



Title	多雪寒冷地帯における林道作設に関する基礎的研究
Author(s)	湊, 克之
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 43(3), 707-765
Issue Date	1986-09
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21188
Type	bulletin (article)
File Information	43(3)_P707-765.pdf



[Instructions for use](#)

多雪寒冷地帯における林道作設に 関する基礎的研究*

湊 克之**

Fundamental Studies on Construction Methods
of Forest Road in Snowy and Cold District*

By

Katsuyuki MINATO**

要 旨

北海道の多雪寒冷地帯において、土の種類が砂質土の地山だけから構築され、礫砂の路盤を持たない路体構造の林道が、運材トラックの通行に耐える支持力を得るための条件についての基礎的な探究をおこなった。

砂質土路盤が剪断破壊を起こさないで運材トラックが通行できるか否かは、路盤が凍結融解を受けない期間においては、通行直前の3日間の降雨量の合計と路面の縦断勾配から推定できることを明かにした。

凍結期間では、路面下10 cmの深さの路盤内の地中温度が0°C未満であれば運材トラックの通行が可能であり、また融解期間では、路面下30 cmの深さでの地中温度が0°Cを超え、融解が終了すれば運材トラックの通行が可能になることを明かにした。

また、砂質土路盤が凍結融解に要する積算温度を知り、その積算温度と月平均気温から凍結融解期間を推定する方法を見出した。

この研究から、礫砂の路盤を構築しない砂質土林道が、北海道の大部分の地域において年間の70%近い日数が運材トラックの通行が可能になるとの結果を得た。

さらに、トラック運材の使用期間や条件に適した、砂質土林道の作設法を提示した。

キーワード： トラック運材，砂質土林道，降雨量，凍結融解，林道作設法。

* 昭和61年2月28日 Received February 28, 1986.

** 北海道大学農学部演習林

College Experiment Forests, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

目 次

序 章	710
第1節 研究の目的	710
第2節 研究小史	711
第3節 研究の方法	712
第1章 砂質土林道の支持力	713
第1節 研究の手法	713
第2節 試験方法	713
1 試験林道の概要	713
2 測定方法	715
第3節 測定結果	715
1 路面の支持力	715
2 運材トラックの輪荷重	716
第4節 路面支持力の検討	717
1 含水率との関係	717
2 降雨量・蒸発量との関係	719
3 縦断線形との関係	720
4 路面支持力の推定方法	721
5 輪荷重の路盤内に及ぼす影響	722
第5節 運材林道としての可能性	724
第2章 砂質土林道の路面沈下	724
第1節 研究の手法	724
第2節 試験方法	725
1 試験林道の概要	725
2 沈下の測定方法	725
第3節 測定結果	726
第4節 路面沈下の検討	727
1 通過回数と路面の沈下	727
2 最終沈下量の推定	728
3 最終沈下量に達する通過回数	729
4 沈下に及ぼす縦断勾配, 側溝の影響	729
第5節 運材林道への適用	730
第3章 林道の適正路盤厚	731
第1節 研究の手法	731
第2節 垂直横断面の調査	732
1 路床の支持力に関係する要因	732
2 調査対象林道	732
第3節 測定方法	733
1 垂直横断面の作成	733
2 断面の測定	733
3 路体支持力の測定	734
第4節 測定結果	735
1 垂直横断面	735

2	路体の支持力	737
第5節	路盤厚の検討	737
1	垂直横断面	737
2	設計路盤厚と実際の路盤厚	737
3	路面の凹量	738
第6節	路体支持力の検討	738
1	路体支持力	738
2	輪荷重との関係	739
第7節	適正路盤厚の推定	740
1	推定方法	740
2	分析結果	741
3	適正路盤厚	742
第8節	簡易横断面調査法	742
第4章	低温を利用した林道路盤の作設	743
第1節	研究の手法	743
第2節	凍結による土の強度変化	743
1	実験方法	743
2	実験結果	743
第3節	地中温度の測定	745
1	測定のための路盤の作設	745
2	外気および地中温度の測定	745
3	測定結果	746
第4節	凍結路盤の検討	751
1	土壌の凍結強度	751
2	地中温度と積算温度	751
3	運材林道の可能性	752
4	路面の除雪幅	753
第5節	凍結路盤による運材の期間	753
1	運材の開始期	753
2	運材の終了期	753
3	路盤の融解終了期	754
4	平均気温による推定法	754
第5章	砂質土林道の運材林道としての利用度	754
第1節	砂質土林道の支持力	754
1	気象的要因の影響	754
2	凍結・融解期以外	755
3	凍結・融解期	755
第2節	路盤支持力の季節的変動	755
第3節	林道の使用期間	757
第6章	砂質土林道の再評価	758
第1節	気象要因と支持力との関係	758
1	支持力の変動	758
2	降雨量	758
3	外気温度	759
4	北海道における砂質土林道利用の可能性	759

第2節 運材用砂質土林道の作設	762
1 利用条件	762
2 作設法の提示	762
結 語	762
引用および参考文献	763
Summary	765

序 章

第1節 研究の目的

この研究は、地山のままの砂質土の路床を持ち、その上に礫砂の路盤を持たない林道、すなわち国有林の林道基準では規格外林道、北海道有林では経営道以下の低規格に属する林道を、北海道の特色である気候条件を利用して、トラック運材に耐える林道とするための基礎的な検討、ならびに普通の林道の適正路盤厚を求める方法の検討を行ったものである。

北海道の地形⁶⁹⁾は、本州・四国に比べて起伏が緩やかで、林業の対象とされる場所は緩斜地が多い。また北海道の気候⁶⁵⁾は、冬期間は氷点下になることが多く、積雪の少ない地方の中には、1月から3月にかけて土壌が凍結する所が多い。このような土地的、気候的条件にある森林地帯⁶⁴⁾に林道を作設しようとする場合、緩傾斜地で、土壌が深く岩石が少ない林地が多いため、路床までの路体はブルドーザ等^{28,49)}で比較的簡単に作設することができる。しかし、従来一般に、いわゆる地山で路床を作設しただけでは、地山の土の種類が礫砂以外の場合は、運材のためのトラックの運行を長期にわたって可能にするためには、一定の厚さの礫砂を材料とした路盤⁷⁷⁾が必要であると考えられていた。

路床上に礫砂で路盤を構築するためには、路盤工の施工、路盤材料の運搬等の経費を要するため、路床までの作設に要する経費が少なくても、総体的な林道の作設費は軽減されない。

林業⁷⁰⁾は、同じ第一次産業の農業・水産業に比べて、生産物の搬出に要する重量当のコストが極端に大きい。したがって林地から生産物をいかに効率よく搬出するかが林業経営にとっての重要な課題の一つである。

現在のところ、林地から生産物を搬出する手段のうちで効率的な方法は、移動速度が早く、しかも一度に多くの重量物を搬出できるトラックによる運材であることは議論の余地がない。

トラック運材を可能にするためには、トラックの走行に耐える路盤を持った林道が必要になる。トラック運材の機能をもつ路盤をできるだけ経済的に作設する方法の一つとして、地山を、そのまま路盤として使用することが考えられる。

この研究は、砂質土の地山で構築された路床に、トラック運材に耐え得る支持力を与えて、路盤を省略できる路床を作設する方法、すなわち、降雨による影響を考慮し、また低温を利用して、一時的に砂質土の路床に、路盤と同じ効果を持たせるための方法、ならびに、普通の林

道について、その使用条件に対して過不足のない路盤の厚さを求める方法についての、基礎的な研究である。

ここで用いた路体、砂質土等の用語の定義は、次の通りである。

路体³¹⁾は、路床、路盤、路面（舗装路面では舗装）を総称した用語である。

路面は路体の上面で、直接に通行荷重を受ける部分である。

路盤は、路床の上に置く人工層で、路面を経て分布する輪荷重を、さらに路床が耐える輪荷重まで分散させる作用を有している。

路床は、いわゆる地山である。その土砂が輪荷重に耐え得る支持力を持つときは、路盤を省略することができる。

砂質土について、著者は次のように定義する。

道路材料用の土の分類から発展しアメリカ道路局でまとめられた、AASHO法⁴⁶⁾を適用して、A-2に分類される土とした。日本でA-2に分類される土は、統一土質分類法を簡易化した、道路土工指針⁷⁾で示している砂質土にちかい。それは、土の統一土質分類法のSM(シルト質の砂、砂・シルト混合土)、SC(粘土質の砂、砂・粘土混合土)にあたる。

第2節 研究小史

砂利道に関する戦後における研究は、1948年より始められた「道路維持修繕5ヵ年計画」を契機とし、その後砂利道の補修に関連した調査研究が活発化してきている。その当時の砂利道に関する問題点について、土質工学を導入した、谷藤^{80,83)}の研究があり「砂利道の建設と補修」としてまとめられている。林道の研究については、国有林で「林道規程」制定のための研究が進められ、1955年にその制定をみている。林道についての研究は、大きく二つに分けることができる。一つは、林業の経営基盤の一つである林道を、林地にいか効率よく配置するかを検討する、林道網計画についてのものである。もう一つは、林道の縦断勾配、曲線、排水、構造物、法面、路体構造等の、林道作設に関しての研究である。

このうち道路の路体構造に関連した研究として、次のものがある。

1) 砂質土の支持力については立元他⁸⁴⁾、竹下⁷⁶⁾、内田⁸⁹⁾、山田⁹¹⁾の報告が、降水量と縦断勾配については工藤⁴⁰⁾、岩垣²³⁾の報告がある。

つぎに運材車両が砂質土路盤で必要とする支持力を推定するための、輪荷重が路面下に及ぼす圧力分布の解析については、Terzaghi, Peck⁸⁶⁾が土質力学として体系づけている。その他運材トラックが林道路面に加える荷重等については、岩川他²⁴⁾、佐々木⁶³⁾、沢田⁶⁷⁾の報告がある。

2) 車両通過による路盤の締固めについては、沢田⁶⁸⁾、久野⁴²⁾、H.Ernst⁹⁾等の、また側溝に関する水利学的研究については、石原²²⁾の報告がある。

3) 低温実験室で行なわれた、温度と砂質土の凍結による強度の関係を明らかにした研究では、真井⁴³⁾、木下³³⁾等の温度と凍結土壌の強度に関する研究がある。

路盤の凍結・融解に関しては、Freden¹¹⁾、木下他³⁴⁾、福田¹²⁾等の報告が、土壌の凍結・融解

の機構の道路への適用に関しては、伊福部¹⁸⁾の報告がある。

4) 路盤支持力の季節的変動については、高橋⁷¹⁾の研究が、また垂直横断面調査については、竹内他⁷⁸⁾の報告がある。

調査結果を数量化分析する方法については、林^{14,16)}の数量化理論があり、その理論を福山¹⁰⁾は道路維持に、田村⁸⁵⁾は林道の作設に応用して研究した。

第3節 研究の方法

1 第1章の「砂質土林道の支持力」では、砂質土路面の支持力を、降雨量、蒸発量、路面の縦断線形との関係で調査し、また、運材トラックが路面を走行する際、その輪荷重が、砂質土だけで構築した路体を持つ林道（以後これを砂質土林道と称する）の路体に及ぼす影響を調査する。これらの結果から、砂質土林道を、トラック運材に利用できる条件を検討する。

2 第2章の「砂質土林道の路面沈下」では、砂質土林道に、運材トラックに相当する重量の車両を実際に走行させて、林道路面に生じる沈下を縦断勾配、側溝の深さとの関係で調査し、運材トラックの走行によって生じる林道路面の最終沈下量について検討する。

3 第3章の「林道の適正路盤厚」では、既設林道を路床部まで横断状に掘削して、路体の支持力、路盤の厚さ、路体の各部の変形を、林道の構造との関係で調査し、林道の機能に合致する適正路盤厚を数量化分析の手法によって検討する。

4 第4章の「低温を利用した林道路盤の作設」では、砂質土の凍結強度を低温との関係で、また、路盤内の温度を外気温度との関係で調査する。これらの結果から、凍結路盤に必要な、積算温度について検討する。

5 第5章の「砂質土林道の運材林道としての利用度」では、第1章から4章までの検討結果から、調査地域における、砂質土林道の運材可能期間を、月平均気温から推定する方法について検討する。

6 第6章の「砂質土林道の再評価」では、第5章の検討結果を、北海道の各地に適用して、運材可能期間を推定することによって、砂質土林道を、トラック運材に利用できる可能性を検討する。

この研究のとりまとめについて、終始懇切なご指導を賜った北海道大学小島幸治教授、同東 三郎教授、同小関隆祺教授に衷心より感謝申し上げる。また貴重なご助言を賜った北海道大学川瀬 清教授、同里中聖一教授、同氏家雅男助教授、同菱沼勇之助助教授、同藤原滉一郎助教授、さらに、ご援助を戴いた北海道大学演習林、ならびに北海道有林の関係職員等の方々に対し、深謝の意を表する。

数量化分析等の計算には、京都大学大型計算機センターならびに北海道大学大型計算機センターを利用した。

なお本論文は、「北海道大学審査学位論文」である。

第1章 砂質土林道の支持力

第1節 研究の手法

砂質土林道が運材可能な支持力を有するかどうかについて、基礎的な検討を行った。

路面が舗装されていない、砂質土で出来ている路面は、舗装路面に比べて流出係数⁴⁾の値が小さく、路面は、降雨等の気象条件の影響を受けやすい。

この研究では、降雨量・蒸発量・気温等の気象要因、ならびに路面の縦断線形を取り上げ、はたしてこれらの要因が、路面の支持力に影響を与えるものかどうかを探求し、影響を与える場合にはその程度を明らかにし、また路面の支持力を推定する場合に、これらの要因をどのように適用するかについて検討した。

また、運材トラックの走行に必要な砂質土路盤の支持力を知るために、運材中のトラックの重量に見合うトラックを走行させて、その輪荷重が路盤に及ぼす圧力を調査した。

本研究において対象とした林道は、砂質土の林地に対して切取工を行っただけで路体を作成した林道であり、礫砂等を用いた普通の路盤工は施されていない。したがって、この林道の路盤は、砂質土の地山のままから成る路床の最も上の部分でもあることになる。

以降とくに断らない場合は、上述した路盤を砂質土路盤とする。

第2節 試験方法

1 試験林道の概要

砂質土路盤を持つ林道を作設するため、砂質土の地山から切取工によって路体を作成した。気象条件および縦断線形が、林道の路面にどのような影響を及ぼすかを調査するための試験林道を次の仕様で作設した。

すなわち、前記の項目の気象条件および縦断線形以外の要因による影響をできるだけ少なくするため、路体の構築の種類、路床土の種類、側溝の深さ、横断勾配をどの部分においても同じにし、縦断線形については、縦断勾配をそれぞれ0%、5%、10%を有する3種類の一定勾配の部分と、0%でもその前後が低い凸型の縦断線形を有する部分の4種類とした。

この仕様で、北海道雨竜郡幌加内町母子里にある、北海道大学雨龍地方演習林において1967年7月に延長264mの林道の作設を完了した。その諸元の概要を表一I-1に、縦断線形を図一I-1に示した。

表一I-1 試験林道の主要諸元
Table. I. 1. Specifications of test road

Length (m)	Kind of roadbed	Road width (m)	Minimum radius (m)	Depth of ditch (cm)	Longitudinal slope (%)	Kind of subsoil by AASHO	Bed rock
264	Cutting	4.0	10	30	0.5, 10	A-2	Andesite

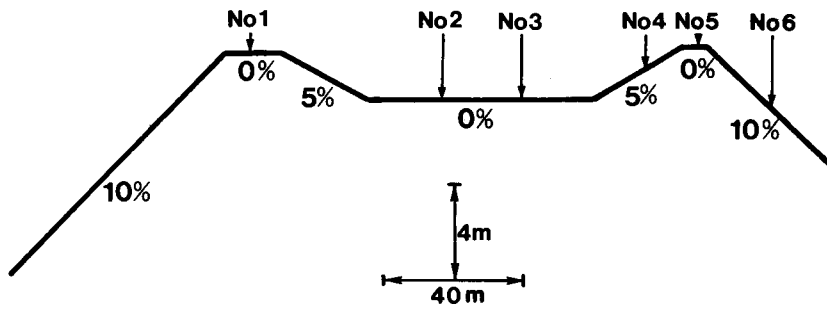
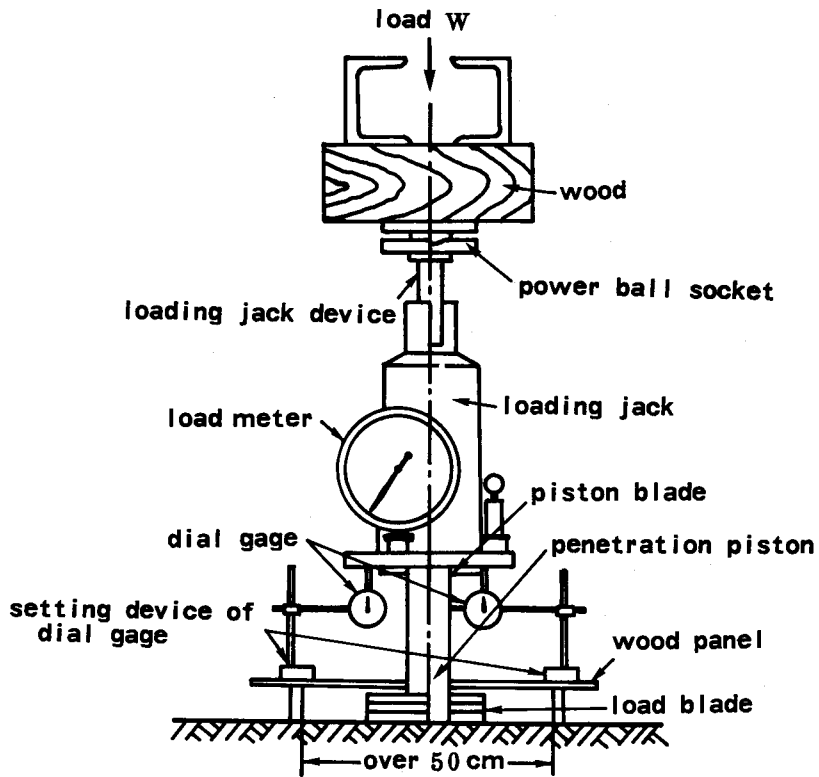


図-I-1 調査林道の縦断面と測定点位置

Fig. I.1. Vertical section and points of measurement on test road.



文献3)土質実験指導書より転写

図-I-2 現場CBR試験装置

Fig. I.2. Test device of CBR for field.

Copy from guide book of soil mechanics³⁾.

2 測定方法

路面の横断方向の中央の位置に、縦断勾配別に6個所の固定測定点を図一I-1に示す位置に設定した。測定の間隔等は特に固定せずに、主として降雨の状態により適時行った。

測定した項目のうち、路面の支持力、路面の土壌の含水量は上記の時点毎に、そのほかに輪荷重の路体内への伝播状況を適時測定した。気象観測資料(降雨量・気温・蒸発量)は、試験林道から約1.5 km離れた北海道大学雨龍地方演習林母子里作業所の資料を使用した。

路面の支持力は、現場CBR試験方法³⁾によった。

CBRとは、カリフォルニア支持力比(California Bearing Ratio)の略称で、日本では路床土支持力比と呼ばれている。CBR⁷²⁾というのは、ある一定の条件のもとにある土の強度特性を表す一つのインデックスである。測定は、JIS A 1211に示す方法によるもので、図一I-2に示すように、直径50 mmの貫入ピストを供試体の表面に1分間に1 mmの速度で貫入させ、通常2.5 mm貫入させたときの荷重と標準荷重との比を百分率で表したものである。すなわち、 $CBR = \text{ピストの貫入量} 2.5 \text{ mm のときの荷重 (kg/cm}^2) \div \text{標準単位荷重 (70 kg/cm}^2) \times 100 \%$ で求める。標準単位荷重とは、路盤材料として最もすぐれた強度特性を持つマカダム型の碎石、またはクラッシャーランの荷重である。これらがCBRが100であると考えられ、これが標準となって、各種の材料のCBRが表される。CBR 1%は0.7 kg/cm²に相当する。

第3節 測定結果

1 路面の支持力

路面の支持力測定は1967年9月7日から1969年6月26日の間に10回行った。その内訳は路面が凍結していた時に1回、融解していた時に1回、その他の8回は凍結・融解のない時

表一I-2 測定点別にみた路面のCBR値と含水率
Table. I. 2. CBR value and moisture content of road surface at different measuring points

Point No.	Date	Condition of road surface	1		2		3		4		5		6		Mean	
			CBR (%)	Moisture (%)	CBR (%)	Moisture (%)	CBR (%)	Moisture (%)	CBR (%)	Moisture (%)	CBR (%)	Moisture (%)	CBR (%)	Moisture (%)	CBR (%)	Moisture (%)
9. 7, '67	Ordinary		21.9	32.1	14.6	34.6	16.8	32.2	21.9	36.6	11.0	32.8	20.4	32.8	17.8	33.5
10.20, '67			14.6	43.5	8.0	46.1	11.7	47.4	13.9	43.8	21.2	39.8	13.1	52.4	13.8	45.0
11. 6, '67			16.8	45.3	8.0	50.8	13.1	48.3	16.1	48.1	14.6	43.3	18.3	46.0	14.5	47.0
9.10, '68			23.5	34.4	9.1	43.0	14.6	41.7	25.5	34.9	24.0	32.5	24.0	34.7	20.1	36.9
9.26, '68			29.6	29.6	31.8	25.1	19.0	27.9	21.2	28.9	25.5	27.5	16.8	35.1	23.9	29.0
10.21, '68			22.6	39.3	3.7	44.8	6.9	45.8	17.5	36.7	29.9	33.5	15.3	39.5	16.0	39.9
11.14, '68			19.7	44.9	8.0	47.2	13.5	46.2	14.6	48.3	18.6	36.5	5.1	53.7	13.3	46.1
6.26, '69			8.4	—	16.0	—	5.3	—	9.1	—	9.1	—	12.8	—	10.1	—
12.12, '68	Freezing		25.7	—	25.7	—	31.8	—	13.5	—	20.8	—	16.6	—	22.4	—
5.11, '69	Melting		2.0	47.7	3.5	45.2	4.0	48.5	6.0	43.6	4.5	41.7	7.0	35.7	4.5	43.7

(普通期)に行った。

路面の支持力測定の結果を表一I-2に、測定日直前10日間の日別の降雨量と蒸発量を表一I-3に示した。この測定では、路面の支持力は普通期では5.1%から31.8%の範囲にあり、その平均値は16.2%であった。

2 運材トラックの輪荷重

また、路盤が、トラック運材の際に発揮しなければならない支持力を知るため、トラックが路面を通過する際に、すなわち、輪荷重がある場合に路盤内に生じる土圧を調査した。土圧の測定においては、路面から垂直距離で臨時的に100 cmまでの深さを測定した場合を除き、0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 30 cmの深さに埋設した土圧計の真上を、車輪が通過する

表一I-3 路面支持力測定直前10日間の日別の降雨量と蒸発量
Table. I.3. Rainfall and evaporation in the last ten days before measurement of bearing capacity

Days before measurement	1		2		3		4		5	
	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)
Date measured										
9. 7,'67	0	1.8	0	3.2	0	3.2	10.8	0	11.6	0
10.20,'67	0.9	1.1	15.3	0	0.2	2.5	6.3	0.5	24.4	0
11. 6,'67	11.1	1.4	0.4	0.8	1.0	1.4	8.9	0	2.1	1.6
9.10,'68	0.4	0.9	0.3	3.0	0.4	0.3	13.2	0.4	0.2	4.6
9.26,'68	0.4	2.8	0.5	3.5	0.5	2.0	0.1	2.4	2.8	2.3
10.21,'68	1.4	1.9	7.2	1.0	0	2.2	0	3.0	0	2.5
11.14,'68	1.0	0.7	1.3	0.4	11.3	0.8	10.6	4.2	2.1	0
6.26,'69	0.5	0.2	21.1	0.6	5.5	3.6	28.4	0	4.3	5.1
5.11,'69	3.7	3.2	0	1.9	0.6	2.5	0	3.2	0	4.5

Days before measurement	6		7		8		9		10	
	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)	rain* (mm)	evapo* (mm)
Date measured										
9. 7,'67	0	1.7	0	3.3	1.4	3.3	1.0	1.1	1.8	1.0
10.20,'67	5.6	2.3	15.5	0.2	0	1.9	0	2.1	0	0.3
11. 6,'67	12.7	0	6.8	1.4	0	0.1	3.3	0	0	0.3
9.10,'68	0.1	2.7	0.3	1.3	0.7	0	29.9	0	5.8	1.7
9.26,'68	47.2	3.9	6.0	2.6	7.3	0.6	0	3.6	0.5	2.6
10.21,'68	0.7	0.5	0	1.5	21.7	1.0	4.9	0	8.1	0
11.14,'68	0	1.4	0.4	1.3	3.7	0.5	0.3	0.7	0.3	2.5
6.26,'69	0	6.4	0	4.9	0	4.4	0	1.0	8.1	0
5.11,'69	0	2.8	0	5.0	0	2.2	3.2	2.7	0.5	1.7

* : Rain means rainfall and evapo means evaporation.

表一 I - 4 輪荷重による路盤内の土圧分布
 Table. I. 4. Distribution of earth pressure in roadbed by wheel load

Date measured	Point No.	CBR (%)	Moisture content (%)	Vertical depth from road surface (cm)												
				0	5	10	15	20	30	40	50	70	100			
9. 7, '67	1	21.9	32.0		4.7	2.3		0.9	0.7							
"	2	14.6	34.6		2.7	2.8		1.2	0.7							
10. 5, '67	1	17.5	39.0	4.71	3.4		1.0		0.7	0.6	0.5	0.10	0.07			
"	1	17.5	39.0		4.2	0.7		0.8	0.7							
"	2	11.7	47.4		2.7	2.9		1.2	0.7							
10.20, '67	1	14.6	43.5		4.1	4.9		2.5	1.0							
"	2	8.0	46.1		2.0	2.2		1.3	1.5							
11. 6, '67	1	16.8	45.3		4.7	5.0		2.5	1.1							
"	2	8.0	50.8		2.8	3.0		1.7	1.5							
9. 9, '68	1	23.5	34.4		4.2	5.0		1.9	1.0							
"	2	9.1	43.0		4.1	2.2		3.3	2.0							
11.14, '68	1	19.7	44.9		3.5		3.6		1.5							
"	2	8.0	47.2		4.6		3.9		3.4							
12.12, '68	1	25.7	—		3.3		2.3		2.6					Freezing period		
"	2	25.7	—		3.8		5.1		2.1					"		
12.23, '68	1	30.6	—		0.6		0.3		0.3					"		
"	2	18.4	—		0.4		0.4		0.3					"		
5.20, '69	1	2.0	47.7		2.7		2.2		1.0					Melting period		
"	2	3.5	45.2		2.0		2.4		1.4					"		
6.26, '69	1	16.0	41.3		5.5		1.3		1.2							
"	2	8.4	52.7		3.4		2.7		1.6							

時の最大の表示値を読み取った。ただし路面下 0 cm の土圧の表示値は、設置した土圧計がトラック通過の度に乱されて安定した測定が出来なかったため除外した。

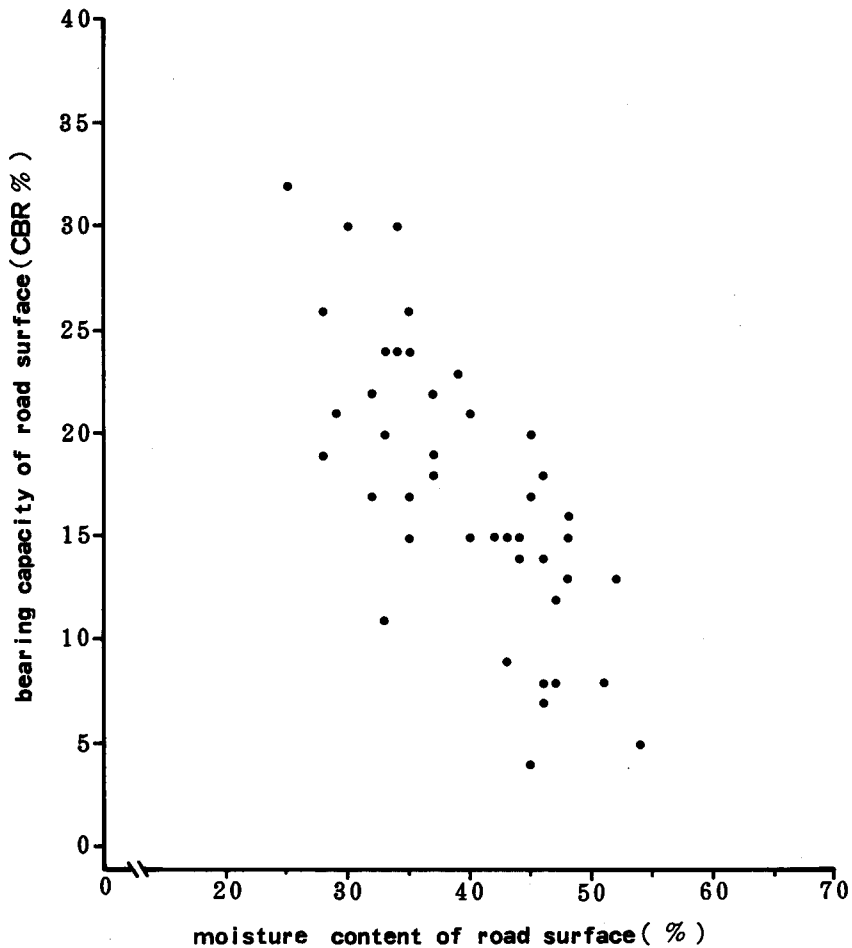
土圧の測定に使用したトラックは、いすゞ自動車株式会社製の TXD 50 型(昭和 42 年式)、駆動方式 4 × 2、タイヤサイズ 8.25-20-14 P で、その空気圧力は 5.00 kg/cm² に調整した。車体総重量(積荷と搭乗員の重量を含む)は 9,950 kg、通過速度は 15 km/h 程度とした。土圧計の埋設地点は、路面の支持力を測定する測定点のうち最大および最小の支持力となることが予想される No.1 と No.2 とした。

測定結果を表一 I - 4 に示した。

第 4 節 路面支持力の検討

1 含水率との関係

図一 I - 3 における路面の支持力と含水率との関係を示す点の散布状態から、両者の間に相関関係があることが推測されたので、含水率から支持力を推定する直線回帰方程式を導いたところ (I - 1) 式を得た。



図一I-3 路面の含水率と支持力との関係

Fig. I.3. Relation between moisture content and bearing capacity of road surface.

$$CBR = 43.41 - 0.664 \text{ MOIS} \quad (I-1)$$

$$R = -0.740, \text{ d.f.} = 1, 40, F = 48.32, t = -6.951$$

但し, CBR: 路面支持力 (CBR (%))

MOIS: 路面の含水率 (%)

R: 相関係数, d.f.: 自由度, F: F値, t: t値

以降, 記号の意味はこれと同じとする。

この結果から, 路面の支持力と含水率との間には, かなり高い相関々係 (標本相関係数-0.740) のあることがわかった。

2 降雨量・蒸発量との関係

路面の含水率に及ぼす諸要因の影響の中で、降雨による影響が特に大きいと考えられる。路面の含水率に係わる気象の要因としては、降雨のほかに蒸発・気温・日照時間等が考えられるが、路面の土壌が凍結・融解を受けない期間では、気象に関する要因の中で降雨量と蒸発量の二つの要因を取り上げて検討した。

支持力測定直前の10日間の降雨量、蒸発量が路面の支持力及び含水率とどのような関係にあるかを検するために、表一I-2及び表一I-3にもとづいて、1日毎の降雨量・1日毎の降雨量と蒸発量の差・降雨量の日毎の累計・降雨量と蒸発量の差の日毎の累計という4種類の測定項目の、支持力測定直前10日間の値と、路面の含水率及び支持力との相関を調べた結果、表一I-5の相関係数を得た。

表一I-5 含水率・CBR値と降雨量との相関係数
Table. I.5. Correlation coefficient among moisture content, CBR value and rainfall, evaporation

Items of correlation	Days before measurement										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Moisture vs. rainfall	rainfall- evaporation	0.460	0.346	0.375	0.254	0.161	-0.459	0.276	-0.161	-0.123	-0.187
	total rainfall before measurement	0.558	0.470	0.383	0.204	0.196	-0.432	0.354	-0.126	-0.064	-0.066
	total rainfall- evaporation before measurement	0.640	0.598	0.791	0.796	0.578	0.012	0.082	0.028	-0.047	-0.088
		0.558	0.699	0.825	0.793	0.617	0.190	0.241	0.221	0.234	0.226
CBR vs. rainfall	rainfall- evaporation	-0.120	-0.406	-0.311	-0.366	-0.132	0.405	-0.008	0.125	0.217	-0.122
	total rainfall before measurement	-0.220	-0.447	-0.235	-0.345	-0.118	0.418	0.013	0.176	0.174	-0.184
	total rainfall- evaporation before measurement	-0.120	-0.462	-0.539	-0.507	-0.496	-0.146	-0.125	-0.093	0.022	-0.005
		-0.220	-0.505	-0.549	-0.516	-0.509	-0.205	-0.164	-0.116	-0.023	-0.076

この相関係数から以下のことが考えられる。

含水率と降雨量との間には、正の相関関係があると予想した。表一I-5においては、支持力測定直前5日間の相関係数はすべて正であるが、6日目からは負の相関係数が現れている。また、含水率と支持力が負の相関関係にあることから、降雨量と支持力との間にも負の相関関係があると予想していた。表一I-5では、5日目までの相関係数のすべてが負であるが、6日目から正の相関係数が現れている。これらのことから、路面の含水率と支持力に対する降雨量の影響については、支持力測定直前5日間までの降雨量によって推定する方が、10日までの降雨量によるものよりも攪乱要因の影響を受けることの少ない良好な推定結果が得られると考えた。

相関係数が最大値を示したのは、支持力・含水率とも、降雨量と蒸発量の差の3日間の累計の場合で、それぞれ-0.549と0.825となっている。この相関係数の値から判断して、路面の含水量は降雨量と蒸発量の差の、路面支持力測定直前3日間の累計によってかなり正確に推定できるが、路面支持力の推定は、これらの他にも要因を考えなければ充分とはいえない。

この場合、路床土の種類・路床の構築の種類・側溝の深さは一定にしてあるので、その他の要因としては、測定点位置や測定時で違うものという観点から、路面の縦断線形、作設から調査時までの経過年数⁴⁴⁾等の要因が考えられる。

3 縦断線形との関係

次に縦断線形の違いによる路面の支持力の差について、測定点間の路面支持力の違いを検討した。

表一I-6 測定点間の路面支持力の有為差検定
Table. I. 6. Test of significance in bearing capacity of road surface at different two measuring points

Measuring point	Mean (%)	Mean (%)	Difference (%)	t. value	Degree freedom	Level of significance
1 vs. 2	19.6	12.4	7.2	1.86	14	0.08
1 3	19.6	12.6	7.0	2.47	14	0.03
1 4	19.6	17.5	2.1	0.72	14	0.49
1 5	19.6	19.2	0.4	0.10	14	0.92
1 6	19.6	15.7	3.9	1.26	14	0.23
2 3	12.4	12.6	-0.2	-0.06	14	0.95
2 4	12.4	17.5	-5.1	-1.41	14	0.18
2 5	12.4	19.2	-6.8	-1.70	14	0.11
2 6	12.4	15.7	-3.3	-0.90	14	0.38
3 4	12.6	17.5	-4.9	-1.97	14	0.07
3 5	12.6	19.2	-6.6	-2.17	14	0.05
3 6	12.6	15.7	-3.1	-1.20	14	0.25
4 5	17.5	19.2	-1.7	-0.56	14	0.59
4 6	17.5	15.7	1.8	0.64	14	0.53
5 6	19.2	15.7	3.5	1.07	14	0.30

表一I-6として示した測定点間の路面支持力の有為差検定表から、11%以下の危険率で測定点1と2、1と3、5と2、5と3の間に有意差が認められた。この測定点1、2、3、5の縦断勾配がいずれも0%であるにもかかわらず、CBR値に有意差があるのは、測定点1、5の付近の縦断線形が凸形即ち路面の水分を散らしやすい拡散線形であるため、測定点2、3より大きな路面支持力が得られたと考えることができる。

ただし、縦断勾配0%の路線において、拡散により路面支持力が影響を受ける路線の長さについては、この測定からは明らかに出来なかった。ただこの試験林道で拡散線形の部分に置

かれた二つの測定点のうち、縦断勾配0%で長い方の路線長17mをもつ路線に置かれた測定点1が影響を受けていることから、影響する長さは17m以上と推測できる。

次に拡散線形の測定点を除いて、縦断勾配が路面の支持力とどのような関係にあるかを、縦断勾配からCBR値を推定する直線回帰方程式を導いて検討した。その結果次の式(I-2)を得た。

$$\text{CBR} = 12.63 + 0.51 \text{ SLOP} \quad (\text{I}-2)$$

$$R = 0.676, \text{ d.f.} = 1, 30, F = 3.87, t = 1.967$$

但し、CBR：路面支持力 (CBR (%))

SLOP：路面の縦断勾配 (%)

この式(I-2)から拡散線形の測定点1、5のCBR値の平均値に相当する縦断勾配を推定すると13.3%の値を得た。

4 路面支持力の推定方法

路面の支持力を、降雨量と蒸発量の差・縦断線形・路盤作設から測定時までの経過時間・測定時の気温の平均値から推定する重回帰方程式を導いてみた。その結果式(I-3)をえた。

$$\text{CBR} = 14.20 - 0.428 \text{ TRE } 03 + 0.509 \text{ SLOP} + 2.018 \text{ PY} - 0.122 \text{ TEMP} \quad (\text{I}-3)$$

$$R = 0.710, \text{ d.f.} = 4, 43, F = 10.91$$

$$\text{TRE } 03 : t = -4.910, P = 0.000$$

$$\text{SLOP} : t = 3.967, P = 0.000$$

$$\text{PY} : t = 1.310, P = 0.197$$

$$\text{TEMP} : t = -0.808, P = 0.424$$

但し、CBR：路面の支持力 (CBR (%))

SLOP：路面の縦断勾配 (%)

TRE 03：測定直前3日間の(降雨量-蒸発量)の累計 (mm)

PY：作設後の経過年数 (年), TEMP：測定時の気温 (°C)

P：仮説が棄却される確率, 少数点以下第3位まで表示

以降, 記号の意味は, これと同じとする。

作設から測定時までの経過時間と測定時の気温の平均値の係数は5%以下の危険率では有意とならなかったため、この二つの要因を除いた回帰式を導いた。5%以下の危険率で有意となった降雨量と蒸発量の差・縦断勾配から路面の支持力を推定する重回帰方程式は、式(I-4)となった。

$$\text{CBR} = 14.53 - 0.366 \text{ TRE } 03 + 0.509 \text{ SLOP} \quad (\text{I}-4)$$

$$R = 0.695, \text{ d.f.} = 2, 45, F = 21.07$$

$$\text{TRE } 03 : t = -5.129, P = 0.000$$

$$\text{SLOP} : t = 3.979, P = 0.000$$

但し, CBR: 路面の支持力 (CBR (%))

SLOP: 路面の縦断勾配 (%)

TRE 03: 測定直前3日間の(降雨量-蒸発量)の累計 (mm)

また降雨量と蒸発量の差を降雨量に置き換えた場合, 式 (I-5) を得た。

$$\text{CBR} = 16.84 - 0.416 \text{ TR } 03 + 0.416 \text{ SLOP} \quad (\text{I-5})$$

$$R = 0.687, \text{ d.f.} = 2.45, F = 20.12$$

$$\text{TR } 03: -4.976, P = 0.000$$

$$\text{SLOP: } t = 3.936, P = 0.000$$

但し, TR 03: 測定直前3日間の降雨量の累計 (mm)

5 輪荷重の路盤内に及ぼす影響

路面をトラックが通過する際の, 路面下5 cm から30 cm の各深さでの土圧の最大値, 最小値, 平均値はそれぞれ表-I-7に示されている。輪荷重による最大土圧は深さ5 cm での5.5 kg/cm²となっている。

表-I-7 輪荷重による土圧の測定点別・深さ別の値

Table. I. 7. Earth pressure by wheel load at differently measuring point and their depths from road surface

Items Measuring No	CBR (%)	Moisture content (%)	Vertical depth from road surface (cm)					
			1	5	10	15	20	30
Earth pressure (kg/cm ²)								
Range 1	14.6~23.5	32.0~45.3	3.5~5.5	0.7~5.0	1.3~3.6	0.8~2.5	0.7~1.5	
Mean	18.57	40.06	4.41	3.58	2.45	1.72	1.03	
Standard dev.	3.248	5.202	0.658	1.982	1.626	0.832	0.281	
Range 2	8.0~14.6	34.6~52.7	2.0~4.6	2.2~3.0	2.7~3.9	1.2~3.3	0.7~3.4	
Mean	9.68	45.97	3.19	2.62	3.30	1.74	1.63	
Standard dev.	2.541	5.920	0.904	0.390	0.849	0.896	0.916	
Mean 1 and 2	14.13	43.01	3.87	3.10	2.88	1.73	1.33	
Standard dev.	5.400	6.171	1.041	1.438	1.167	0.815	0.722	
Regression estimated			10.8	3.9	2.5	2.0	1.6	1.3

表-I-4の測定結果から, 輪荷重がある場合の路盤内の土圧を, 路面からの深さに対応させて推定する回帰式を導いた。路面からの深さと土圧とは線形関係にないことから, 回帰式としてアロメトリ-式を用いることにした。すなわち次の形のものとした。

$$Y = bX^a \quad (\text{I-6})$$

但し, Y: 土圧 (kg/cm²)

X: 路面からの深さ (cm), a, b: 常数

線形化するため式 (I-6) の両辺の対数を取り

$$\log Y = \log b + a \log X \quad (I-7)$$

式 (I-7) に、あてはめた結果式 (I-8) を得た。

$$\log Y = 1.034 - 0.632 \log X \quad (I-8)$$

$$R = 0.705, \text{ d.f.} = 1, 50, F = 49.43$$

$$X : t = -7.030, P = 0.000$$

但し、Y : 土圧 (kg/cm²), X : 路面よりの深さ (cm)

この推定式にもとづき、輪荷重がある場合の路盤内土圧の推定値を図-I-4に示す。またこの推定式から、路面下1 cmでの土圧を推定すると10.8 kg/cm²となる。

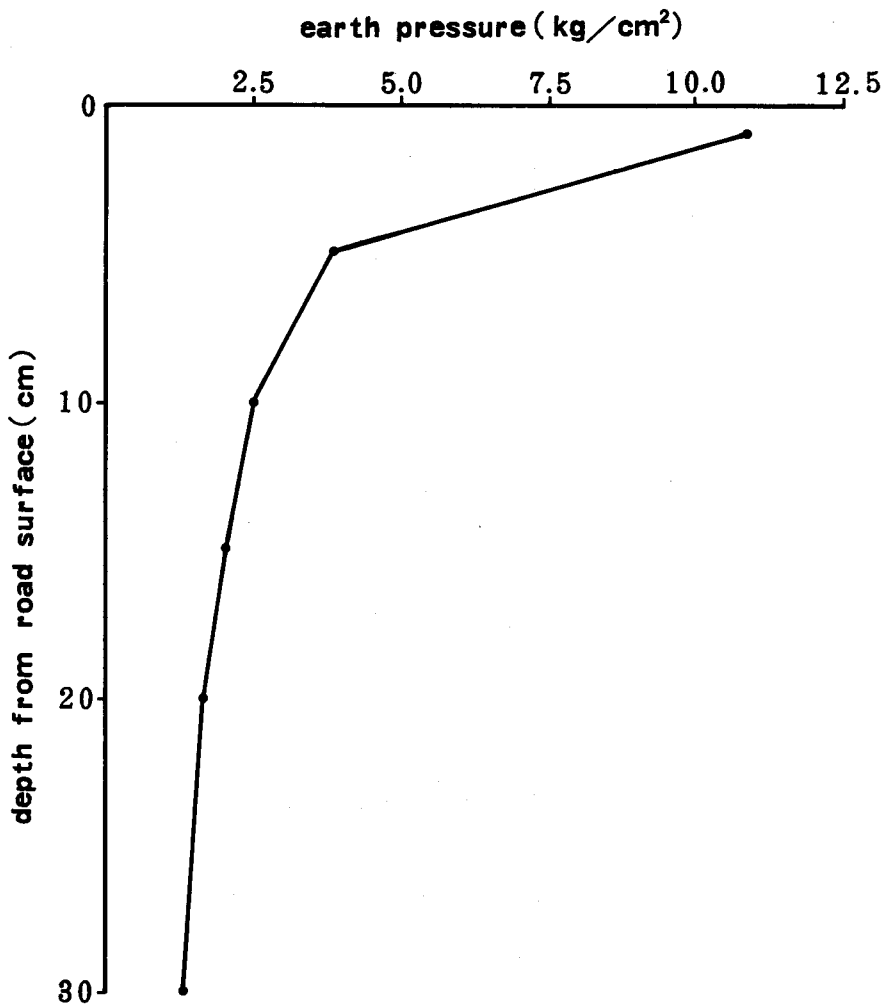


図-I-4 輪荷重がある場合の路盤内土圧の推定値

Fig. I.4. Estimated value of earth pressure in subbase on existence of wheel load.

第5節 運材林道としての可能性

以上の研究から、路体の構築の種類、路床土の種類、側溝の深さが同じ場合、路面の土壌が凍結ならびに融解作用を受けていない普通期間では、その路面の支持力は、それに影響を及ぼすと思われる要因のうち、降雨量と蒸発量との差、路面の縦断線形の二つの要因で推定できること、すなわち降雨量と蒸発量との差として、支持力測定直前の3日間の合計値を用い、また縦断線形としては、縦断勾配値を用いることにより、相当な精度で路面の支持力を推定出来ることがわかった。

このことから、砂質土林道路面の支持力の降雨による変動、さらにトラック運材に必要とされる、砂質土路盤の支持力について明らかにした。

その他、この章の研究によって次のことが明らかとなった。すなわち、路面の支持力は、路面の土壌の含水率と高い負の相関関係にあること。また縦断勾配が0%から10%の範囲では、その値が大きいほど支持力が大きいこと。ただし同じ0%でも、その位置の前後が下がっている縦断線形、すなわち凸形線形であると、路線距離で少なくとも17mまではその路面の支持力は、式I-5をつかって計算すれば、13.3%の縦断勾配を持つ路面のものと同じであることになり、路面の支持力は縦断勾配だけでなく線形にも影響されることが明らかとなった。

また式I-5から、路面支持力を降雨量と縦断勾配から推定できることを明らかにした。この式によれば、路面の支持力に対しては、縦断勾配の+1%は降雨量の-1mmに対応している。

輪荷重がある場合に、路面下の深さからその位置の土圧を推定する回帰方程式(I-8)を用いて、路面下1cmの土圧を推定して、 10.8 kg/cm^2 の値⁶³⁾を得た。これを路面の支持力とみなすことができる。この値をCBR⁷⁵⁾に換算すると15.4%となる。

式I-5によれば、その路面の支持力がトラック運材に耐え得る最小の路面支持力であるCBR値15.4%となるための条件は、支持力測定の直前3日の降雨量の累計が、拡散線形の路面で16.3mm、路面の縦断勾配10%で13.3mm、5%で、8.3mm、0%で3.3mmであることを、回帰方程式から推定した。

第2章 砂質土林道の路面沈下

第1節 研究の手法

道路上を運材トラックが通過する際に、時として車輪通過部の路面が沈下して路面に溝状の部分が発生し残留する。この溝状の部分は、その道路の路面が通過する運材トラックに対して十分な支持力を持っていない場合に、運材トラックが路面を沈下させ、路盤の支持力を高めながら通過することによって生じると考えられる。このような路面の沈下^{67,68,92)}には、運材トラック通過時に一時的におこる可逆的なものと、非可逆的なものがあり、非可逆的な路面沈下の結果路面に残留する溝状の部分が、いわゆる轍である。

このように、轍の発生が運材トラック通過の際に路面の支持力が増加するに伴って生ずる現象であるとするなら、この轍の深さ、すなわち路面の沈下量と路面の支持力との間に何等かの相関々係があることが予想できる。

このことから、路体構造の違う道路において、質・量とも同じ運材トラックが、同じ条件で通過後に路面沈下量を調べることによって、路面支持力を比較することが可能と考えられる。

既に第1章において、路面の支持力に影響を及ぼすと考えられる要因のうち、縦断線形と降雨量、蒸発量の影響について検討した。

この章では、砂質土林道を実際に作設して、その路面上に運材トラックを通過させて、その際に生じる路面の沈下量を測定し、運材トラックの通過に必要な支持力を得るために必要な路盤の締め固め量を検討した。

第1章で、砂質土林道の路体を構成する要素のうち、側溝の深さを同じとしたが、この章では、側溝の深さも変化させて、縦断勾配に加えて側溝の深さの影響も検討した。

砂質土林道の路体構造では、礫砂による路盤を持たないので、縦断勾配と側溝の深さが、路盤の支持力に影響する主要な要因と考えた。

第2節 試験方法

1 試験林道の概要

北海道雨竜郡幌加内町母子里にある北海道大学雨龍地方演習林において、1970年7月から9月にかけて、幅員3.6m、延長約1,000mの林道を作設した。そのうちから、測定条件に合った縦断勾配を持つ延長合計360mを沈下量の測定対象にした。

路体は切取工により構築し、山側に側溝をつけた。測定対象区間は砂質土のままの路面とした。調査対象区間の試験林道の主な諸元を表-II-1に示す。

表-II-1 試験林道の主要諸元
Table. II. 1. Specifications of test road

Road length (m)	Kind of roadbed	Road width (m)	Minimum radius (m)	Depth of ditch (cm)	Longitudinal slope (%)	Kind of subsoil by AASHO	Bed-rock
360	Cutting	3.6	8	25,40,60	0.4~11.9	A-2	Andesite

2 沈下の測定方法

1) 測定点

側溝の深さを25cm、40cm、60cmの3種類とし、縦断勾配はこれを、林道全般の縦断勾配の範囲を考慮して、0%から4%迄(緩勾配)、4%を越え8%迄(中勾配)、8%を越え14%迄(急勾配)の3種類に分類した。側溝の深さ3種類と縦断勾配の範囲3種類との組合せで9種類の条件を定め、それぞれにあう延長各40mの路面を選定した。測定区間別の縦断勾配と

表一II-2 測定区間別の縦断勾配と側溝の深さ
Table. II. 2. Longitudinal slope and depth of ditch at different measuring sections

Mark of section	G-25	G-40	G-60	M-25	M-40	M-60	S-25	S-40	S-60
Longitudinal slope (%)	1.6	3.4	0.4	6.2	5.5	6.8	11.9	10.0	11.2
Depth of ditch (cm)	25	40	60	25	40	60	25	40	60

側溝の深さを表一II-2に示す。

測定点は、この40mの各区間のうち始点から10m, 20m, 30mの位置における左右車輪の通過部分に設定した。その結果測定点は $9 \times 3 \times 2$ の54点となった。

2) 通過試験

沈下量の測定のための通過試験に使用する運材トラックは、いすゞ自動車株式会社製のTXD50型(昭和42年式)、駆動方式 4×2 、タイヤサイズ前後とも8.25-20-14Pでその空気圧力は 5.00 kg/cm^2 に調整した。運材トラック総重量は、トラックスケールで測定の結果9,950kg(車体重量, 積荷重量, 乗員重量の合計)であった。

通過速度は15km/h程度とし、通過位置は忠実に前の轍を辿ることにした。

3) 沈下の測定

沈下量は、各測定点の運材トラック通過前と後におけるの轍の最深部の高さを水準測量により測定して、路面沈下量を求めた。

測定時点間隔は、運材トラック通過回数が50・100・150・200・250回となった直後とした。通過回数の最大を250回として考察を進めたのは、これ以上回数を増やしても沈下量がほとんど増加しないことが明らかになったからである。

運材トラック通過に先立ち各測定点の路面の含水率と支持力を測定した。含水率は44.8%~54.5%の範囲で、平均48.91%、支持力はCBR値で0.7%~4.7%の範囲で、平均3.01%であった。各測定点間に顕著な違いはないと考える。

運材トラック通過による沈下量の測定は、1970年10月8日から10日の3日間に行った。この測定期間中と直前3日間に降雨はなかった。

第3節 測定結果

54個所の測定点での測定結果を、縦断勾配別、側溝の深さ別の9通りに、通過回数50・100・150・200・250回別にまとめた、各条件下における沈下量の平均値を表一II-3に示した。この表一II-3から次の事がわかる。9通りの条件のいずれの場合においても最大の沈下量が生じたのは、通過回数250回の時で、その最大値は縦断勾配が0.4%、側溝の深さ60cmでの16.5cm、また最小値は勾配11.2%側溝深60cmでの9.1cmで、250回の時の平均値は13.54cmであった。

表-II-3 縦断勾配・側溝の深さ別にまとめた路面沈下の調査結果
 Table. II. 3. Sunk depth of road surface summarized with longitudinal slope and depth of ditch

Longitudinal slope (%)	Depth of ditch (cm)	Mark of section	Moisture content (%)	Bearing capacity CBR (%)	Times of truck-passing				
					50	100	150	200	250
Sunk depth of road surface (cm)									
1.6	25	G-25	46.5	5.1	5.7	8.9	12.3	14.2	16.1
3.4	40	G-40	50.1	3.4	5.8	12.0	14.0	15.0	15.3
0.4	60	G-60	54.5	3.4	8.8	12.6	14.2	16.1	16.5
6.2	25	M-25	46.3	3.7	7.5	12.5	14.1	15.0	15.5
5.5	40	M-40	52.5	6.2	4.9	10.7	12.2	15.5	15.6
6.8	60	M-60	48.4	1.1	6.3	9.4	9.9	9.5	10.4
11.9	25	S-25	44.8	8.1	6.7	6.4	9.3	10.7	11.3
9.9	40	S-40	47.2	8.6	4.9	7.2	10.9	11.9	12.1
11.2	60	S-60	49.9	3.7	5.0	4.5	8.4	9.2	9.1

第4節 路面沈下の検討

1 通過回数と路面の沈下

条件の組合せ別のうち G-25, M-40, S-60 と全体の平均値について、通過回数毎に路面沈下量を図示すると図-II-1 となる。この図から、通過回数の増加に比べて路面沈下量の増

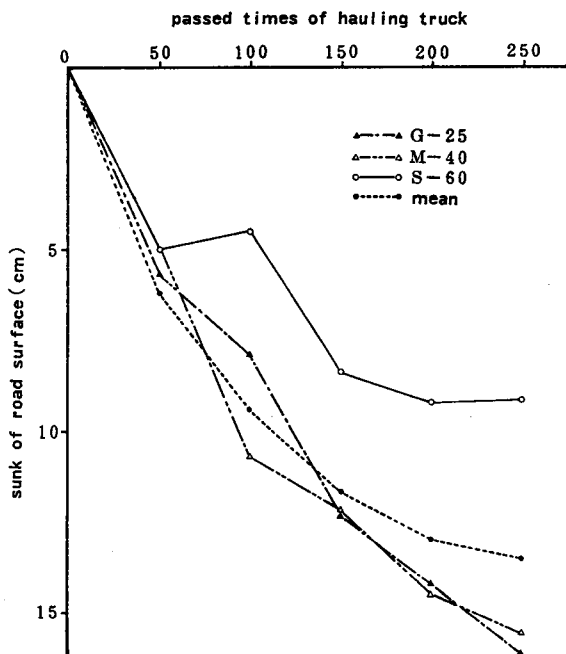


図-II-1 トラック通過回数と路面沈下量

Fig.II.1. Passing times of trucks and sunk depth of road surface.

加割合が小さく、図形は指数が1.0より小さい指数函数に近いものとなっている。

通過回数から沈下量を推定する回帰方程式を次のように考えた。

$$dh_N = aN^b \quad (\text{II-1})$$

ただし、 dh_N ：通過 N 回後の沈下量 (cm)

N：運材トラック通過回数, a, b：係数

(II-1) 式を線形化して

$$\log dh_N = \log a + b \log N \quad (\text{II-2})$$

とした。表-II-3の測定値から (II-2) 式の係数を求めた結果を、表-II-4に示す。

いずれの組合せの場合も相関係数は0.77以上であり、係数は5%以内の危険率で有意との結果となっている。

表-II-4 最終沈下量までに要するトラックの通過回数の推定値
Table II. 4. Estimated times of truck passing required for final settled value

Kind of section	Constant	Regression coefficient	Correlation coefficient	Degree of freedom	t. values	Times of pass
G-25	-0.356	0.656	0.998	4	28.21	641
G-40	-0.202	0.263	0.942	4	4.866	441
G-60	0.271	0.404	0.991	4	13.08	440
M-25	0.149	0.448	0.957	4	5.699	399
M-40	-0.495	0.725	0.969	4	6.749	596
M-60	0.349	0.285	0.901	4	3.600	334
S-25	0.151	0.371	0.895	4	3.481	622
S-40	-0.335	0.607	0.979	4	8.397	538
S-60	-0.146	0.466	0.851	4	2.808	640

Notice: Final settled value estimated from following equation; $\log dh = \log a + b \cdot \log N$

2 最終沈下量の推定

久野⁽²⁾によれば、転圧機による土の締め固め回数と沈下量との関係には (II-3) 式で表される実験式がよく適合する。

$$dh_N = N / (a + bN) \quad (\text{II-3})$$

ただし、N：締め固め回数

dh_N ：転圧前の面からの転圧後の沈下量 (cm)

a, b：係数

いま運材トラック通過による路面の沈下を、運材トラック通過の際の輪荷重による一種の締め固め作用による部分的な沈下と考えると、運材トラック通過回数と沈下量の関係に (II-3) 式を適用することができる。

(II-3) 式を変形して

$$N/dh_N = a + bN \quad (\text{II-4})$$

が得られる。表-II-3の測定値を用い、Nの変化に対するN/dh_Nの回帰を(II-4)式によって表してみた。その組合せ別の結果を表-II-5に示す。

表-II-5 久野氏の実験式による路面の最終沈下量の推定値
Table II. 5. Values of final settlement estimated by Kuno's experimental equation

Kind of section	Constant	Regression coefficient	Correlation coefficient	Final values of settlement (cm)
Whole	6.022	0.0517	0.728	19.3
G-25	7.455	0.0327	0.992	30.6
G-40	5.337	0.0409	0.956	24.5
G-60	3.423	0.0458	0.999	21.8
M-25	3.676	0.0485	0.993	20.6
M-40	7.595	0.0304	0.921	32.9
M-60	2.978	0.0852	0.993	11.7
S-25	6.290	0.0648	0.944	15.4
S-40	7.915	0.0477	0.964	21.0
S-60	9.520	0.0689	0.840	14.5

Notice: Kuno's equation; $N/dh = a + bN$

(II-3)式でNを増加して無限大にすると、dh_Nは1/bに近づく。この値を最終沈下量とみなして、表-II-5で示した値を得た。

これによると最終沈下量の範囲は、17.0 cm~32.9 cmで、こみにした値は19.3 cmとなる。これと同じ方法でこの値を縦断勾配の緩・中・急別に求めた最終沈下量は、それぞれ、26.3 cm, 21.7 cm, 17.0 cmとなり緩・中・急の順に小さくなっている。

また側溝の深さ25 cm, 40 cm, 60 cm別に求めた値は、それぞれ22.2 cm, 26.1 cm, 16.0 cmとなった。

3 最終沈下量に達する通過回数

この測定における運材トラック通過回数の最大値である250回での沈下量が、最終沈下量に対して占める割合は、50.0%~96.6%の範囲にあり、その平均は68.7%となった。

この最終沈下量に達する運材トラック通過回数を、式(II-1)で推定を試みた。その結果表-II-4に示した運材トラック通過回数を得た。

最終沈下量に達する迄に要する運材トラック通過回数は、334回~641回の範囲にあり、平均は516.8回となった。

4 沈下に及ぼす縦断勾配、側溝の影響

路面の支持力を表現する指標の一つと考えられる沈下量について、この測定から、路面の

沈下量に影響を及ぼす要因，すなわち締め固めの効果を発揮する運材トラック通過の回数・側溝の深さ・路面の縦断勾配とどのような関係にあるかを，数量化分析Ⅰ類⁵⁶⁾の手法により分析した。

各要因の範疇を，運材トラック通過回数では50・100・150・200・250回の五つに，側溝の深さでは25 cm, 40 cm, 60 cmの三つに，路面の縦断勾配の緩急では縦断勾配の平均値と標準偏差¹⁶⁾から0.4~3.4(緩勾配)，5.5~6.8(中勾配)，9.9~11.9%(急勾配)の三つに分類した。

分析の結果を表Ⅱ-6に示した。この結果をみると重相関係数は0.906と大きく，回帰

表Ⅱ-6 数量化分析Ⅰ類により分析結果
Table. II. 6. Analytical data by quantitative analysis I

Ttem	Category	Partial regression coefficient
Pass times of track	50	-4.587
	100	-1.409
	150	0.936
	200	2.247
	250	2.813
Depth of ditch(cm)	25	0.316
	40	0.436
	60	-0.751
Longitudinal slope(%)	0.4~ 3.4	1.756
	5.5~ 6.8	0.502
	9.9~11.9	-2.258
		Partial correlation coefficient
Pass time of track		0.874
Depth of ditch		0.333
Longitudinal slope		0.743
Multiple correlation coefficient		0.906
Mean		10.764

平面は沈下量の分布によく適合していることがわかる。またこれら要因の沈下量に及ぼす影響の程度を偏相関係数の値でみると，通過回数が0.874と最も大きく，つづいて路面の縦断勾配が0.743，側溝の深さが0.333の順となっている。このことから沈下量に及ぼす影響の大きさの点では，通過回数が最も大きく，それに次いで路面の縦断勾配が大きく，側溝の深さによる影響は，前の二つより小さいことがわかる。

第5節 運材林道への適用

地山で作設した砂質土林道に運材トラックを通過させて，その際に生じる路面の沈下量を

測定し、砂質土路盤では、どの程度の沈下量となるか、またその沈下量は、路面の縦断勾配、側溝の深さと、どのような関係にあるかについて明らかにした。表一II-7に、縦断勾配別、側溝の深さ別の最終沈下量と、それに達するまでに要する運材トラックの通過回数の推定値を示した。

表一II-7 縦断勾配別側溝の深さ別にみた最終沈下量と通過回数の推定値
Table. II. 7. Estimated values of final settlement and pass time with longitudinal slope and depth of ditch

Depth of ditch (cm)		Longitudinal slope (%)		
		0.4~3.4	5.5~6.8	9.9~11.9
25	Settlement (cm)	30.6	20.6	15.4
	Pass times	641	399	622
40	Settlement (cm)	24.5	32.9	21.0
	Pass times	441	596	538
60	Settlement (cm)	21.8	11.7	14.5
	Pass times	440	334	640

この結果、砂質土林道について、次のことが明らかになった。

地山に作設しただけの砂質土林道は、筆者が行った実験の場合、路面支持力測定の直前三日間の降雨がなくても、車両総重量約10トンの運材トラック通過によって路面の沈下が生じた。この路面の最終沈下量の推定値は、11.7 cm~32.9 cmの範囲にあり、その平均値は19.0 cmである。また最終沈下量に達するトラックの通過回数の推定値は、334回~641回の範囲にあり、その平均値は516.8回である。この結果から、路面の沈下は650回程度の通過回数即ち、通過運材トラックの延べ重量約6,500トン(約10トン×650回)程度で止まること、その沈下量は、最大でも33 cm程度であること、路面の沈下に対しては、側溝の深さよりも縦断勾配の緩急の影響の方が大きいこと等が明らかとなった。

第3章 林道の適正路盤厚

第1節 研究の手法

第1章と第2章で、砂質土林道でトラック運材に必要な支持力について検討した。砂質土林道を運材に使用するのには、本来路床であるものを路盤として利用する方法であり、あくまでも特殊な使用としての域を出ないと考える。この砂質土路盤を路床と考え、その上に礫砂による路盤を構築する場合は、その路床の支持力にとっての適正路盤厚を知る必要がある。

この章では、十分にトラック運材に利用された林道の礫砂路盤について筆者が1969年に行った調査の資料⁸⁴⁾を基にして、普通の林道が必要とする路盤厚について検討した。

林道を作設する場合、路盤の厚さ一つを取り上げても、その林道に要求される機能に適した路盤厚を的確に知る為には、多くの項目の土質調査⁷⁷⁾を必要とするのが常である。その中で

も路床の支持力を知ることは、林道設計に要する基礎的な情報の一つである。しかし幅員が一車線で砂利路面が多い林道では、一般の道路に比較して単位長当りの作設経費も少なく、そのために路床の支持力調査等に支出できる経費も少ないのが普通である。そのような林道の設計には、既往の林道の実態調査資料を参考にすることが多い。

しかし既往の林道の実態調査についても、設計資料、供用資料と路面の平面的な調査による場合が多く、路床まで調査した事例は少ない。

この章では、路床部を含めた林道の垂直横断面を調査することによって解剖的に既設林道の路体の実態を知り、林道の作設、補修の経緯を明かにするとともに、路床の支持力に影響を及ぼすと考えられる要因について、その影響の程度を分析して、林道に要求される機能に適した構造について検討する。

第2節 垂直横断面の調査

1 路床の支持力に関係する要因

林道の路床の支持力に影響を及ぼすと考えられる要因のうち、垂直横断面の調査の対象となる要因には次のものがある。

すなわち、路床の土の種類、路床構築の種類、路盤の厚さ、側溝の深さ、路面の縦断勾配である。また設計資料および供用開始後の資料からは、設計路盤厚、補修の砂利厚、運材トラックの通過量を知ることができる。

2 調査対象林道

北海道有林所属の林道のうち、既にトラック運材に使用されている13路線の林道を対象に

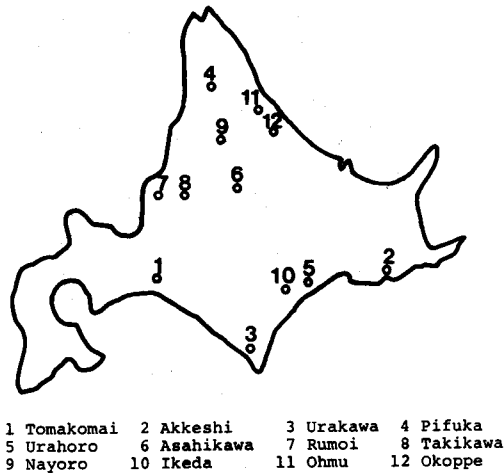
表一Ⅲ—1 垂直横断面再調査の対象にした既設林道

Table. III. 1. Various local forest road for survey of vertical sections

Local forest office	Name of forest road	Classification by geology	Number of section
Tomakomai	Azumagawa	Neogene Tertiary	8
Akkeshi	Itoizawa	Paleogene Tertiary	5
"	Kamuiwa	"	1
Urakawa	Nikanbetsu	Pre-Cretaceous	4
Pifuka	Momomanai	Cretaceous	6
Uraforo	Kirisato	Paleogene Tertiary	6
Asahikawa	Aizan-Iiyama	Tertiary Andesites	7
Toobetsu	Rokubangawa	Neogene Tertiary	6
Takikawa	Minamihoroka	"	9
Nayoro	Touhutonai	Cretaceous	6
Ikeda	Obana	Neogene Tertiary	6
Oumu	Okuhoronai	"	6
Okoppe	Ottape-honryuu	Neogene Tertiary	6

Notice: By metallic and non-metallic mineral deposits of Hokkaido⁸⁹⁾

して、合計 76 面の路体の垂直横断面を調査の対象にした。調査対象林道名等を表一Ⅲ-1 に、またその位置を図一Ⅲ-1 に示した。対象にした林道の位置は、北海道の南西部を除いた地域に分散している。



図一Ⅲ-1 調査対象林道の位置

Fig.III.1. Location of various local forest road.

第3節 測定方法

1 垂直横断面の作成

対象林道を掘削して垂直横断面を作成する前に、掘削位置の前後それぞれ 20 m 程度の路線長の範囲での縦断測量と掘削位置での横断測量を行った。

垂直横断面の作成のための路体の掘削は、横断方向には側溝を含む林道幅員一杯に、縦断方向には人が穴の中に入って作業ができる 1 m 程度の幅に、また垂直方向には、1 m 程度の深さに行った。掘り下げの深さを 1 m 程度としたのは、路床部分が横断幅全体に現われて、路盤と路床の境界の変形状況が測定でき、その断面の路体の支持力を、路面から 80 cm の深さまで測定することができる最小限度の深さであるからである。掘削は主にバックホーで行ない、断面の仕上げは人の手で行った。

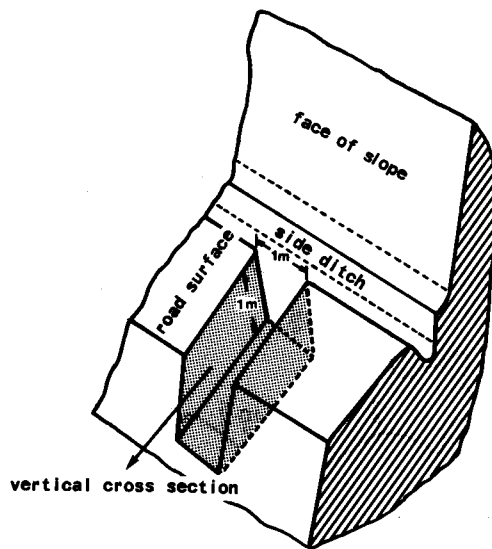
この垂直横断面作成の模式図を図一Ⅲ-2 に示した。

2 断面の測定

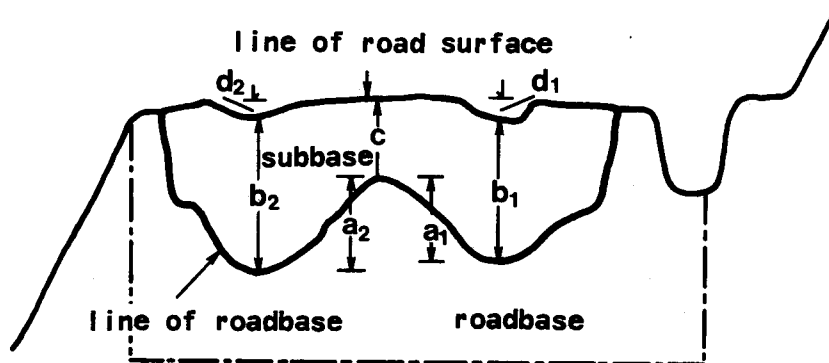
作成した垂直横断面について、路面線、路盤と路床との境界線（これを路床線と称する）の測量をおこない、図一Ⅲ-3 に示すような垂直横断面図を作成した。

さらに路床土の土質調査と、一部の横断面については路面からの深さ毎の支持力の測定を行った。

その他林道の設計ならびに供用開始後の補修、運材量等の資料を調査した。



図一Ⅲ-2 垂直横断面作成の模式図
Fig.III.2. Typical figure of vertical section.



図一Ⅲ-3 垂直横断面図と測定位置
Fig.III.3. Vertical cross section and measuring points.

路床土の分類は、前章にも述べように AASHO 法によった。この方法によれば、土をフルイによる粒度とコンシステンシーから比較的簡単に分類でき、かつ路床土としての価値を判断することができる。

3 路体の支持力の測定

トラック運材に十分に利用されている林道の路体が、どの程度の支持力をもっているかを知るため、車輪通過の頻繁な轍部と、車輪通過の殆どない路面中央部で、路面およびその位置の垂直下方の、路面よりの深さ 5 cm, 10 cm, その先 10 cm 置きに 80 cm までの点において測定した。測定は、現場 CBR 試験と衝撃式地耐力試験を併用し、降雨のない日に行った。

第4節 測定結果

1 垂直横断面

測定は1969年6月から8月にかけて行った。各垂直横断面調査結果の概要を表—III—2に示す。

表—III—2 垂直横断面の調査結果の概要
Table. III. 2. Outlines measured of vertical sections

Reference number	Name of road	Kind of subsoil	Total weight of truck passing	Subbase depth on plan	Garavel depth on repair	Kind of roadbed	Depth of ditch	Longitudinal slop	Subbase depth		Subbase depth on center	Sunk depth of road surface		Sunk depth of subbase	
									on wheel	on center		d ₁	d ₂	a ₁	a ₂
		by AASHO	(ton×10 ³)	(cm)	(cm)		(cm)	(%)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	Azumagawa	A-5	8	30	30	Cut	35	0	42	56	0	7	6	58	67
2		A-4	8	30	30	Mold	60	2	54	54	15	3	7	39	39
3		A-1	8	30	30	Cut	20	8	21	8	9	6	10	21	19
4		A-2	6	40	20	Mold	50	0	35	42	20	8	11	18	21
5		A-7	1	40	0	Cut	35	1	29	30	34	7	6	7	6
6		A-2	1	40	0	Cut	25	5	44	41	31	8	7	27	19
7	Itoizawa	A-7	86	25	20	Cut	25	1	33	28	5	17	13	45	37
8		A-7	86	25	20	Mold	135	0	52	45	11	6	8	46	43
9		A-2	66	45	0	Mold	105	0	36	-	12	10	-	35	-
10		A-7	66	45	15	Cut	25	1	41	48	14	21	25	11	11
11		A-2	66	45	20	Cut	45	1	45	58	39	10	4	15	25
12	Kamuiwa	A-7	1	40	0	Mold	80	0	1	31	17	5	10	26	23
13	Nikanbetsu	A-1	15	0	30	Mold	70	0	29	48	28	8	12	8	30
14		A-1	15	0	30	Cut	40	0	32	-	25	14	-	18	-
15		A-1	15	0	30	Cut	40	1	51	50	27	13	3	30	25
16		A-1	15	0	30	Cut	34	0	-	41	30	-	6	-	15
17	Monomanai	A-7	54	15	43	Cut	30	4	84	82	74	5	0	26	11
18		A-1	54	15	43	Mold	80	2	51	-	52	0	-	0	-
19		A-2	30	50	6	Cut	30	0	-	95	66	-	6	-	25
20		A-7	16	50	4	Cut	35	0	70	-	59	-	-	12	-
21		A-7	10	50	4	Cut	70	1	-	81	66	-	7	-	30
22		A-7	10	50	4	Cut	30	1	68	-	41	6	-	29	-
23	Kirisato	A-1	90	35	0	Mold	50	1	19	31	26	8	7	3	14
24		A-1	72	35	0	Mold	40	4	34	34	22	4	5	16	9
25		A-2	67	35	0	Cut	35	0	37	35	38	8	7	6	4
26		A-2	61	35	0	Cut	30	8	31	33	29	6	7	5	8
27		A-1	54	35	0	Mold	40	8	38	33	30	4	6	9	7
28		A-1	44	35	0	Mold	30	3	33	33	33	4	5	2	5
29	Aizan-Iiyama	A-2	63	40	0	Cut	30	8	24	33	23	5	5	8	13
30		A-7	13	40	0	Cut	35	6	49	40	21	3	4	36	26
31		A-7	9	40	0	Cut	30	7	64	65	29	5	7	38	43
32		A-2	9	40	0	Cut	30	5	48	42	43	5	9	8	7
33		A-7	11	40	0	Cut	30	7	39	44	23	6	4	21	25
34		A-7	11	40	0	Mold	310	7	51	47	35	6	8	23	21
35		A-2	13	40	0	Mold	40	2	69	60	73	8	6	5	-5

36	Rokubangawa	A-5	76	30	40	Cut	30	12	46	55	15	18	13	50	48
37		A-7	76	30	35	Cut	30	1	35	46	15	5	6	20	31
38		A-2	74	30	25	Cut	30	4	43	38	15	4	3	22	23
39		A-2	57	20	30	Mold	40	3	42	38	24	3	3	17	15
40		A-1	57	10	27	Cut	30	2	16	21	13	6	5	7	13
41		A-2	57	20	25	Cut	55	2	23	30	15	8	7	16	22
42	Minamihoroka	A-6	32	50	10	Cut	35	3	84	75	82	3	4	7	9
43		A-6	32	50	10	Mold	60	8	58	75	47	0	0	12	30
44		A-6	8	40	0	Cut	30	1	62	67	36	0	0	27	40
45		A-6	2	40	0	Mold	50	3	52	63	46	0	0	7	16
46		A-6	2	40	0	Cut	35	3	47	41	49	0	0	2	1
47		A-6	4	45	10	Cut	35	3	51	52	17	0	0	37	36
48	Touhutonai	A-7	45	40	5	Cut	30	1	37	48	14	0	4	37	38
49		A-7	39	40	15	Mold	35	4	65	65	27	5	13	40	43
50		A-7	33	40	5	Cut	35	4	40	48	30	10	0	14	16
51		A-7	9	40	10	Cut	40	1	54	39	38	6	6	23	4
52		A-7	4	40	20	Mold	65	1	74	76	34	7	9	46	49
53		A-7	1	40	15	Cut	35	6	62	60	29	3	5	37	32
54	Obana	A-4	89	35	0	Cut	50	0	42	40	24	9	5	24	21
55		A-2	82	35	0	Cut	50	5	42	38	44	12	14	9	5
56		A-2	82	35	0	Cut	45	3	40	48	30	13	10	14	16
57		A-2	82	35	0	Cut	20	0	30	26	26	6	3	8	8
58		A-4	42	30	0	Mold	70	2	76	74	34	6	9	49	46
59		A-7	5	35	0	Cut	80	1	60	62	29	37	7	32	37
60	Okuhoronai	A-2	99	45	0	Cut	35	7	51	53	41	4	6	12	14
61		A-7	99	45	0	Cut	35	1	61	50	31	2	5	33	27
62		A-7	99	45	0	Cut	35	6	47	41	35	3	4	16	10
63		A-7	99	45	0	Cut	35	4	44	68	14	6	3	40	56
64		A-2	99	45	0	Cut	40	2	54	57	51	0	3	6	9
65		A-2	99	45	0	Cut	30	8	58	58	41	7	7	19	25
66	Otappe	A-2	54	40	25	Mold	130	2	38	43	34	0	5	6	10
67		A-1	54	20	25	Cut	30	3	22	26	20	6	6	16	10
68		A-1	54	20	25	Cut	30	2	20	19	15	5	3	10	7
69		A-1	54	20	25	Mold	35	1	29	29	30	4	11	4	6
70		A-1	54	20	18	Mold	35	2	18	20	17	2	4	3	4
71		A-1	54	20	18	Cut	35	3	21	20	16	2	2	5	4
72	Azumagawa	A-1	5	40	5	Cut	30	3	35	23	33	6	8	2	0
73		A-7	5	30	5	Cut	25	1	44	41	31	10	2	27	19
74	Minamihoroka	A-6	15	40	0	Cut	20	0	61	70	35	3	5	26	41
75		A-2	9	40	0	Mold	40	3	69	68	47	2	1	11	17
76		A-2	9	40	0	Cut	40	1	43	40	45	1	1	0	0

Notice: The marks of table correspond to figure. III. 3

この表—III—2によれば、土の種類はAASHO法による分類でA-1~A-7のうちA-3を除いた6種類、通過した運材トラックの延べ重量(以後、トラック通過量と呼ぶ)は1,000 ton~99,000 ton, 設計の路盤厚は0 cm~50 cm, 補修の砂利厚は0 cm~43 cm, 路体構築の種類については切取工によるもの52件, 盛土工によるもの24件, 路面から側溝の低部までの深

さは 20 cm~70 cm, 盛土の高さは 30 cm~310 cm, 路面の縦断勾配は 0%~12%, 車輪通過部の路盤厚は 8 cm~95 cm, 路面中央部の路盤厚は 0 cm~82 cm, 路面の凹量(轍の深さ)は 0 cm~37 cm, 車輪通過部と路面中央部との路床線の高低の差は -5 cm~67 cm の範囲にあった。

2 路体の支持力

路体の支持力測定は, 現場 CBR 試験法と, 衝撃式地耐力試験法を併用した。後者による測定結果については, 試験方法が一般化されていない事もあり, この分析には CBR 試験による測定結果のみを採ることにした。

その測定結果を表一III-3 に示した。

表一III-3 路体の支持力測定結果
Table. III. 3. Bearing capacity of road body

Reference number	Name of road	Passed weight of truck (ton)	Kind of subsoil	Point of survey	Thickness of subbase (cm)		Vertical distance of road surface (cm)							
					0	7.0	5	10	20	30	40	50	70	
1	Azumagawa	8,000	A-5	Center	0.0	7.0	7.7	5.9	7.0	3.9	3.3	3.6	4.6	
				Rut	42.0	65.0	39.0	23.0	19.0	4.2	5.6	4.2	5.0	
2		8,000	A-4	Center	15.0	23.0	19.0	5.9	9.3	3.0	2.8	4.2	3.3	
				Rut	54.0	115.0	60.0	17.0	11.5	14.0	7.0	7.7	5.4	
3		8,000	A-1	Center	20.0	19.0	2.3	4.0	9.3	14.0	9.3	10.5	5.9	
				Rut	35.0	105.0	37.0	46.0	15.0	8.5	4.6	12.5	5.4	
4		6,000	A-2	Center	34.0	16.0	5.9	9.5	9.5	10.5	4.2	3.9	3.0	
				Rut	30.0	90.0	32.0	23.0	15.0	11.5	5.0	3.9	3.0	

第5節 路盤厚の検討

1 垂直横断面

既設林道の路体内部の状態は, その林道の作設時の状態に対し断面調査時までには諸種の作用が働いた結果生じたものである。したがってその断面から, 路体構造に関する情報や, この調査の目的である路床の支持力に影響を及ぼす要因についての情報も得られるはずである。この節では, 路体構造に関する情報について検討する。

2 設計路盤厚と実際の路盤厚

設計路盤厚・補修砂利厚と, 実際の路盤厚とは一致しない場合が多い。設計路盤厚および補修砂利厚が, 実際の路盤厚にどの様にかかわっているか知るため, 設計路盤厚・補修砂利厚と実際に垂直横断面において測定した路盤厚との関係について, 次のように重回帰方程式を導き, その関係を分析した。

$$Y_R = 1.149 X_1 + 0.592 X_2 \quad (\text{III}-1)$$

$$R = 0.936, \text{ df} = 2, 20, F = 70.70$$

$$X_1 : t=7.481, P=0.000, X_2 : t=4.481, P=0.000$$

$$Y_c = 0.799 X_1 + 0.261 X_2 \quad (\text{III}-2)$$

$$R=0.971, df=2, 20, F=21.72$$

$$X_1 : t=25.443, P=0.000, X_2 : t=1.499, P=0.140$$

但し, Y_R : 車輪通過部の路盤厚の推定値 (cm)

Y_c : 中央部の路盤厚の推定値 (cm)

X_1 : 設計路盤厚 (cm), X_2 : 補修砂利厚 (cm)

この結果, 車輪通過部の路盤厚は, 設計路盤厚の 115%, 補修砂利厚の 59% から構成されているが, 中央部の路盤厚に関しては, それぞれ 80% と 26% となっている。

3 路面の凹量

林道の良否を判断する要素の一となる路面の凹量について検討した。第1章, 第2章で述べたように, 路面支持力に影響を及ぼす要因として, トラック通過量, 側溝の深さ, 路面の縦断勾配がある。また降雨量, 気温等の気象条件に対応する要因として, 路盤厚をあげることができる。これらの要因から路面の凹量を推定する重回帰方程式を導いた結果, 次式を得た。

$$Y_s = 16.59 - 0.119 X_1 - 0.0722 X_2 + 0.0651 X_3 - 0.829 X_4 \quad (\text{III}-3)$$

$$R=0.661, df=4, 17, F=3.30$$

$$X_1 : t=-2.689, P=0.016, X_2 : t=-2.200, P=0.041$$

$$X_3 : t=2.080, P=0.053, X_4 : t=-1.786, P=0.092$$

但し, Y_s : 路面凹量の推定値 (cm)

X_1 : トラック通過部の路盤厚 (cm)

X_2 : 側溝の深さ (cm)

X_3 : トラック通過量 (10³ton), X_4 : 縦断勾配 (%)

この結果から, 路面の凹量は路盤厚, 側溝の深さ, 縦断勾配が大きいほど小さく, トラックの通過量が大きいほど大きい値をとることになり, 今までに得られた結果と矛盾しない。

第6節 路体の支持力

1 路体支持力

表一III-3に示した測定結果に基づき, 林道の重要な用途であるトラック運材に必要なとされる林道路体の支持力^{78,79)}について検討した。

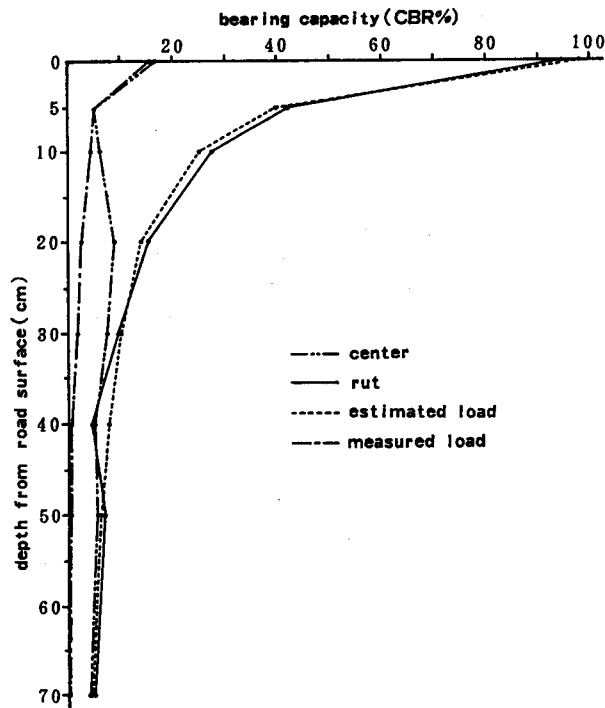
測定の対象にした林道は, トラック通過量 6,000 トン以上の林道であり, 第2章の結果からみても, この4個のいずれの調査個所とも一応安定した路体に達していると考えられる路体で, トラックの車輪通過部の支持力と通過の殆どない中央部の支持力では, 路面から下方 30 cm までは支持力に差があるが, それ以上の深さでは殆ど差がない。このことは車輪通過による路体の締め固作用⁶⁷⁾は, 路面から下方 30 cm までの部分に大きな影響を与えていることを示している。

2 輪荷重との関係

林道路体が持っている支持力と、第1章で測定した輪荷重との関係を見ると、路盤の融解期間を含めて年間を通じて運材に使用される林道では、中央部の路体の支持力は、トラック通過の際に必要なとされる輪荷重と大きな違いはないが、轍部の支持力は、トラック通過の際に必要なとされる輪荷重の5倍から8倍の支持力を持っている。路面からの深さと、それに対応する支持力の値を表一III-4に示す。この関係を図示すると図一III-4となる。ちなみに路面の深

表一III-4 実測値と回帰式から推定した路体の支持力
Table. III. 4. Bearing capacity of road body estimated from surveyed value and regression

Item	Vertical distance from road surface (cm)							
	0	5	10	20	30	40	50	70
	CBR (%)							
Surveyed center	16.3	5.3	6.3	8.8	7.8	4.9	5.6	4.2
Rut	93.8	42.0	27.3	15.1	9.6	5.6	7.1	4.7
(1) Estimated rut	98.0	39.8	24.9	14.3	10.0	7.7	6.3	4.6
(2) Earth pressure	15.4	5.4	4.4	2.5	1.9	0.6	0.5	0.1
(1)/(2)	6.4	7.8	6.2	6.0	5.1			



図一III-4 路面よりの深さ別の路体支持力

Fig.III.4. Bearing capacity of roadbed on various depth from road surface.

さから、それぞれの深さでの支持力を推定する回帰式を導くと次式が得られた。

$$\text{RCBR} = 0.0102 + 0.00299 D \quad (\text{III-4})$$

$$R = 0.964, \text{ df} = 22, F = 79.12, t = 8.895$$

但し、RCBR：車輪通過部の支持力の逆数 (CBR (%))

D：路面からの深さ (cm)

図一III-4から、この推定値は、実測値と良く合致していることがわかる。

第7節 適正路盤厚の推定

1 推定方法

この調査の対象となった林道は、先にも述べたように年間を通じてトラック運材に利用されている林道である。したがって、測定した横断面の轍部の路盤厚は、年間を通じてトラック運材の利用に耐えられる路盤厚と考えることができる。

この路盤厚の形成に係わった要因としては、路床土の種類、路盤構築の種類、縦断勾配、側溝の深さが考えられる。またこの路盤厚が適正かどうかの判断要因として、路面の凹量が考えられる。この路面の凹量を生じさせた要因として、トラック通過量が考えられる。これらの諸要因が路盤厚とどのような関係にあるかを検討することによって、種々の路体構造の条件に適した路盤厚が推定できるものと考えた。

検討するための分析は、車輪通過部の路盤厚を外的基準とする数量化分析I類⁵⁶⁾の手法によって行った。

各要因の範疇¹⁶⁾は、要因の平均値と標準偏差によって表一III-5のように設定した。またこの範疇による数量化分析の結果を表一III-6に示す。

表一III-5 適正路盤厚に関する数量化分析の要因と範疇
Table. III. 5. Items and categories for quantitative analysis on optimum subbase thickness

Item	Categories		
	1	2	3
Passed weight of track (ton×10 ³)	0 ~ 6.8	6.9~65.0	65.1~ 99
Kind of subsoil	Gravel	Sandy soil	Silt & clay
Kind of roadbed	Cutting	Molding	
Longitudinal slope (%)	0 ~ 2.7	2.8~ 5.5	5.6~ 12
Depth of ditch (cm)	0 ~20.4	20.5~64	65 ~310
Concave of road surface (cm)	0 ~ 2.1	2.2~ 9.7	9.8~ 23

表—III—6 適正路盤厚推定の数量化分析結果
 Table. III. 6. Result of quantitative analysis on optimum subbase thickness

Item	Categories	Partial regression coefficient	Partial correlation coefficient
Pass weight of truck (ton×10 ³)	1	-2.855	0.488
	2	-2.095	
	3	2.968	
Kind of subsoil	1	-18.203	0.797
	2	-0.793	
	3	9.102	
Kind of subbase	1	-0.652	0.366
	2	1.413	
Longitudinal slope (%)	1	2.277	0.411
	2	-0.434	
	3	-2.271	
Depth of ditch (cm)	1	2.963	0.403
	2	-5.098	
	3	-0.228	
Cocave of Road surface (cm)	1	3.691	0.481
	2	-0.145	
	3	-6.110	
Multiple correlation coefficient			0.832
Mean of subbase thickness (cm)			46.50

Notice: Number of category corresponds to table. III. 5.

2 分析結果

重相関係数は0.832であり、分析結果は検討に耐える値と考える。偏相関係数については、路盤厚に最も大きな影響を及ぼす要因は路床土の種類0.797で、その他の要因のそれは、0.366~0.488と同じ程度に小さい。

また偏回帰係数の欄から各要因毎のそれぞれの範疇の推定値を与える数値をみると、トラック通過量が大きいと、大きい路盤厚を要することがわかる。路床土の種類では、礫砂、砂質土、粘性土³⁾の順に大きな路盤厚を要する。路床構築の種類では、盛土工の方が切取工より大きい路盤厚を要する。路面の縦断勾配では、それが緩いほど大きい路盤厚を要する。路面の凹量は、それが小さい方が大きい路盤厚を要する。側溝の深さでは、中と深が今までの検討結果と逆転しているが、深はすべて盛土工の場合の盛高の影響を受けているからであると考えられる。それ以外は、今までに得られた結果と矛盾はない。

3 適正路盤厚

この分析から得た結果は、既にトラック運材に利用されている13路線の林道を対象に、76件の断面調査から得られた結果であり、路面の凹量に関する要因も分析に加えてあり、トラック運材用林道の適正路盤厚についての情報を提供すると考える。路体の構造等、条件別の適正路盤厚は、各要因の条件に合う範疇の偏回帰係数値を表一III-6から選び、その値を路盤厚の平均値に加えることによって得られる。

偏回帰係数の差の大きな、路床土の種類別・路面凹量別の路盤厚は表一III-7となる。こ

表一III-7 路床土の種類と路面の凹量別の路盤厚
Table. III. 7. Thickness of subbase by different kind of subsoil and convex of road surface

Kind of subsoil		Convex of road surface (cm)		
		0 ~ 2.1	2.2 ~ 9.7	9.8 ~ 23.0
Garavel	Min. (cm)	21.1	17.3	11.3
	Max. (cm)	41.6	37.8	31.8
Sandy soil	Min. (cm)	38.5	34.7	28.7
	Max. (cm)	59.0	55.2	49.2
Silt and clay	Min. (cm)	48.4	44.6	38.6
	Max. (cm)	68.9	65.1	59.4

の表から、最小の路盤厚は、11.3 cmで、その条件はトラック通過量が6,800トン以下で、路床土が礫砂、路体構築が切取工、路面の縦断勾配が2.7~5.5%、側溝の深さが20.4~64 cm、路面凹量が9.7~23 cmの組合せの場合である。反対に最大の路盤厚は、68.9 cmで、その条件はトラック通過量が65,000トン以上で、粘性土、盛土工、縦断勾配が2.7%以下、側溝が20.4 cm以下、路面凹量が2.1 cm以下の組合せの場合である。

要因間では、路床土の種類の違いによる適正路盤厚の差のうち、礫砂と粘性土の間の差27.3 cmが最大で、つぎに大きい差は、路面凹量の9.8 cmである。

各条件の組合せに対する適正路盤厚を、設計路盤厚と補修路盤厚に換算することは、式III-1を使って行うことができる。すなわち、トラック通過部の路盤厚は、設計路盤厚の1.149倍と補修砂利厚の0.592倍の和となる。

第8節 簡易横断面調査法

今後前節までに述べたような調査を行う場合は、分析結果を基にして、次の様に簡易化した調査法を用いれば、実用上充分である。

1) 必ず供用開始後の林道を対象にする。新設直後の林道では、路体全体が落ち着いていないので、正確な分析がおこなわれ難い。

2) 垂直横断面の作成は、路体の中心部を含めた、道路中心線の右側または左側だけについて行う。

3) 路床土の区分は篩だけで区分可能な三区区分とする。すなわち、 74μ の篩通過重量25%以下をAASHO法でA-1(礫砂)、同じく26%~35%をA-2(砂質土)、36%以上A-4~7(粘性土)に区分する。

4) 路床線の最高点と最低点との高低差は、最大路盤厚-最小路盤厚+路面凹量で計算できるので、垂直横断面での調査は、最小と最大の路盤厚の測定だけにする。

5) 幅員が一車線の林道では、大抵の場合、最大路盤厚は車輪通過部と一致し、最小路盤厚は幅員の中央部の位置と一致するので、さらに簡易化したい場合は、車輪通過部と中央部に路盤厚が測定出来る穴を掘って測定する。

6) 路盤測定位置の前後の路面の凹量、側溝の深さ、縦断勾配の計測をする。

7) その他、林道に関する、設計路盤厚、補修砂利量、運材量等の資料を使用する。

第4章 低温を利用した林道路盤の作設

第1節 研究の手法

北海道の森林地帯は、他府県に比較して緩傾斜地の割合が大きく、また冬期間気温が低い。土壌^{34,57)}は、氷点下の低温では凍結により強度を増すことが知られている。この利点を生かして、冬期間だけ運材等に利用可能な砂質土の林道路盤を作設する方法について検討した。

まず、土壌は低温で、運材トラックの通過に耐え得る凍結強度を発揮するかどうかを、温度との関係で実験した。

次に外気温度と地中温度との関係、及び積雪が地中温度に及ぼす影響を調査して、外気温度を林道路盤の強度増加に効率的に利用する路盤作設法を開発した。

さらに外気温度から地中温度を推定し、それに基づいて低温外気の林道路盤強化作用を利用できる期間を推定する方法を検討した。

第2節 凍結による土の強度変化

1 実験方法

地中温度測定のために設定した試験路盤から、室内CBR試験のための路盤供試体を採取した。層構造が乱されていない供試体の資料を得るため、打ち込み式カッターで路盤を打ち抜き、それをCBR試験用モールドに入れ替えた。供試体は、三個用意した。

強度測定は、低温室で $+0.25^{\circ}\text{C}$ から -15.0°C の温度の範囲で行った。各測定温度の空気に供試体を3時間曝露した後に強度を測定し、その温度での測定値とした。

強度の測定は、室内CBR試験法³⁾で行ない、貫入量2.5mmにおける値をとった。

2 実験結果

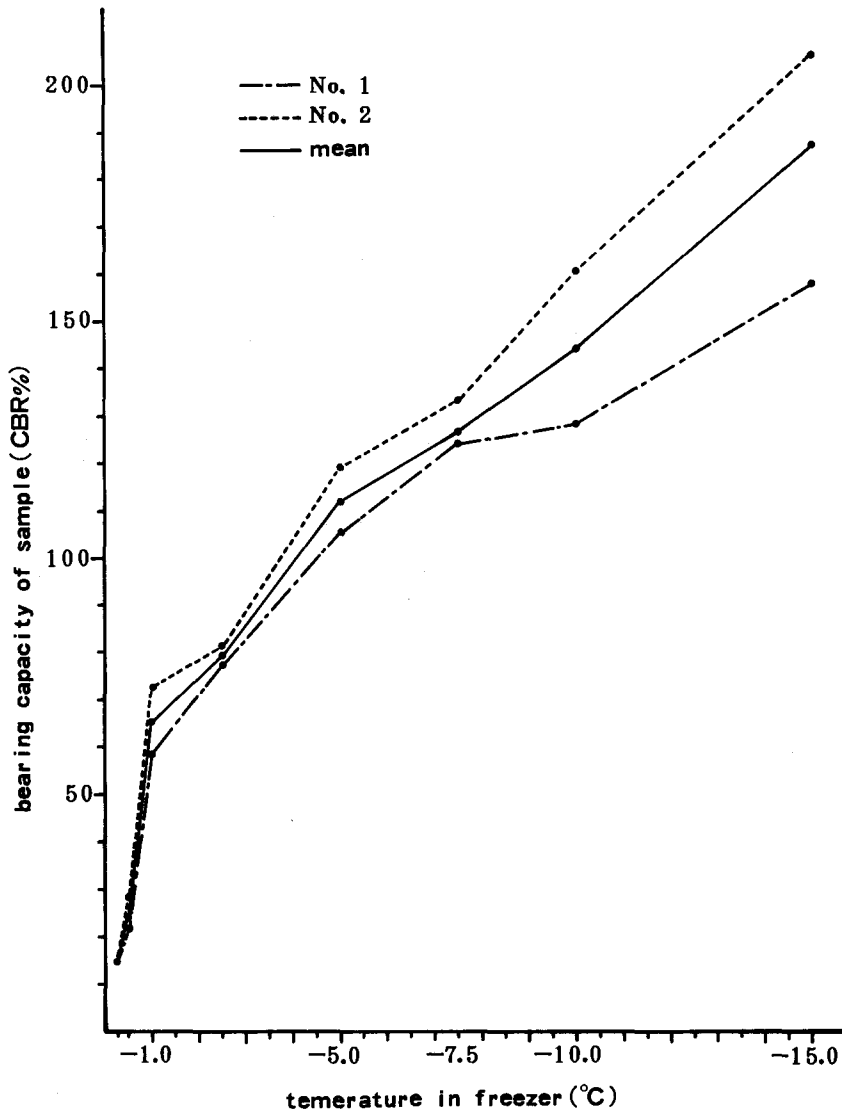
この実験に使用した路盤の土の性状を表IV-1に示す。この土の性状は、森林地帯の砂質土として、極めて一般的なものである。

各温度での供試体の強度の測定結果を表IV-2に示す。また供試体の温度別凍結強度を

表—IV—1 地中温度測定路盤の土の性状

Table. IV. 1. Properties of soil in subbase measuring temperature

Classification of soil By AASHO	Technological quality of soil		
	Plasticity index	Specific gravity	Maximum dry density
A-2	13.4%	2.735g/cm ³	1.322g/cm ³



図—IV—1 供試体の温度別凍結強度

Fig. IV.1. Freezing capacity of samples for subsoil on various temperature.

表一IV-2 供試体の強度
Table. IV. 2. Strength of samples from subsoil

Sample No.	1	2	3	Mean
Moisture content (%)	56.6	62.1	64.6	61.1 (59.4)
Temperature	(CBR %)			
of freezer (C°)				
-0.25	14.6	15.3	17.2	15.7 (15.0)
-0.5	21.9	28.5	27.3	25.9 (25.2)
-1.0	58.7	72.4	79.2	70.1 (65.2)
-2.5	77.6	81.2	82.1	80.3 (79.4)
-5.0	105.2	119.1	180.8	135.0 (112.2)
-7.5	120.4	133.2	-	126.3 (126.3)
-10.0	128.1	160.2	-	144.1 (144.1)
-15.0	167.9	206.0	-	187.0 (187.0)
At melting	2.9	2.9	-	2.9 (2.9)

Notice: Values in parenthesis are the average of sample No. 1 and 2.

図一IV-1に示す。

供試体の強度は、同一個体では低温室内の温度が低いほど大きかった。

第3節 地中温度の測定

1 測定のための路盤の作設

外気温度と地中温度との関係、及び、地中温度に対する積雪の影響を明らかにするために、北海道大学雨龍地方演習林母子里作業所構内の平坦地に、幅9mの砂質土路盤を作設した。そのうちの幅6m、長さ20mの部分を普通の林道路盤とみなし、降雪の都度その全面にわたり路面まで完全に除雪して、これを土壌凍結による路盤の温度変化についての測定対象とした。この場所の土の種類等は表一IV-1に示した。

除雪幅を6mとしたのは、林道側方の積雪の影響を、除雪された路面の外端すなわち積雪際から0m、1.5m、3.0mの位置で知るためであり、また長さを20mとしたのは、これだけの長さがあれば、林道の縦方向からの積雪の影響を避けることが出来ると考えたからである。

2 外気および地中温度の測定

外気温度と地中温度の測定は、図一IV-2に示した位置に合計12本の温度測定用の測温体を埋設して、その箇所の温度を自記温度記録計で記録させる方法によった。これによって外気温度、積雪に覆われた路面と露呈した路面、積雪際から0m、1.5m、3.0mの位置の路盤のそれぞれについて、路面下10cm、30cm、60cmの深さでの温度を測定できる。

1972年11月17日に30cmの積雪を除雪して路面を露呈させ、測温体を所定の位置に埋設し、翌18日から測定を初め、各測定箇所の温度が全て0°Cになった1973年5月8日まで継続して測定した。路面は降雪の都度除雪して、常に露呈させるようにした。

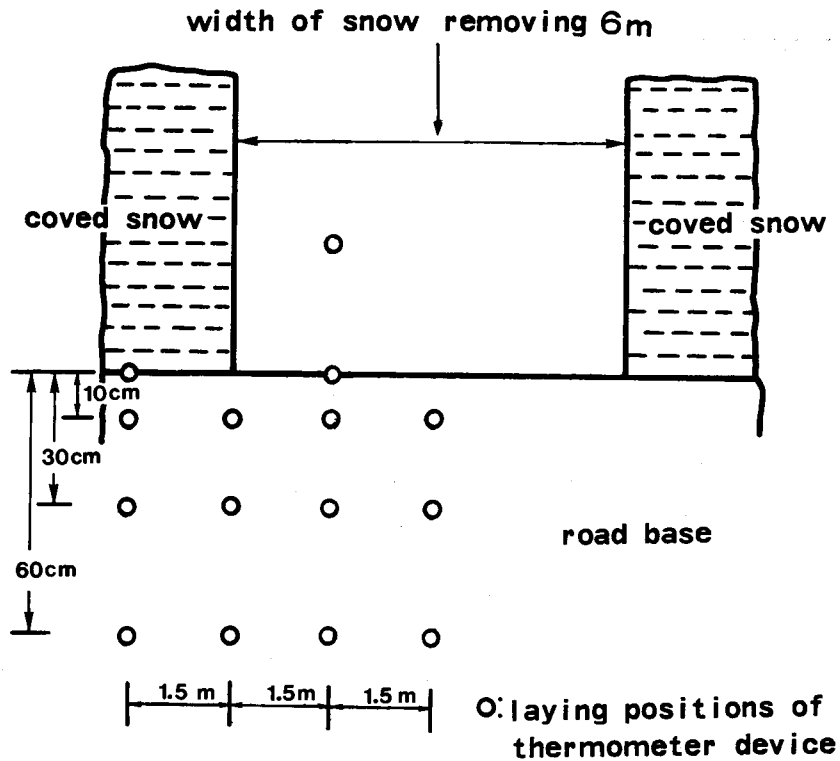


図-IV-2 温度測定位置図

Fig.IV.2. Measuring points of temperature.

3 測定結果

測定結果の概要を表-IV-3に示す。測定箇所のうち、積雪際で路面下60cm、積雪際から3mで路面下60cm、および積雪際から1.5mで路面、の3箇所の測温体は測定期間中に故障した。

積雪中の路面の温度は、積雪深が12cm以上では常に 0°C と一定であった。積雪際から1.5mで路面下60cmでは、全測定期間を通じて 0°C 以下にはならなかった。

各測定位置の、最初に 0°C に達した日及び 0°C 以下に達した日、再度 0°C に達した日及び 0°C 以上に達した日のそれぞれの積算温度、除雪からの経過日数を表-IV-4に示した。

表一IV-3 各位置の温度測定結果
Table. IV. 3. Temperatures at different points

Progressive days from setting to thermometer (1 = 1972.11.18)	Temperature (°C) on position of r _{3.0j} m from snow cover and r _{10j} cm under road surface					Mean temperature (°C)	Accumulated temperature (°C × hours)	Note	
	3.0	30	1.5	10	30				
1	1.8	3.0	1.5	3.5	2.3	3.8	-5.3	-40	Nov. 18, '72
2	1.5	3.0	1.3	3.3	2.0	3.5	-4.7	-164	
3	1.5	3.0	1.3	3.3	2.0	3.5	-7.9	-490	
4	1.3	2.8	0.8	3.3	2.0	3.5	-2.2	-640	
5	1.0	2.5	0.5	2.8	1.8	3.3	-1.3	-596	
6	1.0	2.5	0.5	2.8	1.8	3.3	-6.9	-754	
7	1.0	2.5	0.8	2.8	1.8	3.0	0.4	-813	
8	1.0	2.3	0.8	2.5	1.8	3.0	0.3	-791	
9	1.0	2.3	0.8	2.5	1.8	3.0	-4.6	-819	
10	1.0	2.3	0.8	2.5	1.8	3.0	-5.5	-1,023	
11	1.0	2.3	0.5	2.5	1.8	2.8	1.1	-1,010	
12	1.0	2.3	0.5	2.5	1.8	2.8	-1.1	-1,027	
13	1.0	2.3	0.5	2.3	1.8	2.8	-2.7	-1,095	
14	1.0	2.3	0.8	2.3	1.5	2.7	0.1	-1,096	
15	1.0	2.3	0.8	2.3	1.5	2.8	-1.1	-1,113	
16	1.0	2.0	0.8	2.3	1.5	2.8	-2.1	-1,154	
17	0.8	2.0	0.8	2.3	1.5	2.8	0.1	-1,185	
18	0.8	2.0	0.8	2.3	1.5	2.8	1.2	-1,170	
19	0.8	2.0	0.8	2.3	1.5	2.8	-3.0	-1,171	
20	0.8	2.0	0.5	2.3	1.3	2.8	-6.3	-1,328	
21	0.8	2.0	0.5	2.3	1.3	2.5	-2.7	-1,369	
22	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.5	-3.1	-1,504	
23	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.3	-2.0	-1,538	
24	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.3	-2.9	-1,652	
25	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.3	1.0	-1,653	
26	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.3	-8.2	-1,707	
27	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.3	-9.3	-1,936	
28	0.8	2.0	0.5	2.0	1.3	2.3	-6.2	-2,136	
29	0.8	2.0	0.3	2.0	1.0	2.3	-0.8	-2,220	
30	0.8	2.0	0.5	2.0	1.0	2.3	-2.2	-2,246	

31	0.8	2.0	0.5	2.0	1.0	2.3	-4.5	-2,317	
32	0.8	2.0	0.5	2.0	1.0	2.3	-8.1	-2,480	
33	0.8	2.0	0.5	2.0	1.0	2.3	-8.9	-2,670	
34	0.8	1.8	0.5	1.8	1.0	2.3	-11.4	-2,886	
35	0.8	1.8	0.3	1.8	1.0	2.3	-8.2	-3,123	
36	0.8	1.8	0.3	1.8	1.0	2.0	-7.6	-3,299	
37	0.5	1.8	0.3	1.8	1.0	2.0	-16.2	-3,595	
38	-0.3	1.8	0	1.8	0.8	2.0	-13.9	-3,843	3.0-10 freeze
39	-0.3	1.8	-0.5	1.8	0.8	2.0	-13.6	-4,263	1.5-10 freeze
40	-0.5	1.5	-0.5	1.5	0.8	2.0	-4.1	-4,352	
41	-0.3	1.3	-0.8	1.3	0.8	1.8	-3.9	-4,452	
42	-0.3	1.3	-0.5	1.3	0.5	1.8	-2.0	-4,488	
43	-0.5	1.3	-0.5	1.3	0.8	1.8	-7.8	-4,622	
44	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-6.5	-4,694	Jan. 1, '73
45	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-2.4	-4,904	
46	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-0.6	-4,928	
47	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-9.3	-5,026	
48	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-9.2	-5,077	
49	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-6.5	-5,463	
50	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-6.2	-5,403	
51	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-14.5	-5,803	
52	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-10.3	-6,181	
53	-0.3	1.3	-0.3	1.3	0.8	1.8	-4.6	-6,264	
54	-0.5	1.3	-0.5	1.3	0.8	1.8	-7.9	-6,431	
55	-0.5	1.3	-0.5	1.3	0.8	1.8	-4.6	-6,510	
56	-0.8	1.0	-0.5	1.0	0.5	1.8	-12.8	-6,654	
57	-4.0	1.0	-3.0	1.0	0.5	1.8	-22.6	-7,115	
58	-4.8	1.0	-4.3	1.0	0.5	1.8	-14.4	-7,570	
59	-2.0	0.8	-2.0	0.8	0.3	1.5	-10.1	-7,146	
60	-1.3	0.8	-1.3	0.8	0.3	1.5	-7.1	-7,961	
61	-1.0	0.8	-1.3	0.8	0.3	1.5	-11.9	-8,121	
62	-3.5	0.8	-3.0	0.8	0.3	1.5	-12.3	-8,379	
63	-4.5	0.8	-4.3	0.8	0.0	1.5	-14.3	-8,647	
64	-3.0	0.5	-3.0	0.5	0.0	1.3	-6.2	-8,984	
65	-2.0	0.5	-2.0	0.5	0.0	1.3	-17.1	-9,239	
66	-1.5	0.5	-1.5	0.5	0.0	1.3	-16.1	-9,549	
67	-2.5	0.5	-2.8	0.5	0.0	1.3	-3.4	-9,751	
68	-1.3	0.3	-1.5	0.3	0.0	1.3	-1.9	-9,748	
69	-1.5	0.3	-1.5	0.3	0.0	1.3	-6.8	-9,831	
70	-2.0	0.3	-1.5	0.3	0.0	1.3	-15.4	-10,057	0.0-10 freeze
71	-6.8	0.3	-6.8	0.3	-1.0	1.3	-20.8	-10,583	3.0-30 freeze
72	-4.3	-0.3	-4.3	0.0	-1.0	1.0	-14.6	-10,933	
73	-3.0	-0.3	-3.0	0.0	-1.0	1.0	-8.5	-11,180	
74	-2.3	-0.3	-2.3	0.0	-0.5	1.0	-14.2	-11,406	
75	-3.3	-0.3	-3.3	-0.3	-0.8	1.0	-6.5	-11,671	1.5-30 freeze
76	-2.3	-0.3	-2.3	-0.3	-0.5	1.0	-8.9	-11,771	Feb. 1, '73
77	-2.0	-0.3	-2.0	-0.3	-0.5	1.0	-11.9	-12,119	
78	-2.0	-0.3	-2.0	-0.3	-0.3	1.0	-14.6	-12,329	
79	-6.5	-0.5	-5.8	-0.3	-0.8	1.0	-16.8	-12,810	
80	-4.0	-1.0	-4.0	-0.5	-1.5	0.8	-7.8	-13,039	

81	-2.3	-0.8	-2.5	-0.5	-1.0	0.8	-2.0	-13,071	
82	-1.5	-0.5	-1.8	-0.5	-0.5	0.8	-8.3	-13,140	
83	-3.8	-0.5	-2.3	-0.5	-0.5	0.8	-19.3	-13,464	
84	-6.0	-1.3	-5.5	-1.8	-0.5	0.8	-15.6	-13,851	
85	-4.5	-1.5	-4.0	-1.8	-0.8	0.8	-10.5	-14,150	
86	-3.3	-1.3	-3.0	-1.3	-0.8	0.5	-10.6	-14,333	
87	-3.0	-1.0	-2.5	-1.0	-0.5	0.5	-13.7	-14,591	
88	-3.3	-1.0	-3.0	-1.8	-0.8	0.5	-15.8	-14,829	
89	-4.5	-1.5	-4.0	-1.8	-1.0	0.5	-13.5	-15,094	
90	-6.5	-1.8	-5.5	-2.0	-1.0	0.5	-12.2	-15,457	
91	-3.5	-1.8	-3.5	-1.5	-1.3	0.5	-8.5	-15,506	
92	-6.5	-2.0	-5.5	-2.0	-1.3	0.5	-10.2	-15,756	
93	-2.8	-1.8	-3.3	-1.3	-1.3	0.5	-10.1	-15,776	
94	-2.3	-1.0	-1.3	-0.3	-0.8	0.5	-5.9	-15,837	
95	-2.0	-0.8	-2.5	-0.5	-0.5	0.5	-5.6	-15,938	
96	-1.5	-0.5	-2.3	-0.8	-0.5	0.5	-9.3	-16,064	
97	-1.3	-0.5	-2.0	-1.0	-0.8	0.3	-4.0	-16,212	
98	-1.3	-0.5	-1.5	-0.5	-0.8	0.3	-2.5	-16,242	
99	-1.0	-0.3	-1.5	-0.5	-0.5	0.3	-11.7	-16,356	
100	-1.5	-0.8	-1.8	-1.0	-0.5	0.3	-15.1	-16,694	
101	-1.5	-0.8	-1.8	-1.0	-0.5	0.3	-8.1	-16,885	
102	-1.0	-0.5	-1.5	-0.8	-0.5	0.3	-4.5	-17,071	
103	-1.0	-0.3	-1.8	-0.8	-0.5	0.3	-6.7	-17,135	
104	-1.3	-0.3	-1.8	-1.0	-0.5	0.3	-10.9	-17,358	Mar. 1, '73
105	-1.5	-0.3	-2.0	-0.8	-0.5	0.3	-10.9	-17,545	
106	-3.0	-5.0	-3.0	-1.3	-0.5	0.3	-13.1	-17,852	
107	-2.0	-0.5	-2.3	-1.5	-0.8	0.3	-11.9	-18,072	
108	-1.8	-0.5	-2.3	-1.5	-1.0	0.3	-11.2	-18,322	
109	-3.5	-1.0	-4.0	-1.8	-1.0	0.3	-6.5	-18,483	
110	-2.8	-1.0	-3.0	-1.3	-1.0	0.3	-6.5	-18,580	
111	-2.8	-1.0	-2.8	-1.3	-1.0	0.3	-8.1	-18,735	
112	-2.0	-1.0	-2.5	-1.3	-1.0	0.3	-4.8	-18,864	
113	-2.3	-1.0	-2.3	-1.3	-1.0	0.3	-10.6	-19,021	
114	-2.5	-1.0	-2.5	-1.5	-1.0	0.0	-16.5	-19,407	
115	-3.0	-1.0	-3.0	-1.8	-1.0	0.0	-17.3	-19,815	
116	-3.3	-1.3	-3.3	-2.0	-1.0	0.0	-7.8	-20,036	
117	-2.3	-1.0	-2.5	-1.5	-1.0	0.0	-10.8	-20,146	
118	-2.0	-1.0	-2.0	-1.5	-1.0	0.0	-18.9	-20,574	
119	-2.0	-0.8	-2.0	-1.8	-0.8	0.0	-14.1	-20,870	
120	-2.5	-0.8	-2.0	-2.0	-0.8	0.0	-13.6	-21,148	
121	-2.8	-0.8	-1.8	-1.8	-0.8	0.0	-9.4	-21,365	
122	-2.0	-0.8	-1.8	-1.0	-0.8	0.0	-10.6	-21,520	
123	-3.0	-0.8	-1.8	-1.8	-0.8	0.0	-10.6	-21,693	
124	-2.0	-1.0	-1.8	-1.5	-0.8	0.0	-7.1	-21,808	
125	-1.8	-0.8	-1.5	-0.8	-1.5	-0.3	-8.9	-21,980	0.0-30 freeze
126	-1.5	-0.5	-2.0	-0.5	-0.5	0.0	-3.8	-22,077	0.0-30 freeze end
127	-1.0	-0.5	-1.3	-0.5	-0.5	0.0	-3.0	-22,073	
128	-1.0	-0.3	-1.3	-0.5	-0.8	0.0	-9.6	-22,181	
129	-1.5	-0.3	-1.5	-0.5	-1.5	0.0	-10.7	-22,460	
130	-2.0	-0.5	-2.0	-0.5	-1.8	0.0	-5.4	-22,679	

131	-1.0	-0.5	-1.8	-0.5	-1.5	0.0	-4.5	-22,834	
132	-1.3	-0.5	-1.5	-0.5	-0.3	0.0	-1.8	-22,896	
133	-0.5	-0.3	-1.0	-0.3	-0.3	0.0	-6.3	-22,849	
134	-0.3	-0.3	-0.8	-0.3	-0.3	0.0	-0.3	-22,836	3.0-30 freeze end
135	-0.3	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	1.9	-22,777	Apr. 1,'73 30-10 freeze end
136	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	0.5	-22,732	
137	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	-2.2	-22,756	
138	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	0.4	-22,767	
139	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	-1.1	-22,742	
140	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	-0.3	-22,748	
141	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	0.0	0.2	-22,774	
142	0.0	0.0	-0.3	0.0	-0.3	0.0	4.1	-22,694	
143	0.0	0.0	-0.3	0.0	-0.3	0.0	1.0	-22,614	
144	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	7.7	-22,551	
145	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	4.4	-22,497	
146	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	-22,375	1.5-10 freeze end
147	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	-22,396	
148	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	-22,289	
149	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	-22,270	
150	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	-22,265	
151	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	-22,152	
152	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	-22,081	
153	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	-22,025	
154	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	-21,853	
155	3.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	4.9	-21,804	
156	5.3	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	8.0	-21,616	
157	4.3	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	2.9	-21,452	
158	3.3	0.0	0.8	0.0	0.8	0.0	2.0	-21,413	
159	2.8	0.3	0.8	0.0	0.8	0.0	1.7	-21,316	
160	3.3	0.3	1.3	0.0	1.0	0.0	2.8	-21,238	
161	3.8	0.3	2.0	0.0	1.5	0.0	1.7	-21,152	
162	3.5	0.3	1.8	0.0	1.3	0.0	3.8	-21,089	
163	5.3	0.5	3.0	0.0	2.0	0.0	3.9	-20,989	
164	4.0	0.5	2.0	0.0	1.5	0.0	1.8	-20,922	
165	6.5	0.5	4.0	0.0	2.5	0.0	4.0	-20,876	May. 1,'73
166	7.5	1.0	4.8	0.0	3.3	0.0	3.3	-20,710	
167	5.8	1.5	3.8	0.0	3.0	0.0	3.0	-20,591	
168	4.8	1.3	2.8	0.0	2.0	0.0	3.5	-20,540	
169	6.5	1.5	4.3	0.3	3.0	0.0	8.2	-20,414	
170	7.5	2.0	5.3	0.5	3.8	0.0	7.4	-20,206	
171	8.0	2.5	5.8	0.8	4.3	0.0	7.4	-20,042	
172	7.5	3.3	5.5	1.5	4.8	1.5	10.2	-19,768	
173	10.5	3.5	8.0	2.0	7.0	2.5	8.2	-19,499	

Notice : 3.0-10 etc. shows temperature on 3.0m from snow cover and 10cm depth from road surface

表一IV-4 各測温部が凍結・融解に達した日の条件
 Table.IV.4. Accumlated temperature in subbase required to reach freezing or melting

Depth from road surface(cm)	Condition of temperature	Distance from snow cover					
		3.0		1.5		0.0	
		Accumulated temperature (°C×hour)	Passing days	Accumulated temperature (°C×hour)	Passing days	Accumulated temperature (°C×hour)	Passing days
10	Reached to 0°C	-3,843	38	-3,843	38	-8,647	63
	Reached to below 0°C	-3,843	38	-4,263	39	-10,583	71
	Re-reached to 0°C	-22,777	135	-22,375	146	-22,641	143
	(Difference from minimum accumulated temperature)	119	3	521	14	255	11
	Re-reached to over 0°C (Difference from minimum accumulated temperature)	-22,551	159	-21,804	155	-21,452	157
		345	27	1,092	23	1,444	25
30	Reached to 0°C	-10,933	72	-10,933	72	-19,407	114
	Reached to below 0°C	-10,933	72	-11,671	75	-21,808	125
	Re-reached to 0°C	-22,836	134	-22,836	134	-21,980	126
	(Difference from minimum accumulated temperature)	60	2	60	2	-916	-6
	Re-reached to over 0°C (Difference from minimum accumulated temperature)	-21,316	159	-20,414	169	-19,768	173
		1,580	27	2,482	37	3,128	41

第4節 凍結路盤の検討

1 土壌の凍結強度

土壌の凍結による強度に関し、表一IV-2 および図一IV-1 から凍結温度と供試体の強度の最小 CBR 値をみると、それぞれ -0.25°C で 14.6% であるが、-0.5°C で 21.9% と強度を増し、-1.0°C で 58.7% となる。

一方第1章の表一I-7によれば、車両が通過する際の輪荷重による土圧の最大値は、路面下 10 cm で 5.0 kg/cm²、路面下 30 cm で 3.4 kg/cm² との測定値を得ている。これらを CBR 値にそれぞれ換算すると 7.1%、4.9% となる。前記のとおり、実験で得た -0.25°C の凍結強度は 14.6%、であることから、路面下 10 cm の位置においては、地中温度が -0.25°C 以下になるならば、十分に運材トラックの通行に耐え得る路盤支持力が得られることになる。

2 地中温度と積算温度

土壌の凍結^{11,12,34)}は、その土壌が持っている熱的性質、外気と土壌との間の熱量の授受、および地中からその土壌に供給される熱量の係わり合いの結果として決まるものである。外気が土壌に与える熱量については、外気温度とその温度の持続時間を熱量と考えることができる。

したがって土壌凍結に及ぼす外気の影響を、外気温度とその持続時間の累計で表現させた。これを積算温度と称し、またマイナスで表示される積算温度を特に積算寒度^{4,18)}と称することにす

る。
表一IV-4によれば、路面下10 cmの地中温度が0°C以下に達するに要する積算寒度は、積雪際からの距離が離れる程小さく、除雪からの経過日数も同様に少ない。路面下30 cmの場合も同じである。これは、路盤側方の積雪の影響と考えることができる。ただし、積雪際直下の測定値と、それから1.5 m及び3.0 m離れた位置における測定値との差に比較して、積雪際1.5 mと3.0 mの間の差は小さい。

積雪際の方が凍結が遅いのは、積雪が外気に対して断熱作用を発揮するためと考えられる。このことは積雪下の路面は、測定期間全体を通じて0°Cであったことにより説明できる。

つぎに温度が0°C以下から再び0°Cに達した状態、すなわち土壌の融解が始まったと思われる状態での積算温度は、路面下10 cmでは積雪際から3 mのところでも最も大きく、次に積雪際直下、次に1.5 mの順になっている。このことは、外気温度が0°C以上になった場合も積雪の断熱作用により、積雪際から3.0 mでの地中温度が最も早く0°Cに達することで説明できるが、積雪際直下と1.5 mの位置では、経過日数の点で凍結の場合と逆になっている。この現象については、外気温度が0°C以下の場合と0°C以上の場合とでは、地中温度に対する地熱の係わり方が異なるのであろうと推察している。

路面下30 cmの地中温度が0°Cに再度達して、融解が開始されたと思われる日の到来は、積雪際において最も早く、最大積算寒度が生じる以前、すなわち外気温度がまだ0°C以下の時に到来している。積雪際から1.5 mおよび3.0 mの位置では、同じ日となっている。このような現象が起こるのは、路面下30 cmでは、積雪際直下の地中温度に対しては積雪の影響が大きいが、積雪際から1.5 mのところにおいても、3.0 mのところにおいても、積雪の断熱作用の影響の程度が比較的小さく、それぞれの距離によるその差が殆どないからであると思われる。

土壌の凍結および融解が完了している状態での地中温度は、日単位での外気温度と相関関係を有すると認められる。ただし、測定中の外気温度の範囲が10.2°Cから-20.8°Cであるのに対して、地中温度の範囲のは、積雪際から3.0 mで路面下10 cmの地点における10.5°Cから-6.8°Cが最大であり、とくに0°C以下ではその範囲が小さい。

3 運材林道の可能性

今までに述べた供試体の凍結試験で、表一IV-2に示したとおり凍結温度-0.25°CでCBR値の最も小さいものとして14.6%を得ている。この値は、運材トラックが砂質土路盤上を通過する場合の、路面における輪荷重による土圧にほぼ匹敵し、路面下10 cmで必要とされる支持力のCBR値である7.1%よりも大きい。なおここで述べた「路面における輪荷重による土圧」は、表一I-7の中の、路面からの垂直距離1 cmの位置での土圧の推定値10.8 kg/cm²であり、そのCBR値への換算値は15.4%である。

このことから、林道路盤が凍結して運材トラックの通過に耐える支持力を持っているか否かは、路面下 10 cm の地中温度が -0.25°C 以下であるか否かによって判断できる。凍結期間においては、路面下 10 cm 未満における地中温度は、路面下 10 cm のそれに比べてさらに低いから、本章第 4 節の 1 において述べたように、その支持力は運材トラックの通行に十分耐えられることになるからである。

4 路面の除雪幅

表—IV—4 から、路面下 10 cm が -0.25°C 以下になっている期間は、積雪際では 72 日、積雪際から 3.0 m で 97 日、積雪際から 1.5 m で 106 日となり、積雪際から 1.5 m での 106 日が最も長い。

この結果から路面の除雪幅について検討してみる。通過車輪が積雪際から 1.5 m の所を通過する場合に、運材に使用できる期間が最も長くなる。

運材用トラックの左右車輪の間隔は約 1.5 m でありそれから左右に 1.5 m ずつ除雪幅をとると、最も効率的な路面の除雪幅は全体で約 4.5 m となる。

第 5 節 凍結路盤による運材の期間

1 運材の開始期

気象資料にもとづき、月間平均気温が 0°C 以下になる月から路面を 4.5 m 幅に除雪するとした場合に、積雪際から 1.5 m の路面下 10 cm の地中温度が 0°C 以下になる月日を知る方法を検討してみる。

$$E < M_1 \times n_1 \text{ の場合} \quad E \div M_1 \quad (\text{IV}-1)$$

が M_1 月の使用可能となる日である。

$$E > M_1 \times n_1 \text{ の場合} \quad (E - M_1 \times n_1) \div M_2 \quad (\text{IV}-2)$$

が M_2 月の使用可能となる日である。

ただし E は上記の位置の地中温度が 0°C 以下となるために要する積算寒度 ($^{\circ}\text{C}$ 日)、 M_1 はその年の夏以降に初めて月間平均気温が 0°C 以下になった月の平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 n_1 は M_1 月の日数とする。それ以降の月の平均気温をそれぞれ M_2 、 M_3 とし、 n_2 、 n_3 は M_2 、 M_3 月のそれぞれの日数とする。

2 運材の終了期

積雪際から 1.5 m の路面下 10 cm の地中温度が再度 0°C となり、融解が開始したと思われる月日が求める月日である。

$$F < L_1 \times n_1 \text{ の場合} \quad F \div L_1 \quad (\text{IV}-3)$$

が L_1 月の使用不可能となる日である。

$$F > L_1 \times n_1 \text{ の場合} \quad (F - L_1 \times n_1) \div L_2 \quad (\text{IV}-4)$$

が L_2 月の使用不可能となる日である。

ただし F は上記の位置の地中温度が再度 0°C となるために要する積算温度 ($^{\circ}\text{C}$ 日)、 L_1

はその年に初めて月間平均気温が 0°C 以上になった月の平均気温($^{\circ}\text{C}$)、 n_1 はL 1月の日数とする。それ以降の月の平均気温をそれぞれL 2, L 3とし、 n_2 , n_3 はその月のそれぞれの日数とする。

3 路盤の融解終了期

上記の位置の地中温度が再度 0°C 以上となり、融解が終了したと思われる月日は、前項のFをGに換えて計算する。

ただしGは、その位置の地中温度が 0°C になった時から、 0°C 以上になるまでに要する積算温度($^{\circ}\text{C}$ 日)とする。

4 平均気温による推定法

この推定方法を試験路盤に適用してその推定の正確さを確かめてみる。一般に一年のうちで夏以降最初に月間平均気温が 0°C 以下になる月は11月で、前記の式にそれぞれの数値、 $E=177.6^{\circ}\text{C}$ 日、 $M_1=1.32^{\circ}\text{C}$ 、 $M_2=5.31^{\circ}\text{C}$ 、 $n_1=30$ 日を代入して

$$(177.6 - 1.32 \times 30) \div 5.31 = 25.99 \text{ を得る。}$$

ゆえに12月26日となり、地中温度の実測値から得た12月26日と一致した。

次に再度 0°C になる月日を推定してみた。一般に一年のうちで初めて月間平均気温が 0°C 以上になる月は4月で、計算式にそれぞれの数値、 $F=21.7^{\circ}\text{C}$ 日、 $L_1=2.26^{\circ}\text{C}$ を代入して

$$21.7 \div 2.26 = 9.6 \text{ を得る。}$$

ゆえに4月9日となる。実測値は4月13日で4日の差となった。

この結果から、月間平均気温にもとづいて凍結路盤作成による運材開始月日と、終了月日を推定することが出来るものと考えられる。

次に融解が完了する月日を推定してみる。一般に一年のうちで初めて月間平均気温が 0°C 以上になる月は4月で、計算式に $G=45.5^{\circ}\text{C}$ 日、 $L_1=2.26^{\circ}\text{C}$ を代入して

$$45.5 \div 2.26 = 20.1 \text{ を得る。}$$

ゆえに4月21日となる。実測値は4月21日と一致した。

以上の結果から、月間平均気温に基づいてそれぞれの月日を推定するという方法は、十分な実用性を備えていると考えられる。

第5章 砂質土林道の運材林道としての利用度

第1節 砂質土林道の支持力

1 気象的要因の影響

砂質土林道の支持力に影響を及ぼす気象的な要因について検討した結果、気象的要因のうち次のものが大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

すなわち、路盤が凍結、融解をうける場合には、外気温度と、外気温度に対して緩衝的な作用を発揮する積雪とが大きな影響を及ぼし、また路盤が凍結・融解を受けていない場合には、

降雨量が大きな影響力を持つことが明らかとなった。この気象的要因について検討の対象とした北海道雨竜郡幌加内町母子里は、北海道でも有数の低温多雪地帯⁶⁶⁾であり、この地域での路盤支持力の年間の変動を明らかにすることは、北海道における砂質土林道に関して、適切な情報を提供することになると考える。

2 凍結・融解期以外

林道の路盤が、凍結および融解していない状態にある場合に、路盤の支持力に最も大きな影響を及ぼす気象的な要因として降雨量を指摘した。

そして、試験林道を作設して、林道路面の支持力に対する降雨量の影響を表現する一つの合理的な方法を、統計的分析にもとづいて検討した。

その結果、路面の縦断勾配 0～10%，支持力測定日直前 3 日間の降雨量の合計 0～56 mm の測定資料の範囲内に限ってはあがあるが、砂質土の路面の支持力を、路面の縦断勾配と降雨量から、(I-5) 式によって推定できることを示した。

3 凍結・融解期

外気温度が 0℃ 以下になると路盤の凍結が始まり、路盤の支持力は凍結による影響を大きく受ける。この路盤の凍結は外気温度の時間的経過の累計、すなわち積算温度と深い関係にあることが明らかとなった。

路盤の融解は、路盤の凍結の場合と逆の現象として説明できる。また積雪は、路盤に対しては外気温度の影響を緩和する作用をするため、路盤の凍結・融解の現象を考究する場合に積雪の影響を無視できない。

路盤の凍結・融解と積算温度との関係は、第 4 章の凍結路盤作設で明らかにした。

第 2 節 路盤支持力と季節的変動

北海道大学雨龍地方演習林母子里作業所の気象観測資料にもとづき、前記の試験林道を降雪の度ごとに除雪して路面を露呈させ、年間を通じて使用するとした場合に、季節的に路盤の支持力がどのように変動するかについて、トラック運材使用可能日から検討した。

1972 年 11 月から 1973 年 12 月にかけての月別の、月間平均気温、月間平均雨量、積雪深等の気象観測資料を表-V-1 に示す。

月別の運材トラックの通過が可能である日数を、次のようにして推定した。

凍結・融解期については、第 4 章の積算温度から推定する方法によって、それぞれの月日を求めて行った。

凍結・融解期以外の場合については、第 1 章の降雨量・縦断勾配から路面支持力を推定する方法で、縦断勾配別に推定した。

運材トラックの通過が可能である路面支持力として、第 1 章の運材トラックの通過時に輪荷重によって生じる土圧の計算において 10.8 kg/cm² という値を得たので、これ以上の支持力が得られる日数を推定した結果、表-V-2 に示す値を得た。

表-V-1 路盤支持力の季節的変動の推定に使用した気象資料
 Table.V.1. Climatological data used for estimation of beaming capacity in subbase

Month	1972.12	1973.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Monthly mean Temperature(°C)	-5.31	-10.09	-9.87	-9.02	2.26	7.87	11.45	17.44	20.56	13.66	6.25	-0.21
Monthly mean rainfall(mm)	9.74	5.79	5.86	2.26	3.84	2.81	0.67	2.29	12.85	3.99	8.23	11.70
Thickness of covered snow(cm)	85~190	170~205	204~258	260~219	212~80	75~0						12~55

First snowless day was May, 10 and first snow covered day was November, 17
 First freezing day was December, 26 and final melting day was May, 13

表-V-2 運材トラック通過可能日数
 Table.V.2. Passable days of hauling trucks

Month	1972.12	1973.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Days of freezing	6	31	28	31	1							
Days of melting(unpassable)					29	13						
Unfreezing and unmelting period												
Londitudinal 0% slope	1	0	0	0	0	9	23	13	8	10	7	4
5%	2	0	0	0	0	12	26	17	14	16	11	6
10%	4	0	0	0	0	14	29	17	16	17	13	6
Sprinkling slope	7	0	0	0	0	15	29	23	16	20	18	8

第1章の運材トラックの輪荷重の測定から、運材トラックの通過に必要な支持力の最大値として、路面下10cmの深さで、CBRの換算値で7.1%、路面下30cmの深さで4.9%の実測値を得ている。

また第4章で表-IV-2に示したように、 -0.25°C での路盤の凍結強度は14.6%、融解時の路盤の強度は2.9%の結果を得ている。凍結時には、路面下10cmの深さで必要とされる支持力より凍結強度の方が大きいので路盤の支持力は十分であるが、融解時には30cmの深さで必要とされる支持力よりも路盤の強度が小さい。

したがって、路盤の破損を少なくするためには、路面下30cmまで融解が終了して支持力が増すまで、運材トラックの通過を控えるべきである。この試験林道では、1972、73年の気象資料から推定して、路面下10cmの凍結期間は1972年12月26日から1973年4月9日までの105日間、融解期間は4月10日から4月21日までの12日間となる。また路面下30cmで融解期間は、4月2日から5月13日までの42日となる。

その結果、一年のうちで、運材トラックが融解にもとづく路盤の破損を引き起こす事なしに路面を通過できる期間は、路面下30cmの路盤の融解が始まる4月2日から路面下30cmの

路盤の融解が終了する5月13日までの期間を除いた期間となる。ただし凍結・融解期以外の通過可能日数は、連続する3日間の降雨量と路面の縦断勾配により変動する。

凍結・融解期以外の期間を含めて、運材トラックが砂質土路盤を破損しないで通行可能である日数を、その月の日数で除した値を通過可能日率として表-V-3ならびに図-V-1に示した。

表-V-3 月別運材トラック通過可能日率(%)
 Table.V.3. Passable days rate of hauling trucks by month

Month	1972.12	1973.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Longitudinal slope	0%	22.6	100.0	100.0	100.0	3.3	29.0	76.7	41.9	25.8	33.3	22.6	13.3
	5%	25.8	100.0	100.0	100.0	3.3	38.7	86.7	54.8	45.2	53.3	36.7	20.0
	15%	32.3	100.0	100.0	100.0	3.3	45.2	96.7	54.8	51.6	56.7	48.4	20.0
Sprinkling slope	41.9	100.0	100.0	100.0	3.3	48.4	96.7	74.2	51.6	66.7	58.1	26.7	

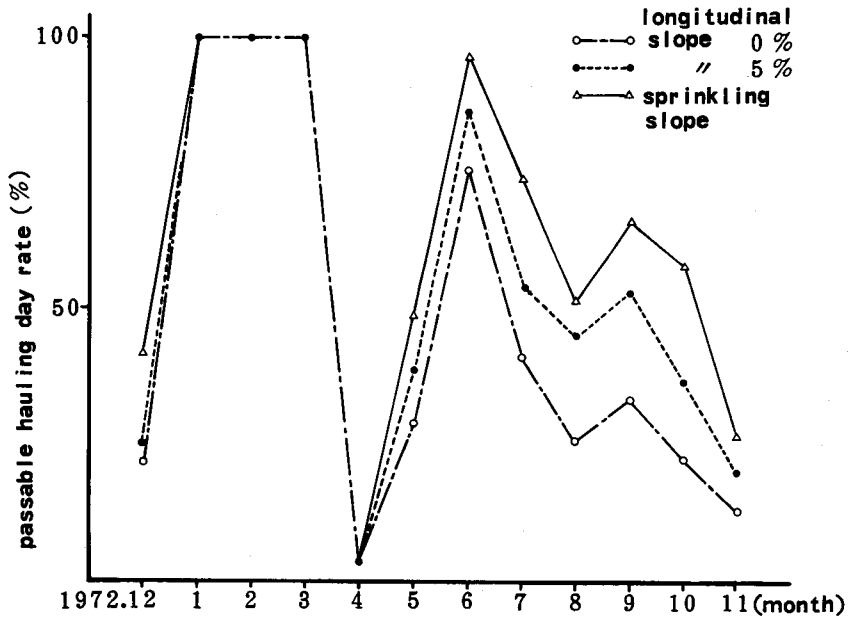


図-V-1 月別の運材トラック通過可能日率

Fig.V.1. Passable day rate of hauling trucks by month.

第3節 林道の使用期間

この研究に用いた試験林道のある、北海道大学雨龍地方演習林の母子里地区は、北海道でも有数の寒冷多雪地域である。このような場所では、林道の使用期間からみて、例えば次のような路体構造が適していると考えられる。

前記の、1972年11月から1973年12月までの気象資料は、その前後の気象資料⁶⁶⁾からみて

特異なものでないと考えられるので、それに基づいて、母子里地区における各種の林道の使用期間を試算してみる。

1) 礫砂路盤を持った林道の場合

前記の試験林道のように路床が砂質土の場合、第3章の、適正路盤厚推定の数量化分析の結果から推定して、年間を通じて、良好な路面の林道とするためには、条件によって異なるが、表一Ⅲ-7から、概数にして約30 cmから60 cmの範囲の路盤厚が必要となる。この林道は積雪期間は使用しない場合の使用可能日数は、表一V-1にもとづき積雪期間を除外すると、190日となる。

2) 礫砂の路盤を持たない林道の場合

この試験林道のような砂質土の路盤を持った林道であって、縦断勾配5%の林道を想定すれば、除雪しない場合の使用可能日数は消雪から根雪までの期間から、降雨によって使用できない日数を減じた105日、除雪して利用する場合は、この日数から消雪日と融解終了日との差を減じ、それに凍結期間を加えて199日となる。

3) 凍結期間だけ使用する林道の場合

除雪によって、凍結期間だけ利用できる路盤では97日間連続して使用可能となる。

以上は極端な条件を設定した場合であって、当然これらの中間も考えられる。いずれにしてもこれが基本型であり、利用目的に合わせた林道を作設する場合の情報と、逆に林道の性状に合わせてそれを利用する計画を立てるための情報をここに提供した。

第6章 砂質土林道の再評価

第1節 気象要因と支持力との関係

1 支持力の変動

第4章で明らかにしたように、路盤の支持力は、気象要素の影響を受けて様々に変化する。路盤の凍結・融解期以外では、路盤の支持力は降雨量と強い相関関係を持つ。

路盤が凍結している時は、路盤の支持力は路盤の凍結強度に強い相関関係を持ち、その値は地中温度の影響をうける。路盤を凍結させる直接の要因は、0℃以下の外気である。また路盤が融解している時は、路盤の支持力は大きく低下する。凍結している路盤を融解させる直接の要因は、0℃以上の外気である。さらに路面の積雪は、路盤に対しては外気温度の影響を緩和する作用を発揮する。

このため路盤の年間を通じての支持力は、凍結・融解期間以外は降雨量の影響を受け、凍結期には外気温度の影響を受け、路面の積雪の影響も間接的に受ける。

2 降雨量

凍結・融解期以外では、第1章で述べたように路盤の支持力は降雨量、蒸発量と関係があることが明らかになった。その支持力を、路面の縦断勾配と降雨量から推定するために導いた

回帰方程式は次のとおりであった。

$$\text{CBR} = 16.84 - 0.416 \times \text{TR 03} + 0.416 \times \text{SLOP} \quad (\text{VI}-1)$$

但し、CBR：路面の支持力 (CBR (%))

TR 03：連続する三日間の降雨量の合計値 (mm)

SLOP：路面の縦断勾配 (%)

またこの式によれば、上記降雨量の合計が 3.3 mm 以下であれば、縦断勾配が 0 % でも路面の支持力は、運材トラックの通過に耐え得ることが明らかである。

3 外気温度

路盤の凍結は、0°C 以下の外気温度とその持続時間の積で表現される積算寒度に直接の影響を受け、また凍結路盤の融解は、0°C 以上の外気温度とその持続時間の積で表現される積算温度に直接の影響を受けることを明らかにした。

第 4 章の、表-IV-1 に示した性状の土の路盤を有し、除雪により路面を露呈した林道において、路面下 10 cm、積雪際から 1.5 m の位置にある路盤を凍結させた場合に、積算寒度 4,263°C 時間を要した。

また路面下 30 cm、積雪際から 1.5 m の位置にある路盤の地中温度が、最小積算温度 (最大積算寒度) の現れた時の温度から 0°C になるのに要した積算温度は 60°C 時間、その路盤の融解が完了するのに要した積算温度は 2,482°C 時間であったことを明らかにした。

4 北海道における砂質土林道利用の可能性

これまでに述べた研究の結果を適用して、第 1 章から第 4 章までの試験林道の土と同じ性状を持つ砂質土路盤と仮定して、運材トラックの通行に耐え得る可能性を、以下において検討する。

この可能性検討の対象とする林道の路体構造として、北海道において今後作設される林道の一典型を取り上げるといふ観点から、次の条件を備えたものを想定した。すなわち、切取工により砂質土の路面を持つ路体を構築し、側溝の深さ 30 cm、縦断勾配 0 % として、路盤の砂利敷き等は一切施さず、積雪期には 4.5 m 幅に降雪の都度除雪して路面を露呈させておく。

この検討に使用した気象資料は、北海道に設置されている 11 測候所⁶⁶⁾の、1971 年から 1980 年までの 10 年間の測定値の平均値である。その平均気温を表-VI-1 に示す。

この平均気温から推定した路盤の凍結期間、凍結日数、融解期間、融解日数を表-VI-2 に示す。この場合、「凍結期間」とは路盤の凍結・融解の状態が運材トラックの通過に耐えるものである期間を意味し、「融解期間」とは、路盤の融解のために、路盤が運材トラックの通過に耐えられない状態である期間を意味する。

また凍結・融解期間を除く期間について、運材トラックが通行可能と考えられる、降雨量 1 mm/日以下の日数を求め、それを表-VI-2 の凍結期間と統合して、地域別・月別の、砂質土林道によるトラック運材の実行可能日数を求めた。その結果を表-VI-3 に示す。

表一VI-1 各測候所の平均気温と積雪期間

Table.VI.1. Mean monthly temperature and snow covered period in different weather station

Month	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Snow cover period
	Mean temperature(1971~1980(°C))												
Wakkanai	3.2	-2.3	-5.7	-5.6	-1.6	4.3	8.7	12.4	16.8	18.9	16.4	10.6	11.23~4.07
Asahikawa	1.5	-4.4	-8.5	-7.7	-2.8	4.7	11.5	16.2	20.3	20.4	15.2	8.5	11.21~4.03
Rumoi	3.8	-1.7	-5.2	-4.8	-1.0	5.1	10.6	14.6	19.0	20.3	16.3	10.3	11.28~4.06
Sapporo	4.0	-1.6	-4.9	-4.2	-0.4	6.2	12.0	15.9	20.2	21.3	16.9	10.6	11.29~3.30
Kuchann	2.0	-3.5	-6.5	-6.1	-2.3	3.8	10.4	14.7	19.1	20.1	15.2	8.6	11.21~4.02
Abashiri	3.0	-2.6	-6.6	-7.2	-2.8	4.0	9.4	12.7	17.1	18.6	15.2	10.0	12.02~4.04
Kushiro	3.4	-2.1	-6.4	-6.1	-1.8	3.4	7.8	11.4	15.5	17.6	15.2	9.8	12.29~3.16
Nemuro	4.7	-0.7	-4.7	-5.4	-2.1	3.1	7.3	10.3	14.3	16.9	15.3	10.8	12.28~3.16
Obihiro	2.2	-4.4	-8.5	-7.4	-2.2	5.1	10.9	14.5	18.4	19.6	15.5	9.1	12.09~3.19
Tomakomai	4.1	-1.4	-4.8	-4.2	-0.6	4.6	9.4	13.2	17.7	20.0	16.7	10.6	1.02~3.10
Hakodate	4.9	-0.6	-3.6	-3.2	0.4	6.4	11.4	15.1	19.3	21.2	17.2	11.3	12.15~3.15

表一VI-2 凍結・融解期間の推定値

Table.VI.2. Estimated daed of freezing and melting period

Location	Freezing period	Freezing days (Mean of 1971~1980)		Melting period	Melting days
Wakkanai	1.19~4.05		73	4.06~4.25	20
Asahikawa	1.05~4.06		92	4.07~4.23	17
Rumoi	1.25~4.04		70	4.05~4.21	17
Sapporo	1.27~4.03		67	4.04~4.17	14
Kuchann	1.11~4.05		85	4.06~4.28	23
Abasiri	1.15~4.05		81	4.06~4.26	21
Kusiro	1.18~4.06		79	4.07~5.01	25
Nemuro	2.02~4.07		65	4.08~5.02	25
Obihiro	1.05~4.05		91	4.06~4.21	16
Tomakomai	1.28~4.05		68	4.06~4.23	18
Hakodate	2.15~4.01		46	4.02~4.17	16

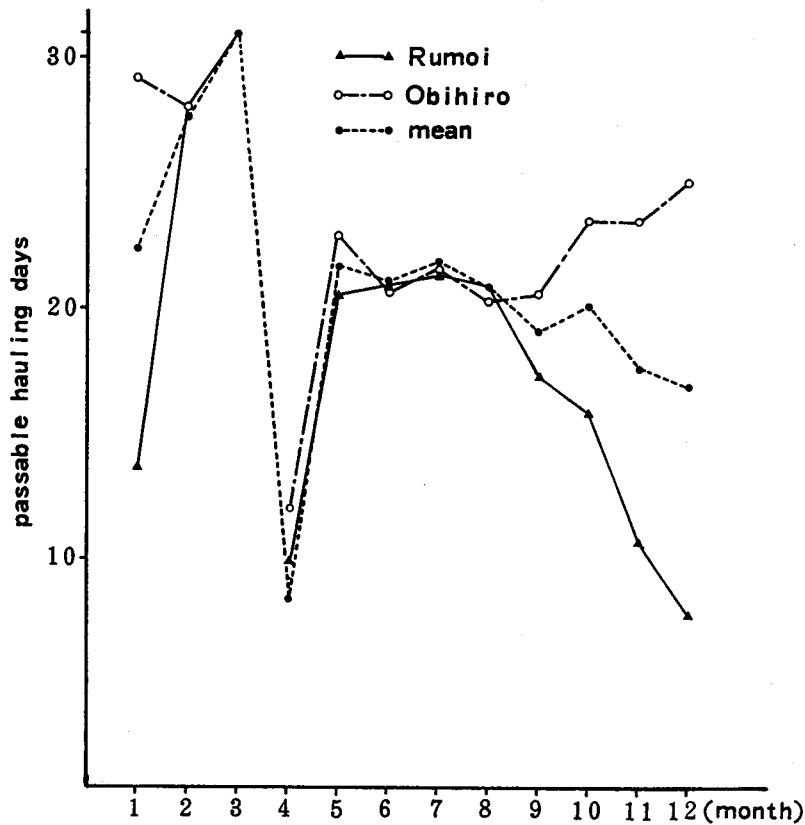
この表一VI-3から、運材実行可能日数の最も少ない場所は留萌で日数は217日で、年間の60%、最大は帯広で日数は278日、年間の76%である。全地域の平均日数は244.8日、年間の67%の日において、砂質土路盤の林道を使ってトラック運材を行うことが可能であることが推定できる。これらの地域の月別にみた運材可能日数の推定値を図一VI-1に示す。

このうち凍結路盤によるトラック運材については、道南の函館を除けば65日以上にわたって実行可能であり、全体の運材実行可能日数の33%を占めている。

月別にみると、4月、11月、12月の運材可能日数が60%以下となっている。これは、4

表一VI-3 地域別・月別の砂質土路盤林道によるトラック運材実行可能推定日数
 Table.VI.3. Passable days of hauling trucks on sandy soil subbase by month and in each district

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Wakkanai	18.5	28.0	31.0	8.3	21.9	21.8	22.0	22.5	18.6	17.6	13.0	9.1	232.3
Asahikawa	28.7	28.0	31.0	10.6	20.5	20.0	21.4	20.1	17.3	17.6	12.9	11.1	239.2
Rumoi	13.6	28.0	31.0	9.9	20.4	20.8	21.3	20.8	17.2	15.7	10.6	7.7	217.0
Sapporo	17.3	28.0	31.0	12.1	22.7	21.5	22.8	20.9	19.0	19.1	17.2	16.0	249.6
Kuchann	22.9	28.0	31.0	6.3	21.7	21.1	22.3	20.7	18.0	17.2	11.5	6.7	227.4
Abashiri	26.4	28.0	31.0	7.9	21.5	20.8	21.3	20.5	19.8	21.7	20.3	20.5	259.7
Kushiro	26.5	28.0	31.0	6.0	21.5	21.0	21.6	21.2	20.5	23.2	23.1	24.4	268.0
Nemuro	22.6	27.8	31.0	7.0	20.8	21.2	22.6	21.9	20.4	21.3	21.1	23.3	221.0
Obihiro	29.2	28.0	31.0	11.9	22.9	20.7	21.5	20.2	20.5	23.4	23.4	25.0	277.7
Tomakomai	23.5	28.0	31.0	9.9	21.2	20.2	20.6	19.1	19.4	22.0	21.3	23.3	259.5
Hakodate	16.6	23.7	31.0	9.8	22.2	21.8	22.2	20.9	18.5	21.0	17.7	16.2	241.6
Mean	22.3	27.6	31.0	8.3	21.6	21.0	21.8	20.8	19.0	20.0	17.5	16.7	244.8



図一VI-1 留萌・帯広・地域平均の月別運材可能日数の推定値
 Fig.VI.1. Passable days of hauling trucks on sandy soil by month.

月に融解の大部分が含まれていること、また11月、12月に降雨量が多いことに起因している。

第2節 運材用砂質土林道の作設

1 利用条件

砂質土林道に対し、どのような時期にトラック運材に使用可能な機能を持たせるかについて、次のように分けることができる。

- 1) 冬期間に限り運材機能をもたせる。
- 2) 冬期間と夏期間に運材機能をもたせる。
- 3) 春の路盤融解期間、晩秋・初冬の降雨量の多い期間を含め、一年の全期間にわたり運材機能をもたせる。

このような利用条件に合致した林道を作設する場合に、次に示す方法によれば効率的であると考える。

2 作設法の提示

前項の条件のうち、

- 1) の場合には、路面の縦断勾配に路面排水の観点には特別の配慮をおこなわず、幅員5m程度の道形だけを作り、側溝は付けない。
- 2) の場合には、路面排水を促すため5%前後の縦断勾配をつけ、側溝、横断勾配にも配慮した路体とする。ただし礫砂による路盤は作らない。
- 3) の場合には、第3章で述べたことに基づき、礫砂による適正な厚さの路盤を、2)にあげた路体の砂質土路盤上に作設する。

結 語

筆者は、北海道の森林地帯のかなりの部分において、林道の路床となるべき土が砂質土であることに着目し、トラック運材に耐える林道の路盤を礫砂等を路盤材料の使用しないで、砂質土のみで作設することの可能性を探究してきた。

その結果、路面排水機能の高い路体形状を採用すれば、降雨量が特に多くない限り、路盤が砂質土であってもトラック運材に十分に耐える路盤を作設し得ることが明らかとなった。

また、既設林道の路体構造に関する測定値を統計的手法を用いて分析することにより、林道利用条件に合致する適正な林道路盤厚を推定する方法を見出した。

さらに筆者は、北海道の気候の特徴である低温を利用して、砂質土林道を凍結させて使用する方法、ならびに林道路盤の凍結・融解期間を推定する実用的方法を確立した。

これらの方法を併用すれば、北海道の大部分の地域において、年間の70%近い日数の期間、砂質土林道によって、トラック運材を行ない得る事が明らかになった。このことは砂質土路盤を持つ林道を林道路網の一環に組み入れることによって、より経済的な林道路網を構成する道を開く事になるといってもよいであろう。

文 献

- 1) 赤井浩一: 地盤の応力集中係数に関する考察. 土木学会誌, 37, 9, 1952.
- 2) 秋山政敏: 輪荷重と接地圧. 接地半径との関係. 土木学会論報, 243, 1975.
- 3) 土木学会: 土質実験指導書. 土木学会, 1964.
- 4) 土質工学会: 土質工学ハンドブック. 技法堂, 1965.
- 5) 道路研究室: 道路に関する研究. 土木試験所年報, 7, 1958.
- 6) 道路研究室: 路盤材料の種類および厚さと支持力に関する研究. 土木試験所年報, 9, 1960.
- 7) 道路土工指針小委員会: 道路土工指針. 日本道路協会, 1967.
- 8) Eggelsmann. R: Dränwirkung und Bodeneigenschaften. Strasse und Autobahn, 12, 1971.
- 9) Ernst. H: Untersuchungen zur Frage der Bodenverfestigung. Strasse und Autobahn, 8, 1966.
- 10) 福山俊郎: 数量化理論による道路維持補修計画について. 土木学会論報, 224, 1974.
- 11) Freden. S: Mechanism of frost Heve and Its Relation to Heat Flow. Const. Soil Mech., 1965.
- 12) 福田正己・井上正則: 凍土の動的性質について. 北大低温研報物理篇, 31, 1973.
- 13) 原田干三: 凍土の耐荷力. 土木学会彙報, 26, 3, 1940.
- 14) 林知己夫: 数量化と予測に関する根本概念. 統計数理研報, 7, 1, 1959.
- 15) 林知己夫: 数量化の方法. 東洋経済新報, 1974.
- 16) 林知己夫・駒沢 勉: 数量化理論とデータ処理. 朝倉書店, 1984.
- 17) 北海道: 北海道林業統計. 北海道, 1984.
- 18) 伊福部宗夫: 北海道における凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究. 北海道開発土木試験所報, 26, 1962.
- 19) 飯山雄四郎: 作業道の使用基準と施工方法. 日林北支講, 13, 1963.
- 20) 稲田倍穂: 道路土工の歩みと諸問題. 土と基礎, 20, 11, 1972.
- 21) 伊勢田哲也・島津晃臣・田中俊彦: 盛土の締め固めと圧縮沈下に関する研究. 土木研究所報告, 1972.
- 22) 石原安雄: 道路側溝に関する水理学的研究. 土木学会誌, 37, 10, 1952.
- 23) 岩垣雄一: 薄層流に関する研究 (第2報) 一路面流水の理論一. 土木学会誌, 35, 12, 1950.
- 24) 岩川 治・杉原彦一・滝本義彦: 運材車両が林道路面に加える荷重について. 77 回日林講, 1966.
- 25) 岩川 治・滝本義彦: 運材車両の車輪による最大接地圧の推定に関する研究. 日林誌, 49, 1967.
- 26) 上飯坂実: 路面における砂利敷の効果. 日林誌, 38, 7, 1956.
- 27) 上飯坂実: 林道構造設計に関する最近の資料. 日林誌, 40, 6, 1958.
- 28) 上飯坂実: プルドーザによる林道施工計画に関する研究. 岩手大演報, 1, 1961.
- 29) 上飯坂実: 林道構造評価に影響する因子. 76 回日林講, 1965.
- 30) 上飯坂実・南方 康・伊藤幸也: 林道の構造に関する研究. 日林誌, 50, 9, 1968.
- 31) 片平信貴: 道路工学. 技報堂, 1962.
- 32) 川村一水・船引真吾: 農林土壌学. 養賢堂, 1968.
- 33) 木下誠一: 凍土の硬度測定. 北大低温研報物理篇, 24, 1966.
- 34) 木下誠一他: 凍土の物理学. 森北出版, 1982.
- 35) 小林浩二: 砂利道の波状現象について. 土木研報, 91, 1955.
- 36) 小林洋司・福田光正: 林道および作業道の路面の支持力に影響を及ぼす因子について. 日林誌, 57, 5, 1975.
- 37) 駒村富士也: 土圧に関する研究 (IV) 一地面上に荷重のある場合の土圧一. 日林誌, 44, 11, 1962.
- 38) 今野彦貞・富田高久: 青森・岩手両県下における砂利道軟弱化についての二, 三の考察. 土と基礎, 10-11, 1962-1963.
- 39) 小山道義: 路盤効果に関する実験的考察. 土と基礎, 14, 5, 1966.
- 40) 工藤久夫: 道路縦断勾配の路面排水に及ぼす効果に就いて. 土木学会誌, 22, 1, 1936.
- 41) 久野重一郎: 道路面流水の理論. 土木学会誌, 22, 11, 1936.
- 42) 久野吾郎: 土の締め固め. 技報堂, 1967.

- 43) 真井耕象：凍土の強度について。北大工研報，16，1957.
- 44) 前田 実・西島高秀：路床・路盤の含水量の経年変化。土木技術資料，11，2，1972.
- 45) 三笠正人：土の工学的性質の分類表とその意義。土と基礎，12，4—13，1964—1965.
- 46) 三木五三郎・斉藤孝夫：土の工学的分類とその利用。鹿島出版，1979.
- 47) 湊 克之：ブルドーザによる簡易林道作設について。日林北支講，15，1966.
- 48) 湊 克之：作業道の経済的作設法について—降水量と路盤支持力との関係—。日林北支講，17，1968.
- 49) 湊 克之：林道の経済的作設法について—既設林道の垂直横断面の調査—。日林北支講，18，1969.
- 50) 湊 克之：林道の路床に関する研究。北大演報，29，2，1972.
- 51) 湊 克之：凍結による運材道路盤の作設について（第1報）。日林北支講，21，1972.
- 52) 湊 克之：凍結による運材道路盤の作設について（第2報）。日林北支講，22，1973.
- 53) 湊 克之：砂利道路面の波状現象に関する一考察。90回日林論，1979.
- 54) 宮川 勇：石狩泥炭地における既存道路の工学的性状について。土木試験場報告，20，1958.
- 55) 三宅一郎・山本嘉一郎：SPSS統計パッケージI。東洋経済，1976.
- 56) 三宅一郎他：SPSS統計パッケージII。東洋経済，1977.
- 57) 永田 翠・水谷 仁：凍結土の力学特性に関する一実験。鹿島技研年報，19，1971.
- 58) 中津川忠男：効果的路面排水について。4回林道研究論集，1969.
- 59) Nie. N: Statistical Package for Social Sciences. McGraw Hill, 1975.
- 60) 西垣好彦・大俣重興：乱さない砂質土の動的性質。6回土質研究発表論集，1971.
- 61) Nixon. J: A study of Some Factors Affecting the Thawing of Frozen Soils. Can. Geotech. J., 10, 439, 1973.
- 62) 佐々木功・滝本義彦・上田千秋：林道における路盤支持力について。78回日林講，1967.
- 63) 佐々木功・滝本義彦・上田千秋：林道の路体構造に関する研究（I）。京大演報，1967.
- 64) 佐々木清一：北海道土壌地理論。1960.
- 65) 札幌管区气象台：北海道の気候。北海道産業気象協会，1952.
- 66) 札幌管区气象台：北海道の気候。日本気象協会北海道支部，1983.
- 67) 沢田健吉：土の締め固め—車輪の走行が土に及ぼす影響—。土木研報，127—131，1966—1967.
- 68) 沢田健吉：車輪の走行による土の締め固め機構をモデルにした室内実験。土と基礎，15，16，1968.
- 69) 瀬川秀良：日本の地形誌—北海道地方。朝倉書店，1974.
- 70) 島田錦蔵：新訂林政学概論。地球出版，1961.
- 71) 高橋 敦：路盤支持力の季節的変動に関する調査。7回北海道開発技研論集，1964.
- 72) 高橋国一郎：簡易舗装の設計と施工。山海堂，1965.
- 73) 竹淵多美夫・松田伸一：林道における路床支持力と路盤厚の関係。6回林道研論集，1972.
- 74) 竹下春美・田中淳七郎：道路は排水を要求する。土と基礎，1—6，1953.
- 75) 竹下春美：CBRと他の力学試験との相互関係。土と基礎，1—6，1953.
- 76) 竹下春美：土質によって路床の支持力は判定できないか。土と基礎，6，1958.
- 77) 竹下春美・宇都宮春夫・井上静三：路床・路盤施工法。山海堂，1966.
- 78) 竹内一男：既設林道の路床路盤構造調査報告。林業土木コンサルタント研，1971.
- 79) 滝本義彦・佐々木功：林道の路体構造に関する研究（II）。京大演報，40，1968.
- 80) 谷藤正三：路盤の支持力に関する土質力学的研究。土木学会誌，35，6，1950.
- 81) 谷藤正三：路床圧の試験法とその意義に就いて。土木学会誌，22—34，1947—1949.
- 82) 谷藤正三：路盤排水工法に関する調査研究。土木学会誌，36，2，1951.
- 83) 谷藤正三：砂利道の建設と補修。オーム社，1953.
- 84) 立元 勉・青山清蔵・山門明雄：砂質土の最緩・最密充てんに関する実験的研究・土と基礎。20，5，1972.
- 85) 田村朋厚：林道施工におけるドーザショベルによる掘削地盤の数量化による要因分析。高知大学術研報，21，1972.
- 86) Terzaghi. K & Peck. B: Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Son, 1967.
- 87) 地質調査所：北海道金属非金属鉱床総覧。地質調査所，1965.

- 88) 植下 協： 各国の土質分類法。 土と基礎, 20, 12, 1972.
- 89) 内田一郎： 土質道の表層土に関する調査研究。 土木学会誌, 39, 9, 1954.
- 90) Wiliam Lambe. T & Whitman. R: Soil Mechanics. John Wiley & Son, 1969.
- 91) 山田 元・船山春雄： 砂利道と土砂道との路面耐力の増進工法に関する比較試験。 土木試験所報告, 50, 1940.
- 92) 柳沢泰雄・上飯坂実： 林道路面の変形におよぼす含水量の影響。 日林誌, 59, 11, 1977.
- 93) 米屋秀三： 土壌の土工学的分類並びに性質。 土木学会誌, 22, 1963.
- 94) 吉見吉明： 砂質土の液状化。 土と基礎, 20, 8, 1972.
- 95) 座親勝善： 土の圧縮性にもとづいて支持力を求める方法。 土木学会誌, 44, 11, 1959.

Summary

In this paper, the author dealt with the forest road consisting of sandy soil in snowy and cold district in Hokkaido, and investigated fundamentally the condition of the forest road endurable to the log-hauling with trucks without the subbase composed of gravel.

It was classified from the results of the sum of 3-day precipitation falling immediately before use and the longitudinal slope whether the trucks could pass on the sandy road without shearing destruction in the period of no-freezing and melting subbase.

In the freezing period, the traffic of the trucks is possible if the temperature is below 0°C at the 10-cm deep underground, while in the melting period it is possible if the temperature is over 0°C at the 30-cm deep underground and the melting is complete. Meanwhile, the period between freezing and melting could be calculated from the accumulated temperatures required to freezing or melting for the sandy subbase and monthly average temperature.

In addition, the study showed that the sandy forest road constructed without gravels was used for traffic of the trucks in the period of 70% in a year, and suggested a new construction method of the sandy forest road suitable for the hauling truck.