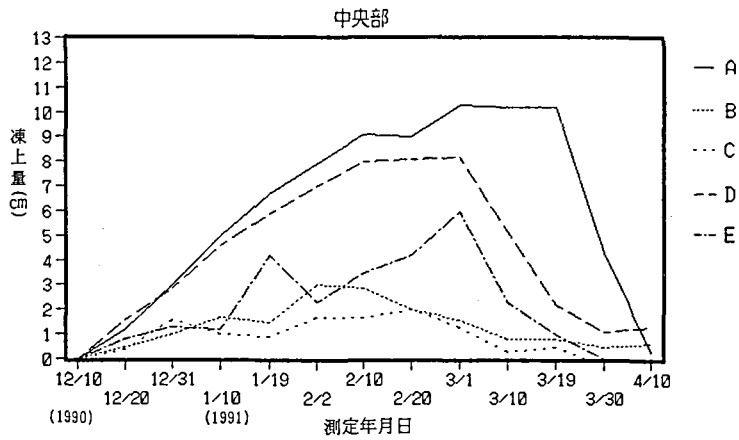


図-12 中央部凍上量

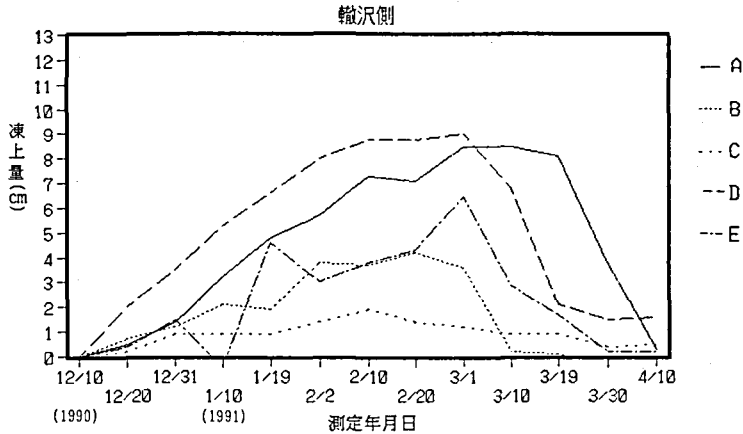


図-13 轍沢側凍上量

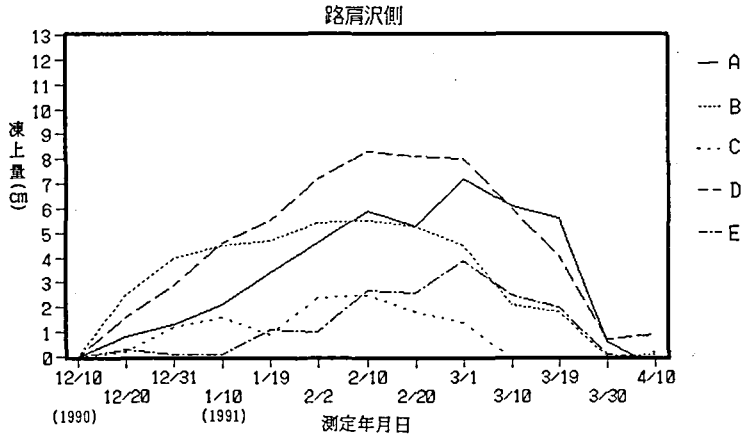


図-14 路肩沢側凍上量

各試験地の立地的要素の中の単一の要素のみと深い関係があるとは認め難いように思われるが、以下若干の検討を試みることにする。

① 路面状態 先ず、路面の縦断傾斜面の方位との関係を見ると、A、BはS方向、D、EはN方向、他は平坦地のため方位は無関係である。AおよびDは各使用区分帯別凍上量からみて最も大きな値を示すものの、方位は別方向を示している。また、凍結過程においてもその遅速に特徴的なものはみられなかった。融解開始時期は3月1日を中心とする前後となるが、方位とは関係なさそうである。これらの結果からは、単に方位のN又はSW方向と云うよりも、日照時間の多少に関係する、周辺地況の閉鎖度、庇蔭度の差異が、重要と思われる。

路面の縦断勾配の大小と凍上量との関係は本試験地の結果のみからすれば、凍上量の多い順にA、D、E、Bと勾配の急なもの程多い傾向を示しているものの、対照地であるF(100%庇陰、平坦地)がAよりも大きな値を示していることから、この条件も普遍的なものとは云えない。



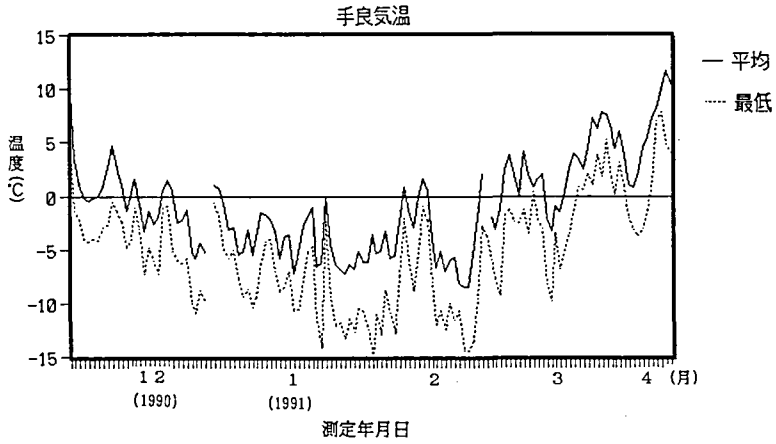
敷砂利は土壤の凍結深（手良の場合30cm以上が予想される）より深く敷いた場合当然凍上量の減少に繋がるものと思われるが、林道に於いて、このような条件を満たすことは一般に難しい。試供路面でも、A、B、C、Dに敷砂利（碎石）が施されているものの最大10cm前後であり、凍上開始から融解終了時期に至る過程の中で敷砂利の有無、多少が影響している傾向は認められなかった。

② 使用頻度 林道使用は年間通して行われるものと、冬期間使用されないものがある。供試林道の中では、前者に該当するものはBのみである。Aは主要林道として年間使用量は多いが、この試験期間も含めて冬期間はほとんど使用されていない。Bについてみると、轍部を中心に使用される部分は凍上量は少なく、路肩部のような直接使用しない部分においては、かなりの凍上量を示しており、使用頻度の多くなる部分において凍上量が少なくなる傾向が読み取れる。全体的に凍上量の多い、A、Dにおいては、夏期の使用頻度は高いものの、冬期においてほとんどなくなっており、このことから夏期のみ使用頻度の多少が凍上量の大小に影響を与えることはほとんどなさそうに思われる。

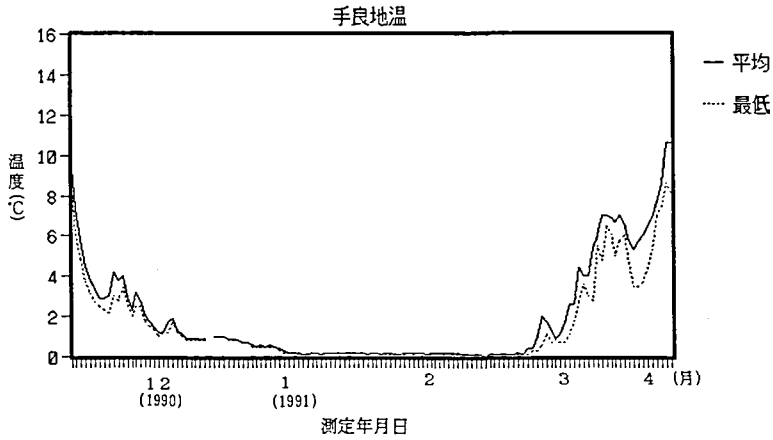
③ 路盤土質 手良試験地のA～Dは砂礫地、Eと構内試験地のG、Hはローム層の厚い路盤である。両者を比較してみると、凍上の絶対量の大小は、試験地間の温度条件が異なるため、単純に比較できないものの、凍上初期段階では概してローム土は砂礫地に比して緩やかな勾配で凍上量を増していく傾向がみられた。またEでは、厳寒期に入る前の1月上旬、Gでは1月上旬から下旬にかけて、Hでは1月上旬から2月中旬にかけて、比較的凍上初期段階で霜柱が生ずる現象がみられた。霜柱の高さはおよそ2cmから最大9cm余りとなり、路盤凍上はこの霜柱発生該当期では増加率がかなり低下する現象を示しており、その後の凍上量も、Eがほとんど陽の当たらない所であるという条件を考えると、ローム層でない他の試験地と比して少ない傾向がみられた。Hはローム土の凹地あたり、土壤水分量が比較的多いことからこの傾向が顕著であった。このようにローム又はローム土を多く含む路盤では本格的な凍結状態に入る前の一時期、霜柱が発生し路盤の凍上は停滞する現象がみられ、同一条件では、砂礫地に比し凍上量は比較的小さくなる傾向がみられた。

④ 立地環境 試験地をとりまく立地環境、とりわけ陽光のあたり具合（時間、強さ）が凍上量に及ぼす影響をみるため、手良試験地の陽光量の多いものB、Cと、樹林による陰地A、E、方向による陰地D、対照地であるFの建物による完全なる陰地を比較してみることにする。図-10～14には使用区分帯別に各試験地の凍上量を表している。陽地についてみると、図-10のBは路肩部のみがたまたま樹陰地になっていたため、凍上量は比較的大きな値を示しているものの、他の部分では総じて小さく、凍上ピーク時を比較すると、平均して陰地の30%前後と極端に低い値を示している。また、凍上過程をみると、初期の凍上勾配は緩やかで小さく、期間途中に気候の寒暖の影響を受けて増減し易い。凍上ピーク期は共に2月中旬の厳寒期にあたる。以後下降線を辿って3月上旬には融解がほぼ終了する結果がみられ、測定時点での短期的な気象の変動に敏感に反応することから、凍結が深部まで及んでいないことが示唆された。

陰地に於いては、この現象は全く逆であり、凍上は初期から急勾配で上昇しピークは3月上旬で、それ以降徐々に融解が始まり3月下旬から4月上旬にかけて急激に低下し、終了するパターンを示しており、凍結期間は陽地に比べ20日～30日近くも長くなっている。また、



図一15 手良沢山演習林での気温の推移



図一16 手良沢山演習林での地温の推移 (15cm)

表一3 旬別平均気温・地温 (°C)

温度	月旬	12月			1月			2月			3月			4月	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	
手良	気温	平均	2.2	-0.6	-2.4	-2.8	-3.7	-4.9	-4.9	-2.4	-5.3	0.8	0.4	5.4	6.2
	最低	-2.3	-4.2	-6.5	-6.4	-7.5	-9.9	-11.3	-6.9	-10.9	-3.9	-4.3	1.9	1.2	
手良	地温	平均	4.7	2.5	1.2	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	1.5	5.9	7.4
	最低	3.9	2.1	1.0	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.8	4.7	5.6	
構内	気温	平均	4.3	1.3	-0.4	-0.3	-1.2	-2.3	-2.2	-0.4	-1.5	3.5	3.1	7.0	8.3
	最低	-1.5	-3.7	-5.6	-3.4	-5.7	-8.5	-8.2	-5.5	-6.9	-2.4	-2.7	2.9	2.3	
構内	地温	平均	7.5	5.4	3.8	2.4	2.4	1.7	1.0	1.4	1.3	4.4	5.3	8.1	9.4
	最低	6.7	4.9	3.4	2.3	2.2	1.6	1.0	1.2	1.2	3.5	4.4	7.3	8.3	

中途の暖冬現象などには鈍感で反応しにくい傾向を示している。このことは、陰地での積雪量と、積雪期間が共に陽地に比べて多く長いことにも原因しているものと思われ、立地環境の差が明確に表れているとも云える。陰地の凍上量は全期間にわたって陽地を上廻っており、凍上最大値の最も大きなFと最小のCでは約5.5倍の差があり、陰地での凍上が深部にまで及んでいることが推察できる。構内試験地のG、Hでは共に陰地であるが、手良試験地とは気象条件が異なるため凍上の量としては単純比較できないものの、凍上ピークが3月上旬とやゝ遅いこと、融解開始から終了までは短期間であることなど手良陰地との共通点が観察された。

### 3) 気温及び地温の変化と凍上量の関係

図-15は、手良試験区の測定期間中の気温の変化を表したものである。12月は、中旬より平均気温がマイナスを記録するようになり、下旬になって旬平均値は $-2^{\circ}\text{C}$ 、極値は $-10^{\circ}\text{C}$ となる。下旬での凍上量は、 $2\sim 4\text{ cm}$ の範囲の中にあるが、すでに陰地は陽地の約2倍

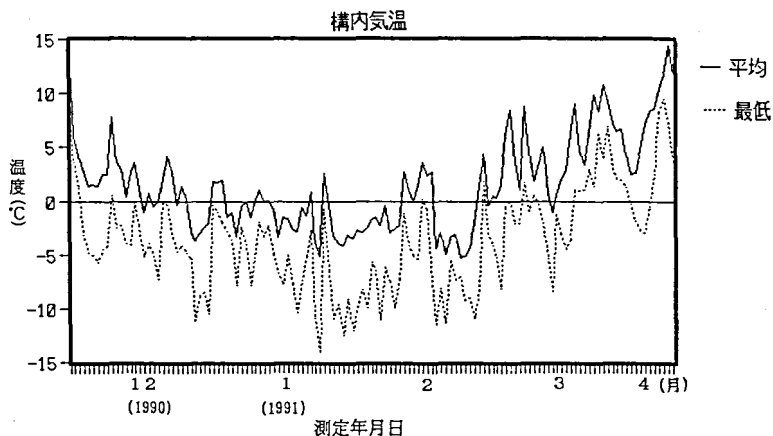


図-17 構内観測所での気温の推移

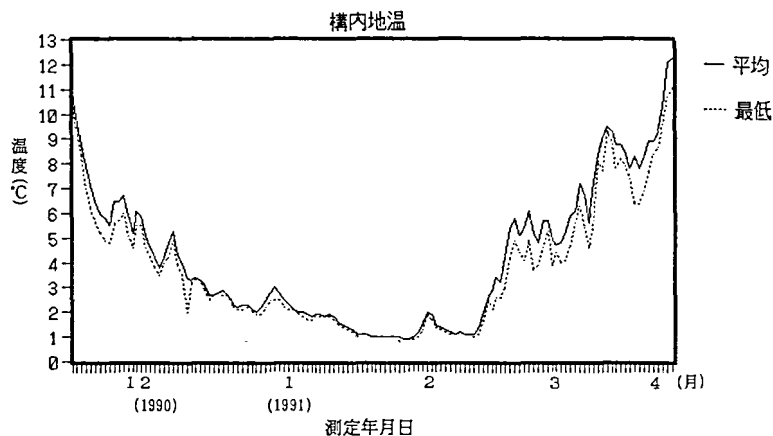


図-18 構内観測所での地温の推移 (10cm)

近い値を示している。1月は、全面的に氷点下となり、旬別平均値は下降を続け下旬には $-5^{\circ}\text{C}$ となる。しかし、中、下旬は降雪日が3日程あり、その都度、日平均値の変動は大きくなる。この変動は、陽地では微妙に反応し、一時的に凍上量の低下を招く現象がみられた。

2月は、上旬と下旬が測定期間中最も低い気温を示し、極値は $-15^{\circ}\text{C}$ 近くまで低下し凍上量も下旬には最大値を示ものが多し。中旬は降雪日が2日程あり、その前後で気温が旬平均で約 $2^{\circ}\text{C}$ の上昇をきたし、陰地、陽地共に一時的に凍上量の低下がみられた。

3月上旬は、気温の上昇期にあたり、旬平均気温がプラスに転ずる。中旬は寒の戻りで一時的にせよ極値は $-10^{\circ}\text{C}$ 近くまで下降するものの、下旬では更に気温の上昇を招き、降雨日数の増加と相まって急激な融解が促進された。3月中の降水回数は12回あり、その中でも、11日の降雨は陽地の融解をほとんど終了させ、22日、25日の降雨は陰地の融解をも完結させる大きな役割を果たすものとなった。この時期は路盤内の融解水と降雨による雨水とでは路面は極端な軟弱状態となり、車輪はもとより、人間の足でも容易に落ち込む状態となり、この時期の路面使用は路盤までも攪乱しかねない重要な期間に当たるため、路面の管理には慎重を期さなければならない。4月上旬は、全ての試験地で融解が終わり、原地盤に戻った状態となった。図に示す0を中心とした上下差は、凍上によって生じた地盤のズレと解釈したい。

図一17は、構内試験地の気温状況を示したものである。期間中の変動傾向は手良の場合とほとんど類似しているが、温度差が約 $3^{\circ}\text{C}$ 近く高く、両地点の標高差を表している。気温の変化による凍結状況は水分の多いH区で霜柱による凍上低下現象がみられるものの、凍上ピークは共に3月1日を示し、3月10日には融解が終了すると云う酷似したパターンが観察された。

図一16と18は手良（深さ15cm）、及び構内（深さ10Ccm）の地温の変化を示したものである。手良では1月中旬より $0^{\circ}\text{C}$ の凍結期に入り、3月上旬まで約50日間続く。土壤凍結の初期と3月の融解時期には、気温と非常に類似した変動を示しているが、1月下旬～3月上旬の凍結時は、全く気温変動とは無関係で、一定温度を保っているのが特徴的である。構内は、手良より更に気温とよく連動する傾向を表しているものの、温度は手良に比べて全体的に約 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 高く、10cm深での凍結状況は示されていない。

## 5 おわりに

一冬期間の観測ではあったが概ね次のような結果が得られた。

- 1) 林道の路盤凍上条件として最も大きなものは、林道のおかれた立地環境であり、同質の構造条件をもつ路盤であっても陰地は陽地に比べ、凍上速度が速く、凍上量は大きく、凍上期間が長くなる結果が得られた。凍上条件を軽減させる立場からは、日当たり条件の良い路線の設定や庇蔭樹木の除去などが考えられる。
- 2) 路面の使用区分帯別凍上量は、路肩部よりも、土壌硬度が大である轍部や中央部が一般に大きな値を示し、また、路肩部、轍部では山側よりも谷側で大きな値を示す傾向がみられた。
- 3) 路盤土質では、敷砂利の有無は本試験地適用の厚さ10cm前後では、それ程凍上量には

影響されない結果が得られた。またローム土は砂礫土に比し、霜柱発生が顕著であり、その時点で凍上量は、停滞し進行しない。また、全期間を通して他の土質に比して、凍上量がやや少ない傾向を示した。

4) 凍土量は気温の低下と共に増大し、両者はいわば反比例関係にあり連動しながら進む。3月1日観測の2月下旬でピークを迎えるが、旬別平均気温がプラスに転ずると融解が始まり、5°C以上になるとほぼ終了する（陽地は陰地に比べ15日～20日早く終了）。凍上期間をピーク時を境に前半と後半に分けると、陽地では、1:0.8位であるのに対し陰地では1:0.4～0.5と融解速度は速い。

5) 3月になってからの降雨は、気温・地温の上昇と共に、融解を促す効果が大きい。この時期の路面管理には、慎重を期す必要がある。

以上の結果を踏まえ、今後は路盤への石礫混入量の検討及び路盤、強度試験等冬期の林道使用条件を向上させるための検討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、本学手良沢山演習林職員、安積悦郎氏、那須野好春氏、清水昭行氏には路面管理の面でご協力を頂いた。心よりお礼申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 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—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 Frost-heaving of Forest Road in Winter

By Hiromichi HAYASHI

University Forest, Fac. Agric., Shinshu Univ.

Hiroshi INOUE

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

### Summary

As a fundamental investigation for the maintenance of forest road surface in winter, we measured frost-heaving of forest road. We set 8 measure points and measured the frost-heaving height of each point at intervals of about 10 days from early in December to early in April. As a result, it appears follows.

1. there is nearly connection between frost-heaving and solar radiation. Frost-heaving is higher at hide place than at sunny place and also the period of frost-heaving is longer at hide place than at sunny place.
2. In each position of road, the frost-heaving is lowest at shoulder and lower at the cutting side then at banking side.
3. It is no effect of ballast less than 10cm depth to decrease of frost-heaving.
4. There is an inverse relation between frost-heaving and temperature. At hide place the frost-heaving reaches highest level at late in February and finishes at late in March, but at sunny place 15~20 days earlier than hide place.
5. As rain in March accelerates the thaw.