



Title	林道の路床に関する研究
Author(s)	湊, 克之; MINATO, KATSUYUKI
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 29(2), 121-153
Issue Date	1972-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20902
Type	departmental bulletin paper
File Information	29(2)_P121-153.pdf



林道の路床に関する研究

湊 克 之*

Studies on Subgrade Soil of Forest Road

By

KATSUYUKI MINATO

目 次

まえがき	121
I. 研究の方針	122
II. 路床面の支持力と降水量, 蒸発量, 気温, 縦断勾配との関係	123
III. 運材に使用された林道の路体構造	128
IV. 作設直後の林道の路体構造	140
V. 縦断勾配, 側溝深が路面沈下に与える影響について	144
ま と め	149
文 献	152
Summary	152
写 真 1~6	

まえがき

北海道においては、近年、森林施業の対象地は年々奥地へと進んでいる。対象地が奥地へ進めば進む程、経営費用の中で林道費の占める割合が大きくなり、里山経営の場合に比べて、いっそう経済的な林道の作設が必要となる。

それゆえに、林道に要求される機能を、なるべく少ない費用で発揮するような林道の構造を考えなければならない。

ここでは、林道の構造のうち、林道路体の構造を研究の対象として採り上げた。

この研究をおこなうに際して、ご指導いただいた北海道大学教授小島幸治氏、同教授東三郎氏、共に現地調査に当たった北海道林務部技師武田 孝氏、同石川博章氏、同村上和夫氏、現地調査にご協力いただいた北海道大学雨竜地方演習林、苫小牧林務署土木課、厚岸林務署作業課、浦河林務署土木課、美深林務署土木課、貴重な資料を提供いただいた北海道林務部道有林第二課の関係各位に感謝の意を表する。なおこの研究の一部に北海道科学研究費補助金の援助を受けた。

* 北海道大学演習林 森林工学研究室

Forest Engineering Laboratory, Experiment Forests, Hokkaido University.

I. 研究の方針

林道の路体(本論文においては、道路工学で定義づけられている路盤と路床を総称して路体と言うことにする)の構造は、道路工学の分野で確立された技術を、林道技術者がその経験にもとづいて、部分的に準用することによって決められる場合が多い。

道路工学では、舗装路面としての表層、路盤および路床を総称して路体¹⁾と呼んでおり、実際の道路においてそれらの構成内容は、それぞれ明らかに異なっているのが常である。

しかし林道の場合、その地下部分を構成する土層を区分してみても、せいぜい路盤と路床とに分けられるに過ぎず、路盤と路床の区別すらつかないことも多々ある。したがって、このような林道の路体の作設に一般の道路工学上の技術をそのまま適用することは、可成りの無理があると思われる。

すなわち、林道の路体構造は、路面舗装を前提とした一般道路の路体構造とは、ちがった観点から検討された技術によって裏づけられる必要があると思われる。

筆者は、この技術を確立するための基礎的知見を得ることを目的として、路床の性質に影響を及ぼすと思われる因子について、実際の林道では、それらと路床の性質とがどのような係り合いを持っているかを明らかにするために一連の調査^{2),3)}をしてきた。

これらの因子を以下のように分類してみた。

a. 機能因子(林道の機能の面から考えられる因子)

- 1) 使用車輛の種類
- 2) 車輛の通過量
- 3) 林道の使用年数
- 4) 林道使用の時期

b. 自然因子(林道作設地の自然条件によって決まる因子)

- 1) 路床土の土質
- 2) 降水量, 蒸発量
- 3) 気温(凍結, 融解)

c. 設計因子(林道設計の面から考えられる因子)

- 1) 路床構築の方法(切り土, 盛り土)
- 2) 勾配(縦断勾配, 横断勾配)
- 3) 路体の排水の方法

その他にも、機能因子としての車輛の走行速度、自然因子としての特殊地形、設計因子としての路盤材料等検討しなければならない。しかし路体の構造に係る因子として、林道作設の基準の中にとり入れることの可能性から考えて、前記の10項目だけについてまず分析することとし以下の調査を実施した。

II. 路床面の支持力と降水量, 蒸発量, 気温, 縦断勾配との関係

1. 調査の対象および方法

a. 調査対象とした林道

昭和42年に北海道雨竜郡幌加内町北海道大学雨竜地方演習林で表-1に示した林道路体を作設し, 調査の対象とした。

またこの路体の土の物理的性質を調査した結果を表-2で示した。

路面の縦断勾配と支持力測定点は図-1で示した。

表-1 路床表面の支持力調査の対象とした林道の主要諸元

Table 1. Main elements of forest road for research on bearing capacity of subgrade surface.

延長 (m)	路床構築の方法	幅員 (m)	最小半径 (m)	側溝 (m)			縦断勾配 (%)
				深さ	上端長	下端長	
264	切り土工	4.0	10	0.3	0.6	0.5	0, 5, 10

表-2 路床土の物理的性質

Table 2. Physical properties of subgrade soil.

基岩	比重 (g/cm ³)	粒度分布 (%)			コンシステンシー		ASSHO 法による 分類	最適含水率 (%)	最大乾燥 密度 (g/cm ³)
		2000 μ 篩 通過率 (%)	420 μ 篩 通過率 (%)	74 μ 篩 通過率 (%)	液性限界 (%)	塑性指数			
第3紀安山岩	2.660	71.0	49.8	27.5	52.7	14.3	A-2	34.0	1.322

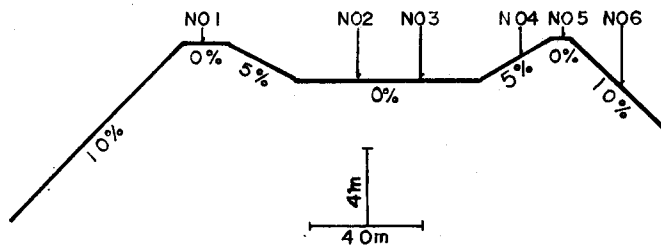


図-1 路面縦断面図と支持力測定点

Fig. 1. Vertical section of road surface and measuring points for bearing capacity.

b. 測定方法

支持力の測定点は, 縦断勾配別に図-1に示した No. 1 から No. 6 までの6カ所に設定し, 各測定点ごとに, 支持力, 路面含水率と測定日前10日間の降水量, 蒸発量, 気温を測定した。支持力は現場 C・B・R 試験機により測定した。降水量, 蒸発量, 気温については, 近くにある北海道大学雨竜地方演習林母子里作業所の気象観測資料⁴⁾を使用した。

2. 調査結果

各測定点の調査日ごとの支持力 (C・B・R 値) と含水率を表-3 にまとめた。また調査日前10日間の降水量、蒸発量を表-4 で、同じく平均温度と積雪深を表-5 で示した。

表-3 路床面の支持力および含水率

Table 3. Bearing capacity and moisture content of subgrade surface.

調査年月日	測点 No. 路面の状態	1		2		3	
		C・B・R (%)	含水率 (%)	C・B・R (%)	含水率 (%)	C・B・R (%)	含水率 (%)
42. 9. 7	普通期	21.9	32.1	14.6	34.6	16.8	32.2
10. 20	"	14.6	43.5	8.0	46.1	11.7	47.4
11. 6	"	16.8	45.3	8.0	50.8	13.1	48.3
43. 9. 10	"	23.5	34.4	9.1	43.0	14.6	41.7
9. 26	"	29.6	29.6	31.8	25.1	19.0	27.9
10. 21	"	22.6	39.3	3.7	44.8	6.9	45.8
11. 14	"	19.7	44.9	8.0	47.2	13.5	46.2
44. 6. 26	"	8.4	—	16.0	—	5.3	—
普通期平均		19.6	38.4	12.4	41.6	12.6	41.4
43. 12. 12	凍結期	25.7	—	25.7	—	31.8	—
44. 5. 11	融雪期	2.0	47.7	3.5	45.2	4.0	48.5

調査年月日	測点 No. 路面の状態	4		5		6		平均	
		C・B・R (%)	含水率 (%)	C・B・R (%)	含水率 (%)	C・B・R (%)	含水率 (%)	C・B・R (%)	含水率 (%)
42. 9. 7	普通期	21.9	36.6	11.0	32.8	20.4	32.8	17.8	33.5
10. 20	"	13.9	43.8	21.2	39.8	13.1	52.4	13.8	45.5
11. 6	"	16.1	48.1	14.6	43.3	18.3	46.0	14.5	47.0
43. 9. 10	"	25.5	34.9	24.0	32.5	24.0	34.7	20.1	36.9
9. 26	"	21.2	28.9	25.5	27.5	16.8	35.1	23.9	29.0
10. 21	"	17.5	36.7	29.9	33.5	15.3	39.5	16.0	39.9
11. 14	"	14.6	48.3	18.6	36.5	5.1	53.7	13.3	46.1
44. 6. 26	"	9.1	—	9.1	—	12.8	—	10.1	—
普通期平均		17.5	39.6	19.2	35.1	15.7	42.0	16.2	39.7
43. 12. 12	凍結期	13.5	—	20.8	—	16.6	—	22.4	—
44. 5. 11	融雪期	6.0	43.6	4.5	41.7	7.0	35.7	4.5	43.7

表—4 調査日直前10日間の降水量と蒸発量⁴⁾

Table 4. Rainfall and evaporation volume for ten days immediately before measurement.

測定日前 年月日	1		2		3		4		5	
	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)
42. 9. 7	0	1.8	0	3.2	0	3.2	10.8	0	11.6	0
10. 20	0.9	1.1	15.3	0	0.2	2.5	6.3	0.5	24.4	0
11. 6	11.1	1.4	0.4	0.8	1.0	1.4	8.9	0	2.1	1.6
43. 9. 10	0.4	0.9	0.3	3.0	0.4	0.3	13.2	0.4	0.2	4.6
9. 26	0.4	2.8	0.5	3.5	0.5	2.0	0.1	2.4	2.8	2.3
10. 21	1.4	1.9	7.2	1.0	0	2.2	0	3.0	0	2.5
11. 14	1.0	0.7	1.3	0.4	11.3	0.8	10.6	4.2	2.1	0
44. 6. 26	0.5	0.2	21.1	0.6	5.5	3.6	28.4	0	4.3	5.1
43. 12. 12	← 積雪の度に除雪									
44. 5. 11	3.7	3.2	0	1.9	0.6	2.5	0	3.2	0	4.5

測定日前 年月日	6		7		8		9		10	
	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)	降水 (mm)	蒸発 (mm)
42. 9. 7	0	1.7	0	3.3	1.4	3.3	1.0	1.1	1.8	1.0
10. 20	5.6	2.3	15.5	0.2	0	1.9	0	2.1	0	0.3
11. 6	12.7	0	6.8	1.4	0	0.1	3.3	0	0	0.3
43. 9. 10	0.1	2.7	0.3	1.3	0.7	0	29.9	0	5.8	1.7
9. 26	47.2	3.9	6.0	2.6	7.3	0.6	0	3.6	0.5	2.6
10. 21	0.7	0.5	0	1.5	21.7	1.0	4.9	0	8.1	0
11. 14	0	1.4	0.4	1.3	3.7	0.5	0.3	0.7	0.3	2.5
44. 6. 26	0	6.4	0	4.9	0	4.4	0	1.0	8.1	0
43. 12. 12	→				積雪深 (cm) 14		10		28	
44. 5. 11	0	2.8	0	5.0	0	2.2	3.0	2.7	0.5	1.7

表—5 調査日直前10日間の平均気温と積雪深

Table 5. Mean temperature and depth of snows for ten days immediately before measurement.

測定日前 年月日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均気温 (°C)	{ 43. 12. 12 -0.8 3.0 1.3 -0.2 2.9 -2.7 0.6 -2.0 -1.3 3.3 { 44. 5. 11 7.5 6.2 7.2 4.6 6.1 9.6 7.3 4.2 3.7 2.3									
積雪深 (cm) 44. 5. 11	0	3	5	10	15	20	33	37	45	53

3. 考 察

a. 降水量、蒸発量に関する分析

林道の路体構造に係わる因子として降水量、蒸発量を考える場合、(降水量-蒸発量)をどのような基準で因子としてとり上げるのが妥当かについては、表-6にあげた日単位の累計と、表-3の含水率の平均値との調査日ごとの相関を計算して、相関関係の最も高いものを採用することにした。その結果調査日前3日間の累計との相関が最も高く標本相関係数 $r=0.969$ が得られた。また表-3の路面支持力の平均値との相関の場合も、調査日前3日間の累計との相関が最も高かった ($r=0.881$)。

また調査日ごとの路面支持力と含水率の間にも高い相関が得られた ($r=-0.924$)。

以上の関係にもとづき、路面支持力を3日間の(降水量-蒸発量)の累計から推定する直線回帰方程式の構造を(2)式で表わし、常数、係数を求めた結果(3)式が得られた。

$$Y = a + bX \quad (2)$$

ただし、 Y : 路面支持力 (C·B·R (%)), a : 回帰常数, b : 回帰係数, X : 調査日前3日間の(降水量-蒸発量) (mm)。

$$Y = 18.4 - 0.34 X \quad (3)$$

$$t = 0.34/0.075 = 4.533 \quad d \cdot f = 6$$

表-6 調査日直前10日間の(降水量-蒸発量)累計

Table 6. Sum total of (rainfall-evaporation) volume for one to ten days immediately before measurement.

測定日前 日数 年月日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
42. 9. 7	-1.8	-5.0	-8.2	2.6	14.2	12.5	9.2	7.3	7.4	8.2
10. 20	-0.2	15.1	12.8	18.6	43.0	46.3	61.6	59.7	57.6	57.3
11. 6	9.7	9.3	16.1	17.8	18.3	31.0	46.4	46.3	39.6	39.3
43. 9. 10	-0.5	-0.5	-0.4	12.4	8.0	5.4	4.4	5.1	35.0	39.1
9. 26	-2.4	-5.4	-6.9	-9.2	-8.7	34.6	38.0	44.7	41.1	39.0
10. 21	-0.5	5.7	3.5	0.5	-2.0	-1.8	-3.7	17.4	22.3	30.4
11. 14	0.3	1.2	11.7	18.1	20.2	18.8	17.9	21.1	20.7	18.5
44. 6. 26	0.3	20.8	22.7	51.1	50.3	43.9	39.0	34.6	33.6	41.5
5. 11	0.5	-1.4	-3.3	-6.5	-11.0	-13.8	-18.8	-21.0	20.7	21.5

b. 気温に関する分析

凍結期、融雪期とも各1回だけの測定のため統計的裏づけは得られないが、他の期間とちがった特徴は認められた。

すなわち、凍結期の支持力22.4%に対して、(3)式から逆算して得られる(降水量-蒸発

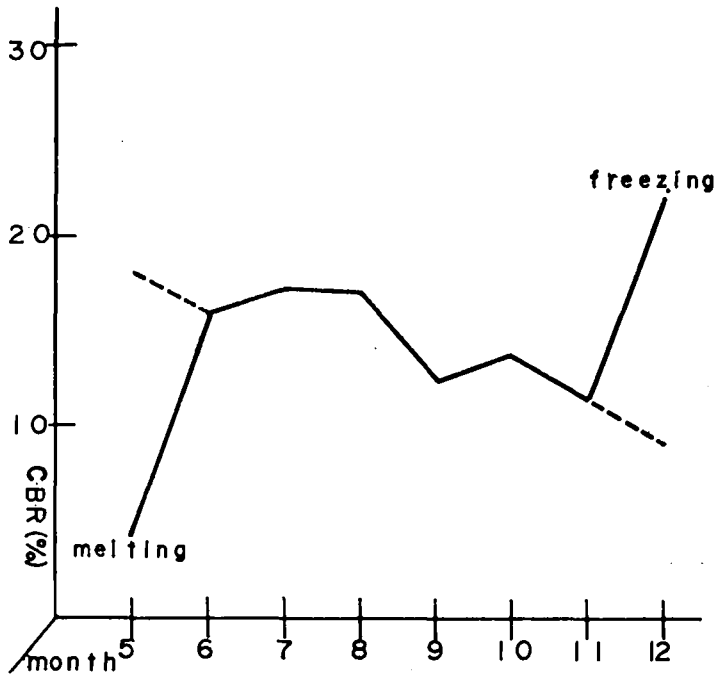


図-2 月別の路床面支持力

Fig. 2. Bearing capacity of subgrade surface in every month.

量)は -11.8 mm となり、これは真夏に炎天が3日間続いたと同程度の支持力となり、融雪期の支持力4.5%は、(3)式によって推定した支持力19.5%の1/4にも満たない。

昭和45年の月平均の(降水量-蒸発量)をもとにして(3)式から月別の支持力を推定すると図-2のようになる。

c. 路面の縦断勾配に関する分析

路面の勾配は、横断勾配と縦断勾配とに分けられるが、普通の林道の場合は舗装路面とちがいで、轍の凹みが多少はあるため、横断勾配による路面水の流失効果は削減される。この点を考慮して、縦断勾配についてまず検討した。

図-1、表-3から縦断勾配と路床面支持力、含水率の平均値とを対応させてみると、表-7となる。これによると縦断勾配が同じ0%でもNo.1・No.5とNo.2・No.3の間では、支持力において明らかな差の有意性 ($t=2.910, P<1\%$) が認められた。この原因については次のよう

表-7 路床面縦断勾配別の平均支持力と含水率

Table 7. Average bearing capacity and moisture content of subgrade surface on various slope.

測点 No.	1	2	3	4	5	6	平均
項目							
縦断勾配 (%)	0	0	0	5	0	10	2.5
平均支持力 (C·B·R %)	19.6	12.4	12.6	17.5	19.2	15.7	16.2
平均含水率 (%)	38.4	41.6	41.4	39.6	35.1	42.0	39.7

に考えた。同じ縦断勾配0%でもNo.1・No.5は図-1に示したように0%の前後が低くなっており、No.2・No.3は前後が高くなっている。すなわち散水勾配と集水勾配のちがいにあったと考えた。この散水、集水効果が、どの程度の距離にまで影響がおよぶかは不明であるが、少なくともNo.1の縦断勾配0%の距離17m程度にまでは影響があると考えてよいであろう。

以上表-1および表-2に示したような限られた条件の範囲においてはあが、路体構造に係わる因子としての、降水量、蒸発量、気温、路面の縦断勾配についての考察をおこなった。

III. 運材に使用された林道の路体構造

1. 路体構造の調査

a. 調査対象とした林道

調査対象とした林道は、いずれも北海道有林の林道で、林道名等は表-8で、位置は図-3

表-8 運材に使用された林道の路体構造調査の対象とした林道

Table 8. Forest roads for research on structure of road already used to wood transport.

林署 務名	林道名	地質	調査 個数	図-3対 応No.	林署 務名	林道名	地質	調査 個数	図-3対 応No.
苫小牧	厚真川	第3紀天塩統	8	1	当別	六番川	新第3紀天塩統	6	7
厚岸	糸魚沢	古第3紀石狩系	5	2	滝川	南幌加	"	9	8
"	神居岩	"	1	2	名寄	トーフト ナイ	白堊紀蝦夷系	6	9
浦河	仁寒別	先白堊紀日高系	4	3	池田	小花	新第3紀北見統	6	10
美深	物満内	白堊紀蝦夷系	6	4	雄武	奥幌内	"	6	11
浦幌	霧里	古第3紀幌内統	6	5	興部	オタッ ペ	新第3紀天塩統	6	12
旭川	愛山・米飯	第3紀安山岩	7	6		本流			

注. 地質区分は工業技術院地質調査所発行 北海道金属非金属鉱床総覧による

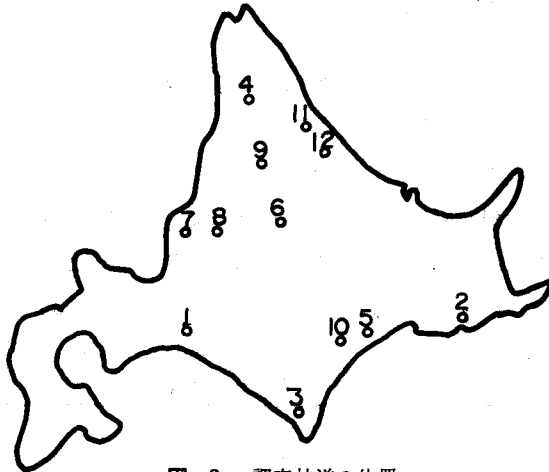


図-3 調査林道の位置

Fig. 3. Location of forest roads for the research.

1. 苫小牧, 2. 厚岸, 3. 浦河, 4. 美深, 5. 浦幌, 6. 旭川
7. 留 萌, 8. 滝川, 9. 名寄, 10. 池田, 11. 雄武, 12. 興部

で示す。

b. 調査の内容

1) 林道路体の垂直横断面図の作成

路体構造の実態を調査するため、林道を横断して深さ1m、幅1m程度、図-4のように路体を掘り割って垂直横断面を作設した。その垂直横断面から図-5に示すような垂直横断面図を作成した。

図-5の記号は、 a_1 : 山側の軌通過部の路盤底と中央部の路盤底との落差、 a_2 : 谷側の a_1 と

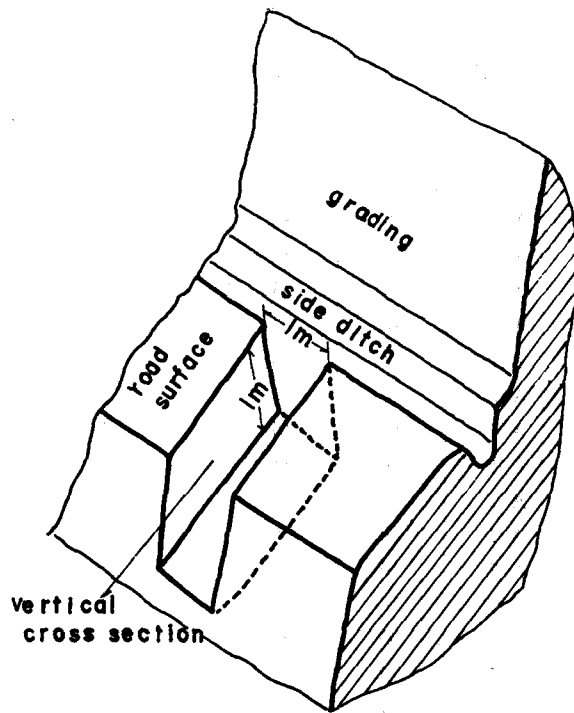


図-4 垂直横断面作設の模式図

Fig. 4. Method for making a vertical cross section of a forest road.

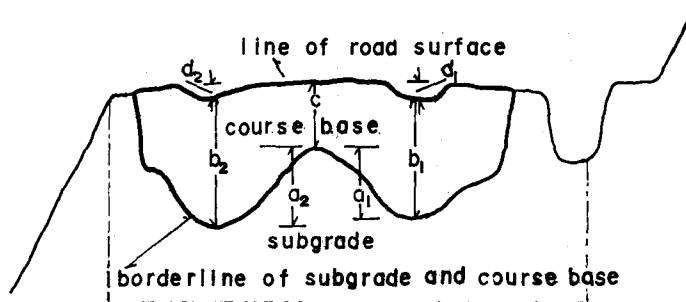


図-5 路体の垂直横断面図模式図

Fig. 5. A model type of vertical cross section.

表-9 路体構造の
 Table 9. Summarized data of

整理番号	林道名	路床土の種類 ASSHO による分類	車輛通過 合計重量 (千ton)	施工時の 設計路盤 厚 (cm)	補修砂利 合計厚 (cm)	轍跡部の路盤厚 (cm)		中央部 中路 厚 (cm) c
						b ₁	b ₂	
1	厚真川	A-5	8	30	30	42	56	0
2	"	A-4	8	30	30	54	54	15
3	"	A-1	8	30	30	21	8	9
4	"	A-2	6	40	20	35	42	20
5	"	A-7	1	40	0	29	30	34
6	"	A-2	1	40	0	44	41	31
7	糸魚沢	A-7	86	25	20	33	28	5
8	"	A-7	86	25	20	52	45	11
9	"	A-2	66	45	0	36	—	12
10	"	A-7	66	45	15	41	48	14
11	"	A-2	66	45	20	45	58	39
12	神居岩	A-7	1	40	0	31	31	17
13	仁寒別	A-1	15	0	30	29	48	28
14	"	A-1	15	0	30	32	—	25
15	"	A-1	15	0	30	51	50	27
16	"	A-1	15	0	30	—	41	30
17	物満内	A-7	54	15	43	84	82	74
18	"	A-1	54	15	43	51	—	52
19	"	A-2	30	50	6	—	95	66
20	"	A-7	16	50	4	70	—	59
21	"	A-7	10	50	4	—	81	66
22	"	A-7	10	50	4	68	—	41
23	霧里	A-1	90	35	0	19	31	26
24	"	A-1	72	35	0	34	34	22
25	"	A-2	67	35	0	37	35	38
26	"	A-2	61	35	0	31	33	29
27	"	A-1	54	35	0	38	33	30
28	"	A-1	44	35	0	33	33	33
29	愛山・米飯	A-2	63	40	0	24	33	23
30	"	A-7	13	40	0	49	40	21
31	"	A-7	9	40	0	64	65	29
32	"	A-2	9	40	0	48	42	43
33	"	A-7	11	40	0	39	44	23
34	"	A-7	11	40	0	51	47	35
35	"	A-2	13	40	0	69	60	73
36	六番川	A-5	76	30	40	46	55	15
37	"	A-7	76	30	35	35	46	15
38	"	A-2	74	30	25	43	38	15

調査結果の概要

researches on road structure.

路面轍跡凹量 (cm)		路盤層の落差 (cm)		路床構築 の方法 切土・盛土	路面の 縦断勾配 (%)	側溝の 深さ (cm)	備 考
d ₁	d ₂	a ₁	a ₂				
7	6	58	67	切	0	35	
3	7	39	39	盛	2	60	
6	10	21	19	切	8	20	
8	11	18	21	盛	0	50	
7	6	7	6	切	1	35	
8	7	27	19	切	5	25	
17	13	45	37	切	1	25	
6	8	46	43	盛	0	135	
10	—	35	—	盛	0	105	幅員の1/2
21	25	11	11	切	1	25	
10	4	15	25	盛	1	45	
5	10	26	23	盛	0	80	
8	12	8	30	盛	0	70	
14	—	18	—	切	0	40	幅員の1/2
13	3	30	25	切	1	40	
—	6	—	15	切	0	35	幅員の1/2
5	0	26	11	切	4	30	
0	—	0	—	盛	2	80	幅員の1/2
—	6	—	25	切	0	30	"
4	—	12	—	切	0	35	"
—	7	—	30	切	1	70	"
6	—	29	—	切	1	30	"
8	7	3	14	盛	1	50	
4	5	16	9	盛	4	40	
8	7	6	4	切	0	35	
6	7	5	8	切	8	30	
4	6	9	7	盛	8	40	
4	5	2	5	盛	3	30	
5	5	8	13	切	8	30	
3	4	36	26	切	6	35	
5	7	38	43	切	7	30	
5	9	8	7	切	5	30	
6	4	21	25	切	7	30	
6	8	23	21	盛	7	310	
8	6	5	-5	盛	2	40	
18	13	50	48	切	12	30	
5	6	20	31	切	1	30	
4	3	22	23	切	4	30	

整理番号	林道名	路床土の種類 ASSHO による分類	車輛通過 合計重量 (千ton)	施工時の 設計路盤 厚 (cm)	補修砂利 合計厚 (cm)	轍跡部の路盤厚 (cm)		中央部 路盤厚 (cm) c
						b ₁	b ₂	
39	六番川	A-2	57	20	30	42	38	24
40	"	A-1	57	10	27	16	21	13
41	"	A-2	57	20	25	23	30	15
42	南幌加	A-6	32	50	10	84	75	82
43	"	A-6	32	50	10	58	75	47
44	"	A-6	8	40	0	62	67	36
45	"	A-6	2	40	0	52	63	46
46	"	A-6	2	40	0	47	41	49
47	"	A-6	4	45	10	51	52	17
48	トーフ ナイ	A-7	45	40	5	37	48	14
49	"	A-7	39	40	15	65	65	27
50	"	A-7	33	40	5	40	48	30
51	"	A-7	9	40	10	54	39	38
52	"	A-7	4	40	20	74	76	34
53	"	A-7	1	40	15	62	60	29
54	小花	A-4	89	35	0	42	40	24
55	"	A-2	82	35	0	42	38	44
56	"	A-2	82	35	0	40	48	30
57	"	A-2	82	35	0	30	26	26
58	"	A-4	42	30	0	76	74	34
59	"	A-7	5	35	0	60	62	29
60	奥幌内	A-2	99	45	0	51	53	41
61	"	A-7	99	45	0	61	50	31
62	"	A-7	99	45	0	47	41	35
63	"	A-7	99	45	0	44	68	14
64	"	A-2	99	45	0	54	57	51
65	"	A-2	99	45	0	58	58	41
66	オタッ 本	A-2	54	40	25	38	43	34
67	"	A-1	54	20	25	22	26	20
68	"	A-1	54	20	25	20	19	15
69	"	A-1	54	20	25	29	29	30
70	"	A-1	54	20	18	18	20	17
71	"	A-1	54	20	18	21	20	16
72	厚真川	A-1	5	40	5	35	23	33
73	"	A-7	5	30	5	44	41	31
74	南幌加	A-6	15	40	0	61	70	35
75	"	A-2	9	40	0	69	68	47
76	"	A-2	9	40	0	43	40	45

(注) 表中の記号は図-5に示した。

路面轍跡凹量 (cm)		路盤層の落差 (cm)		路床構築 方法 の 切土・盛土	路面の 縦断勾配 (%)	側溝の 深さ (cm)	備 考
d ₁	d ₂	a ₁	a ₂				
3	3	17	15	盛	3	40	
6	5	7	13	切	2	30	
8	7	16	22	切	2	55	
3	4	7	9	切	3	35	
0	0	12	30	盛	8	60	
0	0	27	40	切	1	30	
0	0	7	16	盛	3	50	
0	0	2	1	切	3	35	
0	0	37	36	切	3	35	
0	4	37	38	切	1	30	
5	13	40	43	盛	4	35	
10	0	14	16	切	4	35	
6	6	23	4	切	1	40	
7	9	46	49	盛	1	65	
3	5	37	32	切	6	35	
9	5	24	21	切	0	50	
12	14	9	5	切	5	50	
13	10	14	16	切	3	45	
6	3	8	8	切	0	20	
6	9	49	46	盛	2	70	
37	7	32	37	切	1	80	
4	6	12	14	切	7	35	
2	5	33	27	切	1	35	
3	4	16	10	切	6	35	
6	3	40	56	切	4	35	
0	3	6	9	切	2	40	
7	7	19	25	切	8	30	
0	5	6	10	盛	2	130	
6	6	16	10	切	3	30	
5	3	10	7	切	2	30	
4	11	4	6	盛	1	35	
2	4	3	4	盛	2	35	
2	2	5	4	切	3	35	
6	8	2	0	切	3	30	
10	2	27	19	切	1	25	
3	5	26	41	切	0	20	
2	1	11	17	盛	3	40	
1	1	0	0	切	1	40	

同様の落差, b_1 : 山側の路盤厚, b_2 : 谷側の路盤厚, c : 中央部の路盤厚, d_1 : 山側轍の路面凹量, b_2 : 谷側轍の路面凹量 である。

また掘り割りの深さを1m程度としたのは, III章-3で後述する Terzaghi 等の理論式で計算すると, 路面の輪荷重の影響が路面下1mの地点においては, 2%程度に減少するので, 1m程度までの路体の状況がわかれば実用上充分であると考えたからである。

2) 路床の土の分類

土の分類方法としては, 実際の林道作設に適用する事の可能性を考慮して, 篩と液性限界測定器とで比較的簡単に実行でき, 区分の数も少ない ASSHO 法による分類を採用した。

3) 路体の支持力の測定

林道路体の支持力が, 路面からの深さによってどの程度異なるかを知るために, 車輪通過の頻繁な轍跡部と, 車輪通過の殆んどない路面中央部とを対象として現場 C・B・R 試験器と衝撃式地耐力測定器を併用して, 6月から7月にかけての晴天時に測定をおこなった。

4) その他の調査

その他に, この路体構造に係りがあったと考えられる因子として, 路床の構築の方法, 附近の縦断勾配, 側溝深, 作設時の路盤設計厚, 補修砂利量, 作設から現在までの車輛通過量, 附近の気象等を調査した。

2. 調査結果

調査結果の概要を表-9にあげた。表中整理番号23~76は道有林より提供をうけた調査資料を分析したものである。また支持力調査の概要を表-10にあげた。

表-10 路体の支持力調査の概要

Table 10. Summarized data of researches on bearing capacity of road.

路面よりの 支持力 C・B・R (%)		路面よりの 深さ (cm)								
		0	5	10	20	30	40	50	70	80
轍跡部	範 囲*	51.0~ 150.0	28.0~ 90.0	17.0~ 65.0	11.5~ 60.0	4.6~ 23.0	2.1~ 32.0	3.6~ 32.0	2.3~ 15.0	1.9~ 9.3
	平 均	94.4	55.8	37.4	32.3	15.0	12.4	11.3	6.1	4.4
	平 均**	15.0	7.7	9.3	8.5	1.4	12.0	9.3	5.0	—
中央部	範 囲*	8.5~ 65.0	5.0~ 65.0	3.9~ 46.0	4.6~ 32.0	2.5~ 21.0	3.0~ 23.0	2.5~ 15.0	2.1~ 8.5	2.0
	平 均	25.1	20.6	15.4	13.1	8.6	8.8	7.7	4.7	2.0
	平 均**	2.3	2.0	1.8	1.4	1.8	4.2	6.5	3.7	—

(注) *・車輛通過量 6,000 ton 以上. **・車輛通過量 1,000 ton の場合。

3. 考 察

a. 車輛通過量と路体支持力との関係

車輛通過量を林道開設から調査時点までの間に通過した重量(車体重量+積載物重量)の累計として、この車輛通過量と支持力の関係については、通過量 1,000 ton と 6,000 ton 以上とでは表-10 に示したように差がある。しかし 6,000 ton から調査での最大の通過量 86,000 ton までの間には差の有意性は認められなかった。このことに対しては、車輛通過時に輪荷重によって転圧作用が生じ、そのために路体支持力が増大し、累計 1,000 ton から 6,000 ton の間で、支持力の面からみて路体として安定に近い状態に達するものと考えてよいであろう。

車輛通過量 6,000 ton 以上の路体を対象として、路面からの深さ別の支持力と、通過車輛の輪荷重の路体内での分散との関係を検討してみる。

Boussinesq によれば、鉛直な集中荷重 Q が地表面に作用する場合、土が弾性体で均一であって、かつ等方性であるとの仮定のもとに、地中の任意点 N_1 に生ずる鉛直応力 pv は (4)⁵⁾ 式で表わされる。

$$pv = \frac{3Q}{2\pi Z^2} \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{Z}\right)^2} \right\}^{\frac{5}{2}} \quad (4)$$

Z : N_1 点と地表面との鉛直距離, r : N_1 から荷重点までの水平距離

しかし林道路面に加えられるトラックの輪荷重は、集中荷重でなく等分布荷重であるから Terzaghi は (4) 式を半径 R の円形載荷面について積分することによって (5)⁶⁾ 式で表わされるとした。

$$pv = q \left[1 - \left\{ \frac{1}{1 + (R/Z)^2} \right\}^{\frac{3}{2}} \right] \quad (5)$$

q : $Q/\pi R^2$, ただしこの冪数 $\frac{3}{2}$ は固定的でなく、土の種類によって異なる。

表-10 に示した調査結果から、路面下 0~10 cm の深さを除いて冪数 2 がよく適合した。その結果にもとづいて (6) 式を得た。

$$pv = q \left[1 - \left\{ \frac{1}{1 + (R/Z)^2} \right\}^2 \right] \quad (6)$$

積載重量 5 ton 級のトラックによる運材の際の、輪荷重による路体の応力を、トラックのタイヤの接地面の直径を 24 cm とし³⁾、最大接地圧を 11 kg/cm² として⁷⁾ (6) 式によって計算した結果を、車輛通過量 1,000 ton および 6,000 ton 以上の場合の路体支持力とともに図-6 で示した。

図-6 によって、車輛通過量 1,000 ton と 6,000 ton 以上の場合を比較すると、路面からの深さが 40 cm より大きいところでは殆んど支持力の増加がない。これは、路床部が路盤作設時に砂利運搬等の車輪の輪荷重によって、自然的に転圧作用をうけ、その転圧によって増大された

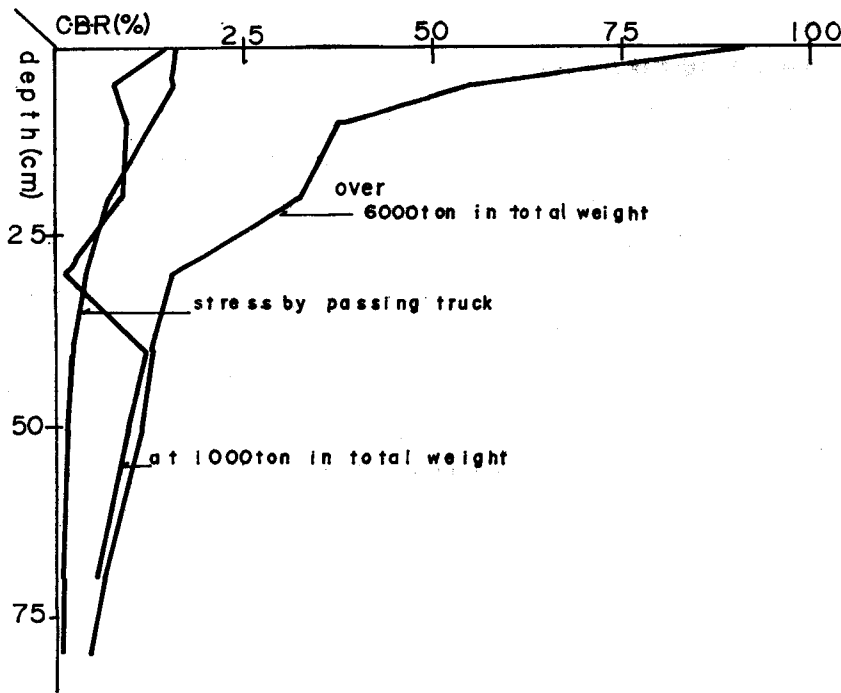


図-6 路体支持力と輪荷重による路体内応力の分布
 Fig. 6. Distributions of bearing capacity and stress by passing truck in road.

支持力が、路体作設後の車輛通過による応力に充分耐えられるからであると考えられる。したがって、路体作設後の車輛通過が、路体に及ぼす影響は深さ0~40 cmの部分において著しく、主としてこの部分の圧縮に伴って路面が沈下し、路体の支持力が増加すると考えられる。

また、安定した路体に近いと考えられる通過量6,000 ton以上の場合の路体の支持力を、(6)式から算出される輪荷重が及ぼす応力と比較してみると、比率が最も大きいのは路面で輪荷重の6.0倍、最も小さいのは深さ10 cmの点で2.9倍、平均して4.3倍となっている。これは気象条件の良好な時の支持力についての比較であり、気象条件の変化を考慮するならば、この程度の支持力を有することは、必要であると思われる。

b. 路床土の種類に関する分析

路床土の種類は、路体構造に係わる因子のうちでも、最も与える影響が大きい因子の一つと考える。

表-8に示した林道の路床土の種類を、ASSHO法にもとづいてA-1からA-7までの7種類に分類し検討した。その結果A-1, A-2, A-4~7に関しては、路体構造を路床土の種類と関連づけて分析できたが、A-4, A-5, A-6, A-7相互の間では、分析できなかった。

林道の路体構造を、路床土の種類に対応させて検討する場合、ASSHO法の定めている種類を、A-1, A-2, A-4~7の3種類に修正して林道作設技術として適用できるようにする方が

表-11 路床土の種類別にまとめた調査結果

Table 11. Summarized data of research on road classified by the kind of subgrade soil.

路床土の種類		施工時の 路盤厚 (cm)	補修砂利 合計厚 (cm)	轍通過部 の路盤厚 b (cm)	中央部の 路盤厚 c (cm)	路面の 轍跡凹量 d (cm)	路盤層 落差 a (cm)	車 輛 通過量 千 ton
A-1	範 囲	0~30	0~30	15~48	9~33	2~14	5~20	8~90
	平 均	23.3	15.2	28.2	23.5	6.3	10.0	50.1
A-2	範 囲	20~45	0~30	27~58	15~51	2~13	5~25	6~99
	平 均	37.7	11.2	42.1	32.0	6.1	14.0	65.2
A-4~7	範 囲	15~50	0~43	29~83	5~74	0~16	14~49	8~99
	平 均	37.1	9.3	54.4	30.3	5.8	30.0	75.7

(注) 表中の記号は図-5に示した。

適切と考えた。この3種類を、一般的な土の種類と呼称と対応させると、A-1は砂礫(砂利質土)、A-2は砂質土、A-4~7はシルト粘土質土となる。

この3種類の路床土別に、支持力から推定して安定路体と考えられる車輛通過量6,000 ton以上のカ所についての調査結果を表-11にまとめてみた。

この表から、路床土の種類と関連付けてまず考えられるものは、轍跡部の路盤厚である。この路盤厚は、支持力の点で安定に近い路体構造となるために、それぞれの路床土が必要とする路盤厚であると考えてよいであろう。この路盤厚は路床土の種類による差の有意性が認められた。次に上に述べた路盤厚を、各路床土が必要としたことから、路体構造上各路床土が耐えうる輪荷重を、(6)式から推定すると、その各路床土で作設された路床が耐えうる輪荷重の比率はA-1では路面の輪荷重の22%、A-2では11%、A-4~7では7%となる。このことはA-1の路床土の支持力を1とすると、A-2で約1/2、A-4~7で約1/3であることを意味している。

路面の凹量には、路床土の種類による差がないと考えてよいであろう。

次に路盤層の落差の程度を表わすa値について検討してみる。既設林道を調査対象とする場合、その林道の作設当初からの情報を途中で断絶せざるに、連続して伝えている部分が必要とされる。路面は、補修等で断絶的な増減を併なうが、路床と路盤との境界線は、路面のようなことがなく連続的に情報を伝えているものと考えられる。この路床・路盤線の形状を数量的に表現するための一つの方法としてa値を設定した。

a値の変動過程は次の二つの段階に分けることができる。一つは路床上に路盤を作設する際の、路盤材料等を運搬する車輛によって路床上に轍ができて、それがa値となる段階、他の一つは、路体完成後の車輛通過により路床部も沈下し、それが原因となってa値が増大する段階である。

したがって、このa値の変動の過程を知ることは、路床の支持力、必要とされる路盤厚に

ついて推定する一つの根拠となる。

表-11 から a について、路床土の種類別に差の有意性をみると、A-4~7 と他との間では差の有意性が認められたが、A-1 と A-2 の間では差の有意性は認められなかった。a についてその他の検討は、IV 章でおこなう。

c. 路床構築の方法に関する分析

b 項での検討で、路体構造は路床土の種類別に考える必要があることがわかった。次に路床土の種類別に路床構築の方法について検討してみる。

表-9 の調査結果を、路床土の種類、路床構築の方法別にまとめたものが表-12 である。この表に示された a 値、b 値について、同一路床土間で差の検討をおこなってみると、差の有意性が認められたのは、A-1 路床土での b 値だけで他では差の有意性は得られなかった。この結果から、安定路体となるために必要とされる路盤厚は、路床の構築別には影響されることが少ないと考えることができる。

a 値についてみると、差の有意性が認められたのは b 値と同じ A-1 路床土の場合だけで、A-2、A-4~7 では差の有意性は得られなかった。

A-1 の路床土で、a 値が盛り土工による路床構築の方が小さいことは、盛り土のため一度乱した土でも A-1 は締めかためやすい⁸⁾ 性質を持っている事によるものと思われる。

表-12 路体構造を路床土の種類別・路床構築の方法別にまとめた表

Table 12. Summarized table on the road structure classified by the kind of subgrade soil and by the construction method of subgrade.

路床土の種類	路床構築の方法	b (cm)	c (cm)	a (cm)
A-1	切り土	27.4	21.7	11.9
	盛り土	29.3	26.3	7.2
	こみにした値	28.2	23.5	10.0
A-2	切り土	41.8	33.2	13.1
	盛り土	42.8	29.3	16.0
	こみにした値	42.1	32.0	14.0
A-4~7	切り土	53.9	31.0	29.1
	盛り土	56.8	27.0	34.2
	こみにした値	54.4	30.3	30.0

(注) 表中の記号は 図-5 で示した。

d. その他の因子による分析

路体構造に係わるその他の因子として、縦断勾配と側溝深をとりあげ、路床土の種類別に

表-13 にまとめた。

この関係について検討したが、これらの因子が路体構造に及ぼす影響については、調査箇所が少ないこと等のために分析できなかった。

表-13 路床土・縦断勾配・側溝深別にまとめた a 値と b 値
Table 13. Summarized values of a and b classified by the kind of subgrade soil, surface slope and depth of side ditch.

路床土の種類	縦断勾配 (%)	側溝深 (cm)	b (cm)	a (cm)
A-1	0~3	0~24	—	—
		25~44	(12) 28.1	9.3
		45~	(2) 29.5	11.0
	4~7	0~24	—	—
		25~44	—	—
		45~	—	—
	8~	0~24	(1) 20.0	15.0
		25~44	(2) 34.0	7.5
		45~	—	—
A-2	0~3	0~24	(1) 28.0	8.0
		25~44	(2) 48.0	11.5
		45~	(4) 39.0	16.8
	4~7	0~24	—	—
		25~44	(3) 46.0	15.3
		45~	(1) 40.0	7.0
	8~	0~24	—	—
		25~44	(2) 43.0	15.5
		45~	—	—
A-4~7	0~3	0~24	(1) 66.0	34.0
		25~44	(12) 52.1	28.4
		45~	(5) 57.2	34.4
	4~7	0~24	—	—
		25~44	(6) 56.0	29.2
		45~	—	—
	8~	0~24	—	—
		25~44	(1) 51.0	49.0
		45~	(2) 58.0	22.5

(注) () 内は調査箇所数、表中の記号は 図-5 で示した。

IV. 作設直後の林道の路体構造

1. 路体構造の調査

この章における調査の実実施計画、測定方法は筆者が策定し、調査対象林道での測定は、北海道林務部がおこなった。以下にその調査資料⁹⁾を検討した経過について述べる。

a. 調査対象林道

調査対象とした林道は、いずれも北海道有林の林道で、林道名等は表-14で示す。

表-14 作設直後の林道の路体構造調査の対象とした林道
Table 14. Forest road for research on structure of road just after construction.

林務署名	林道名	調査個数	林務署名	林道名	調査個数
苫小牧	クオーベツ	5	旭川	102 林班林道	3
当別	37 林班林道	3	美深	7 線 沢	6
岩見沢	73 林班林道	3	雄武	2 線 沢	5
"	42 林班林道	8	北見	最 上	3
旭川	59 林班林道	3	池田	105 林班林道	2

b. 調査方法

1) 林道路体の垂直横断面図の作成

作成方法は III 章-1-b-1) と同じ方法を採用した。

2) 路床土の土の分類

実際に道有林で分類されている方法によった。そして ASSHO 法による分類と以下に示すように対応させた。

A-1: 砂礫 (砂利質土), A-2: 砂質土, A-4~7: 粘性土 (シルト・粘土質土)。

3) 路盤作設時の降水量の測定

降水量は、路床の支持力に大きな影響をおよぼすので、路盤作設時の前 10 日間の降水量を測定した。

4) その他の調査事項

その他に、この路体構造に係りあったと考えられる因子として、路床の構築の方法、附近の縦断勾配、路盤作設に使用した車輛の種類、設計路盤厚、1 回の路盤材料巻き出し厚を調査した。

2. 調査結果

調査結果を表-15で示した。

表中の路床構築の種類の欄の「切」は切り土工、「盛」は盛り土工、「片」は片切り盛り土、すなわち山側が切り土工により、谷側が盛り土工によって構築されたことを示す。

表-15 林道作設直後の路体についての調査結果

Table 15. Data of investigation on road structure obtained immediately after the construction of forest roads.

整理 番号	林道名	路床土 の種類	路盤作設時 使用車輛積 載量 (ton)	b (cm)		c (cm)	a (cm)		路床構 築の種 類	路床の 湿状 況	設 計 路盤厚 (cm)	縦 断 勾 配 (%)
				b ₁	b ₂		a ₁	a ₂				
1	クオーベツ	砂質土	7	53	46	30	23	16	片	中	40	1
2	"	"	"	56	53	31	25	22	切	中	40	1
3	"	"	"	53	53	31	22	22	盛	中	40	5
4	"	"	"	53	45	30	23	15	切	中	40	4
5	"	"	"	50	45	30	20	15	切	中	40	3
6	当別37林班	粘性土	6	63	55	40	23	15	片	乾	40	3
7	"	"	"	75	70	55	25	15	盛	湿	50	2
8	"	砂質土	"	45	40	20	25	15	切	乾	30	8
9	岩見沢73林班	"	"	23	25	18	8	15	片	乾	15	5
10	"	"	"	18	31	8	13	24	片	乾	15	8
11	"	"	"	20	30	18	8	13	片	乾	15	7
12	岩見沢42林班	"	"	20	28	3	17	25	片	乾	15	11
13	"	"	"	25	35	8	17	27	片	乾	15	10
14	"	"	"	19	23	10	9	13	片	乾	15	10
15	"	"	"	23	22	10	13	12	片	乾	15	5
16	"	"	"	20	23	9	11	14	片	乾	15	3
17	"	"	"	18	20	9	9	11	片	乾	15	5
18	"	"	"	22	28	10	12	18	片	乾	15	2
19	"	"	"	25	28	10	15	18	片	乾	15	2
20	旭川59林班	粘性土	"	33	33	10	23	23	片	乾	25	7
21	"	"	"	28	28	8	20	20	盛	乾	25	2
22	"	"	"	24	33	10	14	23	片	乾	25	11
23	旭川102林班	"	"	23	23	0	23	23	片	乾	25	8
24	"	"	"	25	20	8	17	12	片	乾	25	6
25	"	砂礫	"	16	15	8	8	7	片	乾	25	6
26	美深7線沢	粘性土	"	65	60	43	23	17	切	湿	55	0
27	"	"	"	75	75	38	37	37	盛	湿	55	0
28	"	"	"	55	63	38	17	25	片	乾	55	8
29	"	"	"	63	65	30	33	35	盛	乾	55	8
30	"	砂礫	"	51	50	40	11	10	盛	乾	50	2
31	"	"	"	53	49	43	10	6	盛	乾	50	2
32	雄武2線沢	"	"	40	48	33	7	15	切	乾	45	10
33	"	"	"	40	35	43	-3	-8	片	乾	40	1
34	"	"	"	43	46	48	-5	-2	切	乾	40	5
35	"	"	"	38	40	43	-5	-3	盛	乾	40	3
36	"	"	"	50	50	43	7	7	切	乾	50	10
37	最上	粘性土	"	44	49	28	16	21	片	乾	40	4
38	"	"	"	60	65	52	8	13	片	乾	60	1
39	"	"	"	37	54	26	11	28	片	乾	40	6
40	池田105林班	砂質土	"	45	30	18	28	10	切	中	40	3
41	"	"	"	36	45	18	28	32	盛	中	40	2

(注) 表中の記号は図-5で示した。

また路床の乾湿状況の欄については、II章-3-aにおける結果から判断して、路盤作設前3日間の雨量の累計により状況を区分した。すなわち乾は0~4mm、中は5~14mm、湿は15mm以上とした。

3. 考 察

II, III章での考察の結果を参考にして、路床の変形におよぼす影響の大きな因子として、路床土の種類、路床構築の方法、路盤作設時の路床の乾湿状況を取りあげ、この3種類の因子別にa値、b値について検討した。

この3種類の因子別にまとめた結果を表-16に示す。

表-16 路床土の種類・路床の乾湿・路床構築の方法別にまとめたa値とb値

Table 16. Summarized values of a and b classified by the kind and humidity of subgrade soil, and construction method of subgrade.

路床土の種類	路床の乾湿	路床構築の方法	b (cm)	a (cm)
砂 礫	乾	切 り 土	(3) 33.3	5.3
		盛 り 土	(5) 38.2	2.8
	中	切 り 土	(2) 47.5	2.0
		盛 り 土	—	—
	湿	切 り 土	—	—
		盛 り 土	—	—
砂 質 土	乾	切 り 土	(12) 23.0	12.7
		盛 り 土	(12) 27.7	17.1
	中	切 り 土	(5) 48.6	20.6
		盛 り 土	(3) 46.7	23.3
	湿	切 り 土	—	—
		盛 り 土	—	—
粘 性 土	乾	切 り 土	(8) 38.6	16.9
		盛 り 土	(10) 42.9	20.5
	中	切 り 土	—	—
		盛 り 土	—	—
	湿	切 り 土	(1) 63.0	20.0
		盛 り 土	(2) 74.0	28.5

(注) ()内は調査箇所数、表中の記号は図-5で示した。

a. a 値の検討

1) 路床土別の差の有意性について

調査箇所の条件のばらつきが大きく、路床土の状況が乾の場合しか検討できなかったが、3種類の間でそれぞれ差の有意性が認められた。

2) 同一路床土での路床状況別の差の有意性について

砂質土での乾・中、粘性土での乾・湿についての検討しかできなかったが、それぞれ路床の乾湿状況のちがいによる差の有意性が認められた。

3) 同一路床土、同一路床乾湿状況での路床構築の方法別の差の有意性について

差の有意性が認められたのは、砂質土の乾、粘性土の乾での場合であった。

以上の検討の結果、路床土の種類、路床の乾湿のちがいによって、a 値にかなりはっきりしたちがいがあると考えてよいであろう。

また路床構築の方法によっても、a 値は影響をうけると考えてよい。

4) その他の条件での検討

その他、a 値の形成に係りがあると思われる因子として、縦断勾配、側溝深、路盤作設に使用した車種、路盤材料の巻き出し厚等考えられる。しかしこの調査からは、これらの因子については分析できなかった。

b. 安定路体での a 値と路体作設直後の a 値との関連について

III 章で検討した安定路体となった a 値 (以後 a_s 値とする) と、路体作設直後の a 値 (以後

表—17 路床土の種類・路床構築の方法別にまとめた a_s 値と a_t 値

Table 17. Summarized values of a_s and a_t classified by the kind of subgrade soil and construction method of subgrade.

路床土の種類	路床構築の方法	a_s	a_t	$a_s - a_t$
A-1	切 り 土	11.9	5.3	6.6
	盛 り 土	7.2	2.8	4.4
	こみにした値	10.0	3.8	6.2
A-2	切 り 土	13.1	12.7	0.4
	盛 り 土	16.0	17.1	-1.1
	こみにした値	14.0	14.9	-0.9
A-4~7	切 り 土	29.1	16.9	12.2
	盛 り 土	34.2	20.5	13.7
	こみにした値	30.0	18.9	11.1

(注) a_s : 路体安定時の a 値
 a_t : 路体作設直後の a 値

a_i とする)とを, 路体構造との係り合
いについて検討する。

まず差の有意性が認められたか,
あるいはそこまで行かなくても, 危険
率20%においてならば差があるとい
い得るような a_0 , a_i をまとめてみると
表-17となる。

a_i については, 路床の状況が乾の
結果を適用した。

表-17から推定できることは, 路
床構築方法のちがいによる a 値の差は
路体作設時の a_i の差によるもので,
車輛通過による路体変形におよぼす,
路床構築のちがいによる影響は, 少な
いと考えることができる。また III 章
で調査対象とした林道路床土の支持力
に対しては, 路床の沈下量は, 路床土
の種類に拘らず同じ程度であると予想
して路盤厚を決めていたとすれば,

($a_0 - a_i$), すなわち車輛通過による路床の沈下量から判断して, A-1の路床の支持力を若干過大に, A-2のそれを過小に, A-4~7のそれを過大に評価して設計していたことになる。

次に a_i を, 路床土のちがいによるための支持力のことなる路床で, 同一の支持力を得るための, 輪荷重による転圧作用の結果として表われた沈下量と考え, この沈下量を A-4~7を1とした場合の A-1, A-2での割合と, III章-3-bで検討した安定路体に必要な路盤厚から推定した A-1の路床土の支持力を1とした割合から, 路床の沈下割合と, 支持力割合の関係を図示すると図-7となり, 3点は直線上で一致した ($r = -0.9996$)。このことは, 路床の沈下割合と, 支持力割合の増減が一次函数的な関係にあることを意味している。

V. 縦断勾配, 側溝深が路面沈下に与える影響について

1. 調査の方法

a. 調査対象とした林道

昭和45年に北海道雨竜郡幌加内町北海道大学雨竜地方演習林で, 表-18に示した林道を作
設し, 調査の対象とした。

表-18で示したような, 路床土の種類, 路床の構築方法, 路盤厚が同じ条件で, 縦断勾配

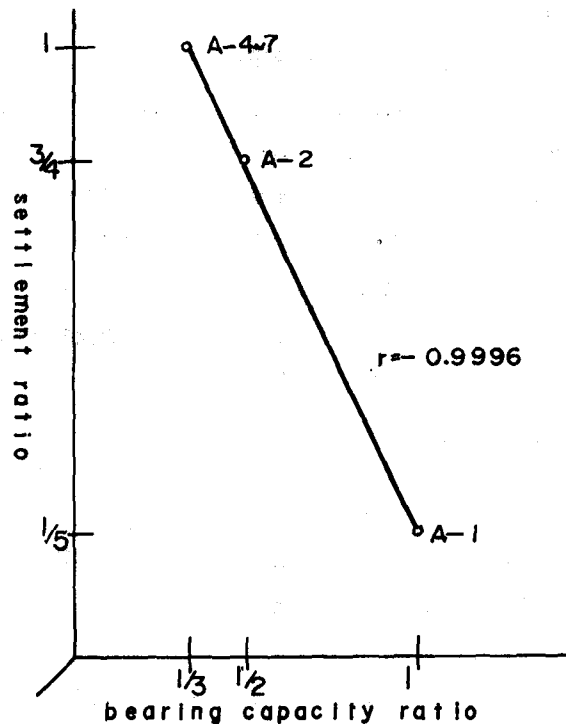


図-7 支持力割合と沈下割合との関係

Fig. 7. Relation between bearing capacity ratio and settlement ratio.

表-18 路面沈下調査の対象とした林道の主要諸元

Table 18. Main elements of forest road for research on settlement of road surface.

基 岩	路床土の種類	塑性指数	路床構築の方法	対象延長	路盤厚
第3紀安山岩	A-2	13.0	切り土	1区間 40 m 計 360 m	25 cm

表-19 測定区間別の縦断勾配と側溝深

Table 19. Surface slope and depth of side ditch in each measuring section.

区間記号	G-25	G-40	G-60	M-25	M-40	M-60	S-25	S-40	S-60
縦断勾配 (%)	1.6	3.4	0.4	6.2	5.5	6.8	11.9	10.0	11.2
側溝深 (cm)	25	40	60	25	40	60	25	40	60

と側溝深を変化させた9種類の測定区を調査対象として設定した(表-19参照)。

b. 測定方法

路面沈下の測定は、調査区間にトラックを通過させ、その際の軸の高低をレベルで測定することによっておこなった。測定は各区間の左右両軸に5m置きに計14カ所の固定測点を設置し、常にその点の高低を測定するようにした。

測定日は気象条件を一定にするために、測定前一週間の降水量の累計が3mm以下、前3日間の累計が0mmの日を選んでおこなった。

路面の通過に使用したトラックは、型式いすゞTX50-2、42年式、荷重として砂利を積載した後トラックスケールによる計測で、全重量は9,950kg(≒10ton)となった。タイヤは前単輪、後複輪(8.25-20-14P)を使用していた。

路面の支持力測定は、現場C・B・R試験器によって、路面沈下測定の前直前におこなった。

2. 調査結果

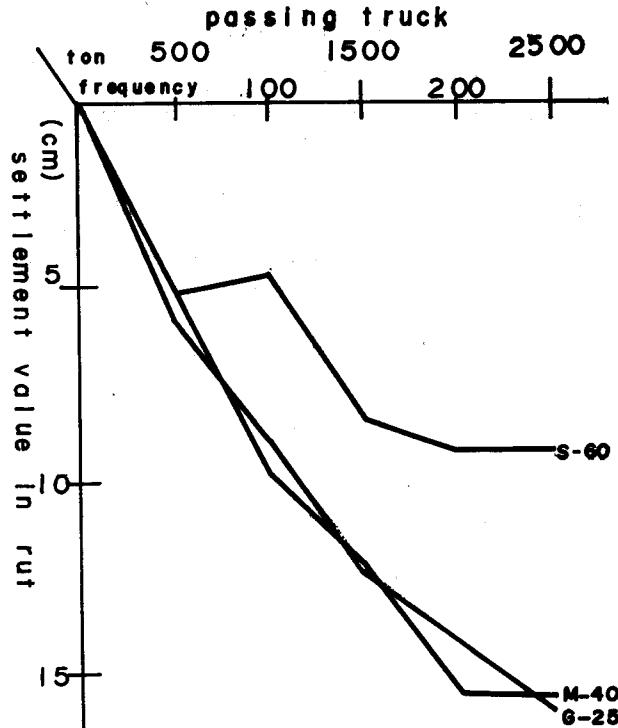
調査結果の概要を表-20に示した。

表-20の結果のうち、特徴があると思われるG-25、M-40、S-60の区間における車輛通過回数と沈下量との関係を図-8に示した。

表—20 路面沈下調査結果の概要

Table 20. Summarized data of research on settlement of road surface.

区間記号		G-25	G-40	G-60	M-25	M-40	M-60	S-25	S-40	S-60
車輛通過前の路面支持力 C·B·R (%)	範囲	2.8~9.1	2.1~5.6	2.1~5.6	2.1~4.2	3.5~9.8	0.7~1.4	9.1~11.2	6.3~11.2	2.1~4.9
	平均値	5.1	3.4	3.4	3.7	6.2	1.1	8.1	8.6	3.7
車輛通過50回後の沈下量 (cm)	範囲	2~11	2~11	6~12	4~11	4~12	3~8	4~10	2~11	2~9
	平均値	5.7	5.8	8.8	7.5	4.9	6.3	6.7	4.9	5.0
車輛通過100回後の沈下量 (cm)	範囲	5~13	7~15	10~17	8~17	6~14	8~12	4~10	5~12	3~9
	平均値	8.9	12.0	12.6	12.5	10.7	9.4	6.4	7.2	4.5
車輛通過150回後の沈下量 (cm)	範囲	8~19	12~16	12~19	10~19	9~18	8~13	7~11	9~13	4~13
	平均値	12.3	14.0	14.2	14.1	12.2	9.9	9.3	10.9	8.4
車輛通過200回後の沈下量 (cm)	範囲	10~19	12~19	14~19	11~19	10~20	8~13	9~12	10~15	5~14
	平均値	14.2	15.0	16.1	15.0	15.5	9.5	10.7	11.9	9.2
車輛通過250回後の沈下量 (cm)	範囲	12~21	12~19	15~19	11~21	11~21	8~14	10~14	11~15	5~14
	平均値	16.1	15.3	16.8	15.5	15.6	10.4	11.3	12.1	9.1



図—8 車輛通過回数と沈下量との関係

Fig. 8. Relation between frequency of passing truck and settlement value in rut.

3. 考 察

a. 縦断勾配についての分析

表-19での9種類の縦断勾配を3区分し、0.4~3.4%を緩勾配、5.5~6.8%を中勾配、10.0~11.9%を急勾配とした。またここでの検討の対象とした沈下量は、車輛通過250回での沈下量とした。

側溝深25cmでの勾配別の差の有意性は、急勾配と他の勾配との間で得られた。40cmでは、25cmと同様に急勾配と他の勾配との間で得られた。60cmでは、緩勾配と他の勾配との間で得られた。いずれの場合も、緩勾配と急勾配では差があり、沈下量は急勾配の方が少ない。

b. 側溝深についての分析

緩勾配での側溝深別の差の有意性は、各側溝深間とも得られなかった。

同様に中勾配では、60cmとその他の側溝深との間で差の有意性が得られた。

急勾配では、各側溝深間とも差の有意性は得られなかった。しかし60cmと他との間での傾向(危険率20%で有意)はあるといえる。

c. 車輛通過回数と沈下量との関係

車輛通過回数の増加にとまらぬ沈下量の増加の状態から、類似した傾向にあるものにgroupingしてみた。

車輛通過回数250回での沈下量からみて、差の有意性のあるgroupと、通過回数200回から250回の増加率に差のあるgroupとに分けて考えてみた。増加率をとり上げた理由は、沈下量が少なくなり路体が安定に向っているか、まだ沈下が続行するかを判断する根拠となるからである。

その結果表-21に示した3つのgroupに分けることができた。図示すると図-9となる。

表-21 沈下の特徴によってまとめた車輛通過回数と轍の沈下量の関係

Table 21. Relation between frequency of passing truck and settlement value at the rut classified by the characteristic of settlement.

集 団 の 番 号	1	2	3
特 徴	沈下量が大きく 増加率が少ない	沈下量が小さく 増加率が少ない	沈下量が大きく 増加率が大きい
区 間 記 号	G-40・G-60 M-25・M-40	M-60・S-25 S-40・S-60	G-25
車輛通過 50回後の沈下量 (cm)	6.8	5.7	5.1
" 100回 "	12.0	6.9	8.9
" 150回 "	13.6	9.6	12.3
" 200回 "	15.4	10.3	14.2
" 250回 "	15.8	10.7	16.1

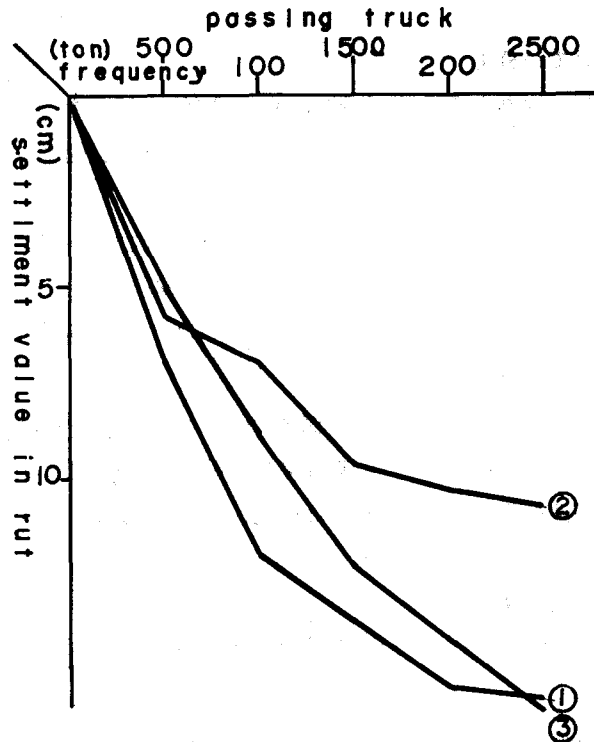


図-9 車輛通過回数と沈下量との関係

Fig. 9. Relation between frequency of passing truck and settlement value in rut.

(注) 図中の ①, ②, ③ は表-21 の集團の番号

この図から、車輛通過回数と沈下量との関係を検討してみると、沈下量が少ない group の場合は、沈下の進行が通過回数 150~200 回の間で急速に遅くなることが認められる。この group には、急勾配と中勾配の側溝深 60 cm の区間が属している。沈下量が多い group の場合は、沈下の進行が急速に遅くなるのは、通過回数 200~250 回との間で、沈下量が少ない場合より 50 回程度遅れている。この group には緩斜地の側溝深 40 cm, 60 cm と中勾配の側溝深 40 cm の区間が属している。また通過回数 250 回迄には沈下の進行が遅くならなかった区間として、緩勾配の側溝深 25 cm がある。

文献によれば、転圧機による締め固め回数と沈下量の関係には (7) 式で表わされる実験式¹⁰⁾ がよく適合することが認められている。

$$\Delta h_N = \frac{N}{a+bN} \quad (7)$$

ただし、 N : 締め固め回数、 Δh_N : 転圧後の転圧前の面からの沈下量 (cm)、 a, b : 係数。

いま轍の沈下を、車輛通過の際の輪荷重による一種の締め固め作用による沈下と考え、車輛通過回数と沈下量の関係に (7) 式を適用することができる。(7) 式を変形して

$$N/\Delta h_N = a + bN \quad (8)$$

が得られる。表-20の測定値を用い、 N の変化に対する $N/\Delta h_N$ の回帰を(8)式によって表してみた。どのgroupの場合にも係数は有意となり、次の式が得られた。

group 1の場合

$$\Delta h_N = \frac{N}{4.7 + 0.0424N} \quad (9)$$

group 2の場合

$$\Delta h_N = \frac{N}{6.1 + 0.0682N} \quad (10)$$

group 3の場合

$$\Delta h_N = \frac{N}{8.3 + 0.0286N} \quad (11)$$

N を増加してゆくと(12)式が得られる。

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Delta h_N = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N}{a + bN} = \frac{1}{b} \quad (12)$$

式(12)によると沈下量は $1/b$ に近づくことになる。(12)式による最終沈下量をgroup別に推定してみると、group 1: 23.6 cm, group 2: 14.7 cm, group 3: 35.0 cmとなり、group別には可成りの差ができることになる。

ま と め

林道の路体構造を決めるため、明らかにしなければならない因子として、I章-1で10項目を設定した。

この章では、これまでおこなった調査からこれらの因子について、どのような知見が得られたかを整理し、次に、得られた知見が実際の路体作設の指針なり、技術なりにとり入れることができるかどうかについて検討してみた。

1. 機能因子について

a. 使用車輛の種類について

今回の調査は、林道機能の主力である林産物搬出を想定し、5~6 ton 積み級のトラックでの調査にとどめた。したがって他の車種についての分析はおこなえなかった。最近運材に使用されるトラックの載積量が5~6 ton 級から8~11 ton 級に移行しつつあること等考えると、8~11 ton 級のトラックでの分析も必要となる。

b. 車輛の通行量について

III章-3-aで検討した「車輛通過量と路体支持力との関係」から、車輛通過量6,000 ton 程度になると路体支持力からみて安定路体となることから、路体が大きく変形するのは、6,000 ton

未満の通過量のとくと考えることができる。

c. 林道の使用年数・使用時期について

林道の使用年数については、とくに分析をおこなえなかった。しかし路体構造に与える影響を考えると、路体支持力が大きく変動する時期に車輛が通過するかどうかの方が与える影響が大きいと思われる。

II章-3-a~bで検討したように、路面が凍結、融解をうけない時期でも、降水量の変動によって路面の支持力は、最低時には最高時の $\frac{2}{3}$ 程度となり、融解期には $\frac{1}{2}$ 程度に減少する。

このように、とくに路面支持力が減少する融解期に車輛を通すかどうかによって、路体構造は大きくちがってくる。

2. 自然因子について

a. 土質について

路床を構成する路床土の種類によって、路体構造は大きく影響をうける。III章-3-bでの検討から、路床土別の支持力の割合はA-1を1とすると、A-2で約 $\frac{1}{2}$ 、A-4~7で約 $\frac{1}{3}$ となり、この路床土に必要とされる路盤厚として、A-1で30 cm、A-2で45 cm、A-4~7で55 cmを一つの基準として考えることができる。

b. 降水量、蒸発量について

或る時点における路面の支持力は、前3日間の(降水量-蒸発量)の累計に大きな関係がある。II章-3-aでの検討では、(降水量-蒸発量)の3 mmの増加は支持力でC・B・R約1%の減少となっている。

また支持力は前3日間の(降水量-蒸発量)の累計に比例することから、年間の降水量、蒸発量を知ることによって支持力の年間の変動が予測できる。

c. 気温について

路面が凍結をうけるか、融解をうけるかによって、路面支持力は大きな影響をうける。

II章-3-bでの検討から、凍結期では通常期の1.5倍、融解期では通常期の $\frac{1}{4}$ 程度の路面支持力となる。

3. 設計因子について

a. 路床構築の方法について

III章-3-c、IV章-3-aでの検討で、路盤作設直後での路床の支持力は、盛り土工による場合の方が小さい(A-1路床では逆)が、安定路体に達した時点では差が認められないことから、路床構築のちがいによる影響は少ないと考えることができる。

b. 縦断勾配について

II章-3、V章-3-aでの検討で、縦断勾配0%程度と10%程度とでは、支持力、路面沈下量とも差が認められ、緩勾配では支持力で急勾配の $\frac{3}{4}$ と小さく最終沈下量では1.6倍と大きい。

c. 側溝深について

V章-3-bでの検討で、側溝深 60 cm と 40 cm 以下では差がある。側溝深 40 cm 以下の区間では支持力で 60 cm の区間の 4/5 と小さく、最終沈下量では 1.3 倍と大きい。

4. その他明らかになった事項

路体の支持力には、表面に加えられた荷重が鉛直方向に分散する場合の Terzaghi の理論式がよく合致する。ただし式 (6) にあげたように冪数 2 がこの場合よく適合した。

車輛通過の際の輪荷重による轍通過部の沈下量と車輛通過回数との関係には、転圧機による転圧回数と路面沈下量との関係の実験式 (7) 式がよく合致する。

5. 各因子の林道設計への適用の一例

以上の調査から各因子について得られた知見をもとにして表-22 で示した路体構造の基本型を仮定した。次にこの基本型からの路体構造の変動は、各因子個々の基本型からの変動の結果として表現されるものと考えた。そのためには、各因子の単位のちがう変動を、同一の単位の変動に置換する必要がある。

筆者は、同一の単位として路面支持力をとることにして、各因子の林道設計への適用について検討してみた。

その一例として、各因子の変動を調査結果から得られた路面支持力の変動に換算して表-22 に示した基本型からの路面支持力割合 2.0 を得た。このことは、基本型の路盤厚 45 cm のままであると、必要とされる路面支持力の 2.0 倍の支持力が得られる路体構造であることを意味

表-22 林道設計への因子の適用例

Table 22. An example for application of factors to planning of forest road.

段階	計 画			調 査		設 計			
	機 能 因 子			自 然 因 子		設 計 因 子			
因 子	使用車種 (ton)	通過時期	運材材積 (m ³)	降 水 量	路 床 土	縦断勾配 (%)	側溝深 (cm)	路 體 構 築 法	路 盤 厚 (cm)
基本型	5,6 級	融解期を さける	3,000	北 海 道 平 均	A-1 A-2 A-4~7	3	40	切 り 土 盛 り 土	30 45 55
各因子に与える条件									
与え た 条 件	5,6 級	融解期を さける	30,000	10 mm 少ない	A-2	9	60	盛 り 土	路面の支 持力割合
支 持 力 変 換 率	1	1	1	$1+10 \times \frac{1}{50}$ *	1	4/3	5/4	1	2.00*

* $1 \times 1 \times 1 \times \frac{60}{50} \times 1 \times 4/3 \times 5/4 \times 1 = 2.00$

* II章-2の調査結果から推定して、降水量 1 mm の減少は、路面支持力が $\frac{1}{50}$ だけ増加することになる。

するものである。この不必要な支持力を路盤厚を減ずることによって、調整できるものと考えた。次にこの調整する程度を以下のように考えた。安定路体が要求する支持力の分布は図-6に示したようになるとするならば、この路面支持力を1/2.0とする点すなわち $94.4/2=47.2\%$ でよいことになる。この47.2%に相当する路面からの深さは、路面支持力47.2%から垂線を下して曲線との交点から左へ水位線を引き、路面からの深さと交わる点7 cmを得る。この値を基本型45 cmから減ずる路盤厚と考えることにした。

この適用例は、路盤厚算出の考え方の一例を示したのみであり、路体構造に係わる各因子の分析だけでなく、各因子間の相互作用も検討した上でないと、支持力変換率の単純相乗には問題があると思われる。

6. 今後の研究課題

今後の課題として、路床土A-1, A-4~7についてもA-2と同程度の分析をおこなうことならびに今回触れられなかった、車輛の種類の違いが路体構造にどう影響するかを分析する必要がある。

最後に、各因子の実験的な分析結果に理論的根拠を与え、実際の林道作設に技術として適用できるよう演繹することが必要と思われる。

文 献

- 1) 片平信貴：道路工学。技報堂，1956。
- 2) 湊 克之：作業道の経済的作設法について 一降水量と路盤支持力との関係一。日林北支講，17，146-149，1968。
- 3) 湊 克之：林道の経済的作設法について 一既設林道の垂直横断面の調査一。日林北支講，18，221-222，1969。
- 4) 北海道大学雨竜地方演習林母子里気象観測所：気象観測資料。
- 5) チェボタリオフ：土質工学。技術堂，1957。
- 6) TERZAGHI and R.B. PECK: Soil mechanics in engineering practise. John Wiley and Sons, 1948, New York.
- 7) 岩川 治・滝本義彦：運材車輛による最大接地圧の推定に関する研究。日林誌，349-355，1967。
- 8) 久野悟郎：土の締め固め。技報堂，1967。
- 9) 路体構造についての調査報告類。北海道林務部。1970。
- 10) 佐々木次郎・根井久雄：締め固め工法の研究 [1] (c)，砂層の転圧機構 (2)。農業技術研究所報告F5号，1952。

Summary

The structural design of the forest road often depends on the experience of a forest road engineer and on a partial application of the technique which was developed in the highway engineering.

For economic reasons, there is a limit to applying the technique of the highway engineering to the construction of the forest road.

Therefore, the writer has been feeling keenly the necessity of technique able to be applied to the structural design of the forest road.

As an approach to develop such a technique, underground structures of existing

forest roads were investigated.

The following properties became evident after the reseaching into the investigative data.

The road body, by which we mean both the course base and the subgrade of the forest road, obtains enough bearing capacity required to make loaded trucks pass without trouble by the time when the total weight of passing trucks reaches 6,000 tons.

A very close relation is observed between the bearing capacity of the subgrade surface and the total rainfall for three days immediately before the measurement of the bearing capacity.

The difference in the kinds of the subgrade soil has considerable effects upon the structural design of the forest road. It is considered to be practical to classify the subgrade soil into three groups modifying the ASSHO method, namely, A-1, A-2 and A-4~7.

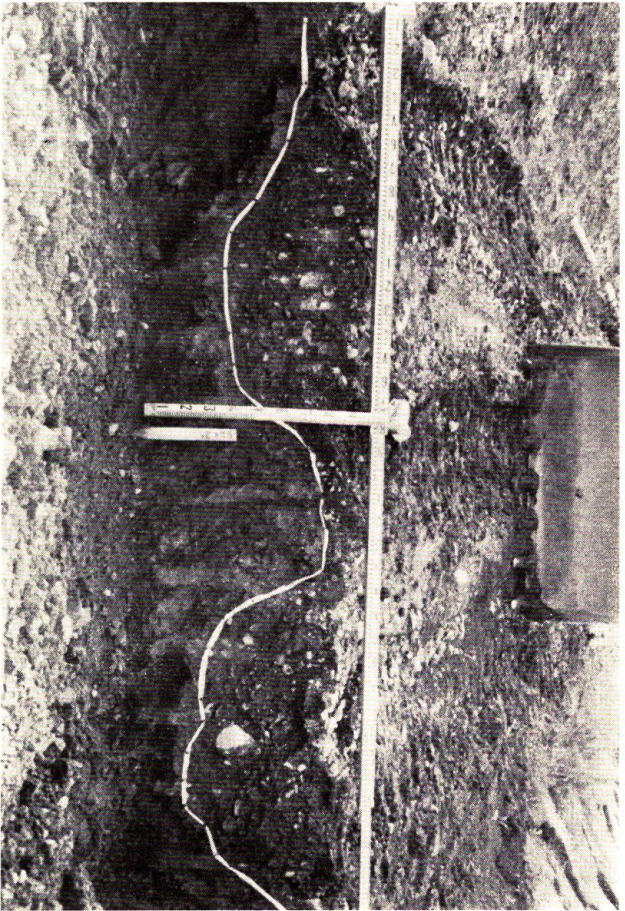
Whether the subgrade is constructed by the cutting or banking, it can be considered that the difference in the construction method has no effects upon the structural design of the forest road regarding the bearing capacity of the subgrade.

In regard to the differences in the surface slope and the depth of the side ditch, it is recognized that each difference has some effects upon the structural design of the forest road.

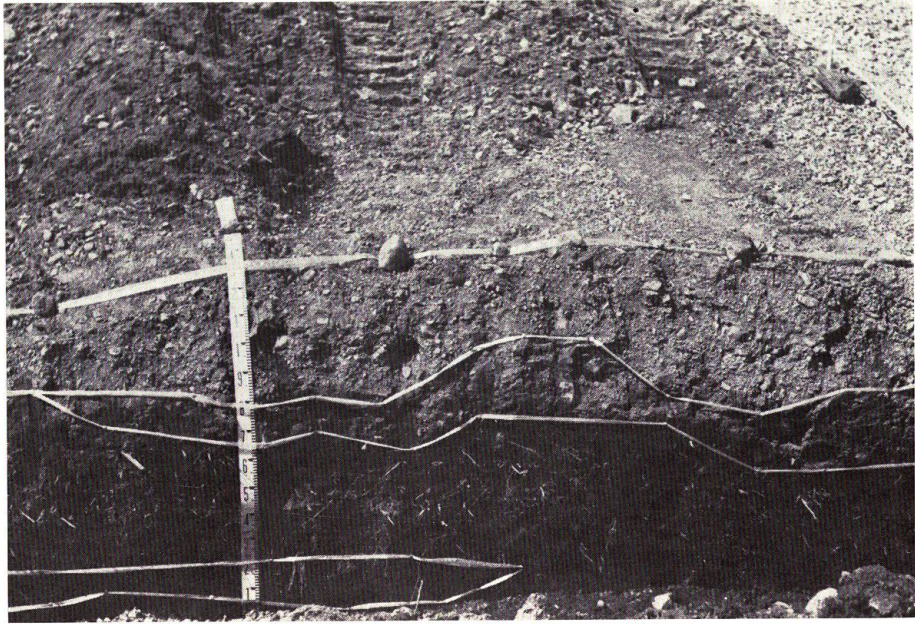
Lastly, the author gives an example of applying the results of the investigation to the design of a forest road.



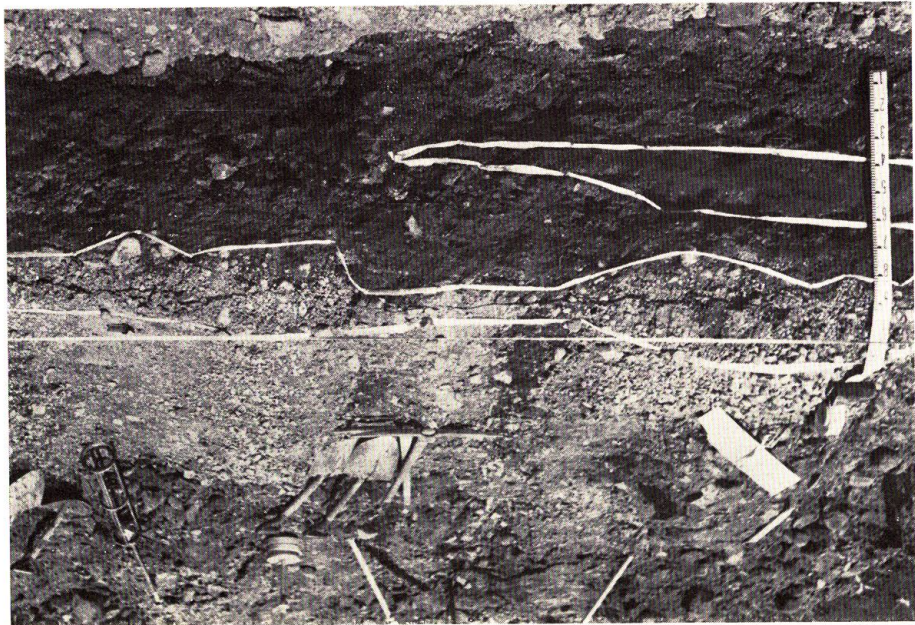
写真—1 路床面の支持力調査対象林道
(表—3 測定点 No. 6 附近)



写真—2 既設林道の路体の垂直横断面
(表—9 整理番号 2, 路床土 A-4, 白線は路床・路盤境界線)



写真—3 既設林道路体の垂直横断面
(表—9 整理番号 4, 路床土 A-2)



写真—4 既設林道路体の垂直横断面
(表—9 整理番号 3, 路床土 A-1)



写真—5 路面沈下測定用車輛の通過状況



写真—6 車輛通過 250 回の際の轍跡
(表—19, 区間記号 G-25)