

路盤の凍上ならびにコンクリート舗装における輪荷重による応力調査について

建設省関東地方建設局
長野国道工事事務所

千葉 直之
笠間 清美

1. 要 旨

長野国道工事事務所管内上信国道ノ8号線は交通の量 質共に急速に増加し、これがため凍結、融解期における道路の破壊甚だしくなっている。将来合理的で経済的な改良工事、舗装厚、路盤厚を決定する資料を得るために凍上調査および輪荷重による応力調査を実施している。

この調査は昭和30の年度より調査を開始し、継続中で、調査した資料についても整理考察を進めている段階であり、また僅かな調査結果のみで結論を得ることはむずかしい問題なので調査の結果概要である。

2. 凍上調査

2～7 調査地点ならびに区間

国道ノ8号線碓井峠～上田間において従来凍上現象を認められた地点5ヶ所を選定した。位置は表～7の通りである。

表 ～ 7 凍上調査位置

路線名	観測所番号	位 置 名	摘 要
国道ノ8号	2ノ観測坑	長野県北佐久郡軽井沢町首掛	
〃	2ノ〃	〃 小諸市東壺松(小諸)	
〃	3ノ〃	〃 北佐久郡軽井沢町長倉字古徳	

国道18号	氷ノ観測坑	長野県 小諸市 西原	
"	氷ノ	小泉郡 深野村 字 芝生田	

ス～ス 調査項目と方法

ス～ス～1 気象観測

調査各地点の測定時における気温（表～ス参照）

軽井沢測候所にて観測した一般気象関係中、昭和27～29年度の最低気温を調査し最低気温月平均曲線を描く。（図～1参照）

ス～ス～2 凍上観測

道路上交通の支障にならない位置に巾約10m×10m厚さ12cmの観測坑を掘った。（図～2参照）このピットは観測毎に掘り起して在来の上層をくずさないように注意して埋め戻した。凍上量の観測は地表面に表面凍上測定用として鉄板を据えた。

ピットの凍上を受けない

深さに大釘型にした長さ30cmのボルトを打ち込んで基準点（E.B.M.）を設け、道路中心線側の面を丁寧に削り仕上げ、地表面から約10cm等にピンを水平に打ち込み、鋼尺と、レベルを用いてその高さを正確に測定し、これらのピンの移動量を計って、各層の凍上量を測定した。

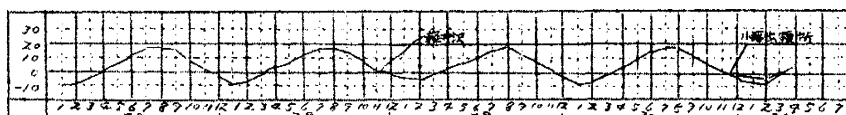
ス～ス～3 地 温

ピンの打込線になるべく近く各ピン点に対応する高さ100cm以上

表～ス 各ピット測定時の気温

月 日	温 度 (C°)			摘 要
	小 諸	古 宿	菅 掛	
12.15	3.0			西原は観測せず古宿 菅掛の気温は軽井沢 測候所の気温による
22	6.0			
23		7.2	7.2	
24				
1.7	-0.1			
9		-2.0	-2.0	
12	3.5	-3.0	-3.0	
17		+1.2	+1.2	
23	-2.5			
24		-2.3	-2.3	
27		-0.9	-0.9	
30	-3.0			
31		+2.0	+2.0	
2.6	-2.5			
7		+3.5	+3.5	
13	-1.5			
14		+2.0	+2.0	
20	-5.0			
21		+0.3	+0.3	
27	-5.0			
3.3		-0.3	-0.3	
5	-1.5			
12	-2.0			
13		+0.3	+0.3	
19	+6.0			
23		+6.6	+6.6	
28	+2.5			
29		+2.6	+2.6	

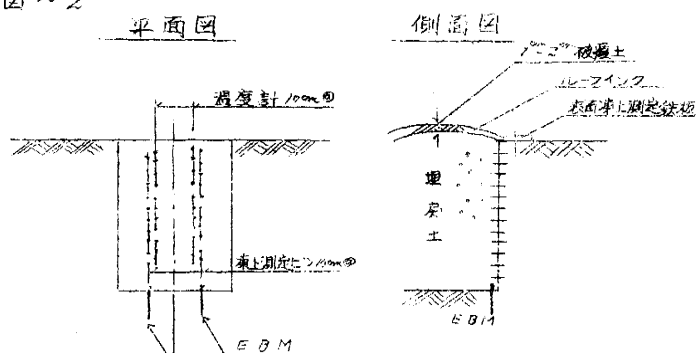
図～1. 1日最低気温の月平均曲線



積算温度関係表

観測所	期 間	27	28	29	30
	28	27	27	27	27
軽井沢	度	285	170	225	285
小諸出張所	-	-	-	-	70

図～2



の孔を水平に穿ち棒状寒暖計を挿入し 3分～5分間放置して地中温度を測定した。

2-2-4 含水比

各ピンに対応する高さにおいて地層断面の壁を掘進し新しい面を出して行った。

2-2-5 土質

土の組成(粒度分おおよび一般物理試験)は当初観測時に土質の変化の認められた毎に試料を採取し土質試験を行った。(表-3参照)

2-2-6 温度深度と凍結状態

凍結状態はスケッチ、または寫真を併用して観測した。温度深度は5Mから高さを測定した。

表～3 土質試験結果一覧表

調査地区	試料番号	試料表面からの深さ(m)	比 重	粒 度										コンソシデーション		土質分類 粒 度 法
				最大径 (mm)	有効径 (mm)	均 係 (%)	10μ 通過量 (%)	40μ (%)	200μ (%)	篩分の 量 (%)	以分の 量 (%)	シルト 名 (%)	粘土分 (%)	液性 限界 (%)	塑性 指数	
小 諸	1～1	20	2.77	80	52	79.3	51.5	31.4	10.6	24.6	22.2	5.0	20	-	-	礫交り砂
	1～2	23	2.77	50	0.34	32.0	50.0	22.9	24.0	20.0	58.0	14.0	60	27.3	38.0	礫砂り
	1～3	136 以下 同層土	2.76	100	17	45.7	61.1	28.7	15.0	36.8	12.2	20	70	-	-	砂質ローム
古 信	2～1	10	2.68	50	10	10.0	62.5	26.5	24.0	35.4	25.1	14.5	50	28.2	38.9	礫交り
	2～2	1014F 同層土	2.75	30	10	7.7	37.6	22.4	25.0	35.4	25.1	15.5	30	71.6	55.7	砂質ローム
西 原	3～1	10	2.86	40	52	104.0	52.2	32.0	13.9	27.8	22.2	6.0	40	-	-	礫交り砂
	3～2	25	2.80	40	0.36	40.0	28.5	61.0	33.6	21.5	48.5	18.0	110	35.4	22.4	礫交り
	3～3	35	2.70	60	0.29	102.5	40.7	65.9	35.0	19.3	49.7	17.0	140	38.4	27.0	砂質ローム
原	3～4	75	2.75	30	0.07	-	94.1	85.2	60.5	5.9	36.7	26.0	320	42.2	23.2	粘土
	3～5	120 以下 同層土	2.84	50	0.52	123.5	71.5	55.9	34.0	28.5	47.5	23.0	70	55.3	27.5	礫交り 砂質ローム

芝生田 菅樹地点は土質試験はおこなわれなかった。

2-2-7 地下水

地下水位は毎回凍上観測毎に調査した。(表-4参照)

表-4

古 観 測 坑		面 観 測 坑		省 観 測 坑		小 観 測 坑	
月 日	地下水位 (cm) 地表面よりの深さ	月 日	地下水位 (cm) 地表面よりの深さ	月 日	地下水位 (cm) 地表面からの深さ	月 日	地下水位 (cm) 地表面よりの深さ
12. 23	80				地下水低く		地下水低く
1. 9	90				透過水ない		透過水ない
17	67	1. 10	110				
27	70	2. 1	20				
31	70	15	90				
2. 19	80	22	50				
21	50	3. 21	10				
3. 3	60						
18	60						
23	30						
27	50						

2-3 調査結果の概要

2-3-1 凍結凍上の進行状態

各観測坑共一般的なことを述べると地盤の凍結 凍上の進行状態はその地点の地形、地域などの変化により異なると共に、その年の気象とか気温の推移などにより一定でないと考えられるが、30年12月下旬より、31年4月初旬まで観測した凍上の推移は2月下旬から3月初旬に最高に達した。3月中旬より下旬にかけて地表面や地下200cmの地点は融解を始め、地下200cm~300cmの地点に凍結層の残存しているのが認められた。凍結初期(全般的に見て10月と判定すれば)の凍上に対して0度深度が大きく影響すると思われるが、その後は凍上が増加しても0度深度線は深度増加しなかった。

凍結 凍上の進行状態は図-3に示す通りである。

(20)

2-3-2 凍結状態

路盤、路床内の凍結状態は気象条件、土質種別、含水量などにより一定しないが一般に路面附近、粗粒材表層面下には氷層、瘤柱状態があらわれたのを観察している。

2-3-3 最大の凍深度と最大凍上量とその時期

この程度の観測から凍結、凍上の最大量とその発生時期を確実にきめることはおそろしいが大体の傾向を知ることが出来るを考える。

この調査における各観測坑別の凍深度と凍上の規模は表-5のとおりである。

表-5 最大の凍深度と最大凍上量

路線名	箇所番号と位置	凍深度		凍上位針凍上の	
		月日	深さ	月日	凍上量(mm)
十八号線	16.1 沓掛	2.21	70	3.13	69
	16.2 小諸	1.30	25	2.6	12
	16.3 古宿	1.27	30	3.3	56
	16.7 西原	-	-	2.27	0.6

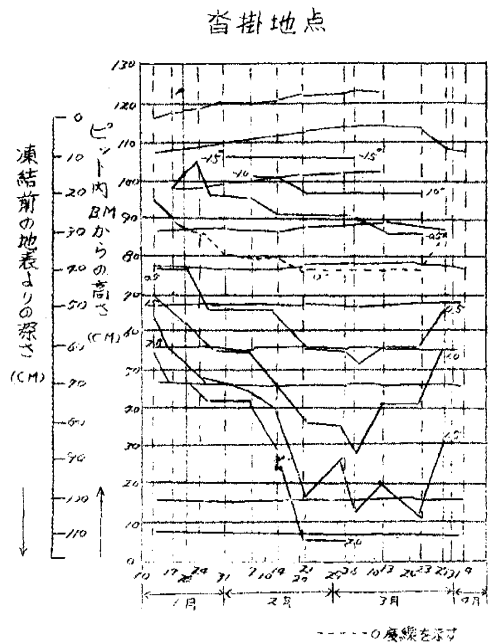
2-3-4 凍上量の深度分布

凍上量を構成する各部の変形量は土の凍結時における色々な原因によってそれぞれきまると考えられるが我々の調査による深度分布を図示すると図-4の通りである。

これによると各部分の凍上の時間的推移、凍上量の深度分布深部凍上の時間的遅れなどを知ることが出来る。

2-3-5 凍深、含水量、地温の移動関係

図-3 等温線と凍上の進行状況



設置当初の含水量と地温の
関係と凍上量最大期における
含水量の移動、地温の変化状
態を比較すると図～5のよう
である。

ス～マ 各ピット試験に対
する結果

以上の調査より実測の凍深、
観察最大凍結深など一括取纏
めると表～6のようになる。

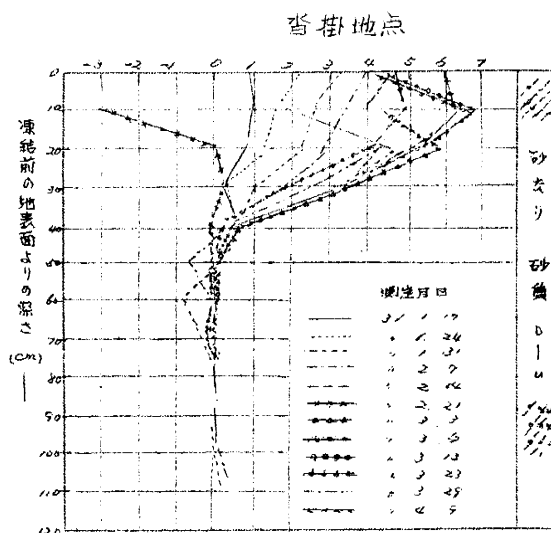
表～6 凍結調査

観測 坑名	実測最大 の凍深 (cm)	観察最大 凍結深 (cm)	摘要
沓掛	40	40	
小諸	25	20	
古宿	30	30	
西原		20	

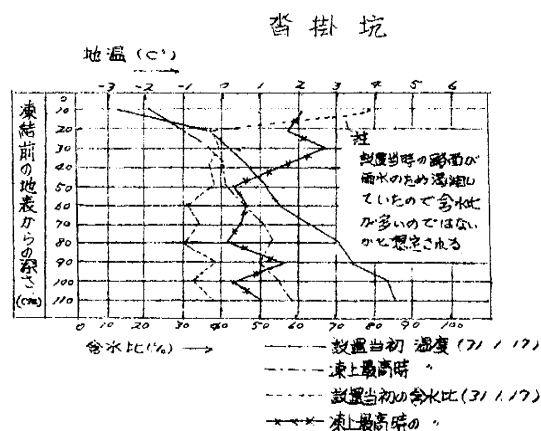
以上のような凍結深になる
が盤厚を検討する場合その地
点別の土質に対し交通輪荷重
面からも考えどのような厚厚
になるか力学試験の結果をま

ち、凍結深と検討して盤厚の大なる方を採用すべきであらうと考える。

図～4 凍上量の同時曲線



図～5 凍深含水量
地温関係図



3. コンクリート舗装における輪荷重による応力調査

ア～ノ 調査位置及設備と調査方法

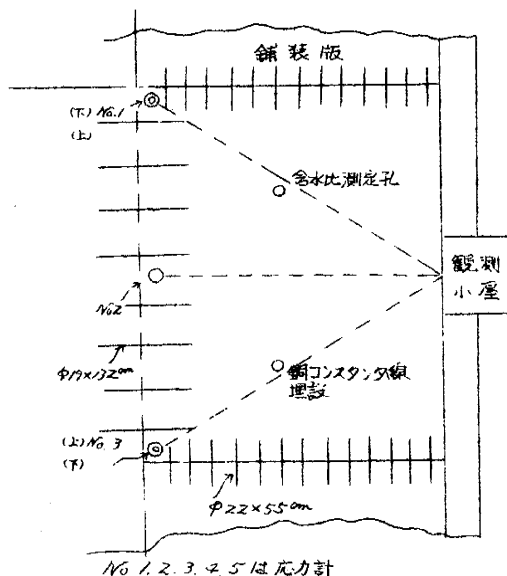
長野県小諸市四ツ谷地内にコンクリート試験舗装版(長さ $0.7m \times 1.7m \times 25cm$
 $\times$ 厚 $25cm$)を投設し、温度変化測定のための銅コンスタン線、応力測定
のための応力計を図6のとおり設置し、縦目地、地点を起点 $0cm$ とし、

(92)

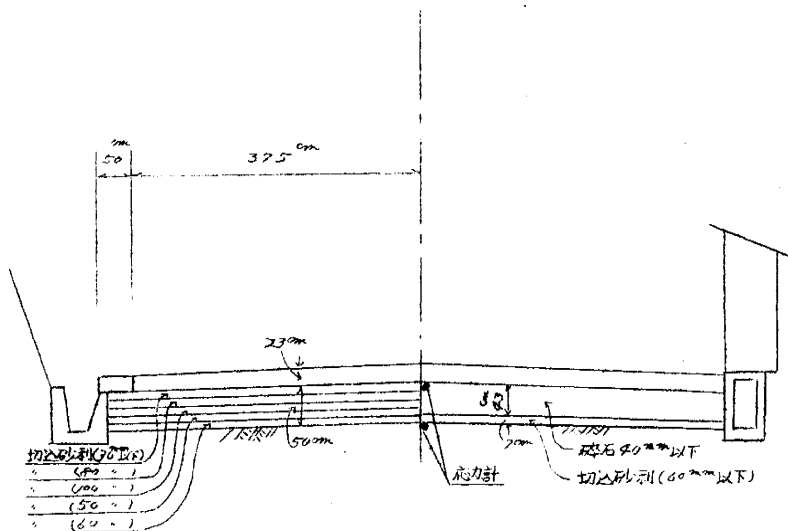
それより 200m, 700m, 800m, 1000m と通過位置をきめ 静動的の場合の各応力を測定した。

図-6

試験舗装版平面図 $S=1/100$



試験舗装版横断面図 $S=1/100$



3-2 路床の状態

所定の深さまで掘下げた転圧前の路床材に対する一般物理試験及び支持力関係の試験結果は表-7及び表-8の通りである。

表-7 路床材一般物理試験結果

比重	最大径 mm	有効径 mm	均 等 係 数	篩通過量 (%)			礫分量 (%)	砂分量 (%)	シルト (%)
				10番	20 "	200 "			
2.61	20	0.05	1.7	79.9	39.8	12.9	25.1	67.9	0.5

粘土 (%)	コンシ デンス	土砂 分類	現場 含 水 量 (%)					湿潤 密度	乾燥 密度
			表面	20cm	20 "	60 "	70 "		
1.5		軽石混り砂	21.3	17.7	16.8	16.7	19.2	1571	1298

表-8 路床材支持力関係試験

支持力比	非水浸	22.1 %
	水 浸	11.7 %

3-3 路 盤

路盤に使用した材料の粒度曲線は、図-7の通りである。

路盤施工後の支持力係数は10モマカダムローラで20回転圧のとき、25ノ.アで密度2.36を示し、その後舗設まで自然交通による転圧を行い、コンクリート打設直前の支持力係数はK75 ノ.を示した。

3-4 圧力計の埋設

隅角部におけるモーメントMは荷重に対して隅角平分線上で最大となるとし次の様に計算し埋設した。

条件

後輪荷重 $P = 10m$

衝撃率 20 %

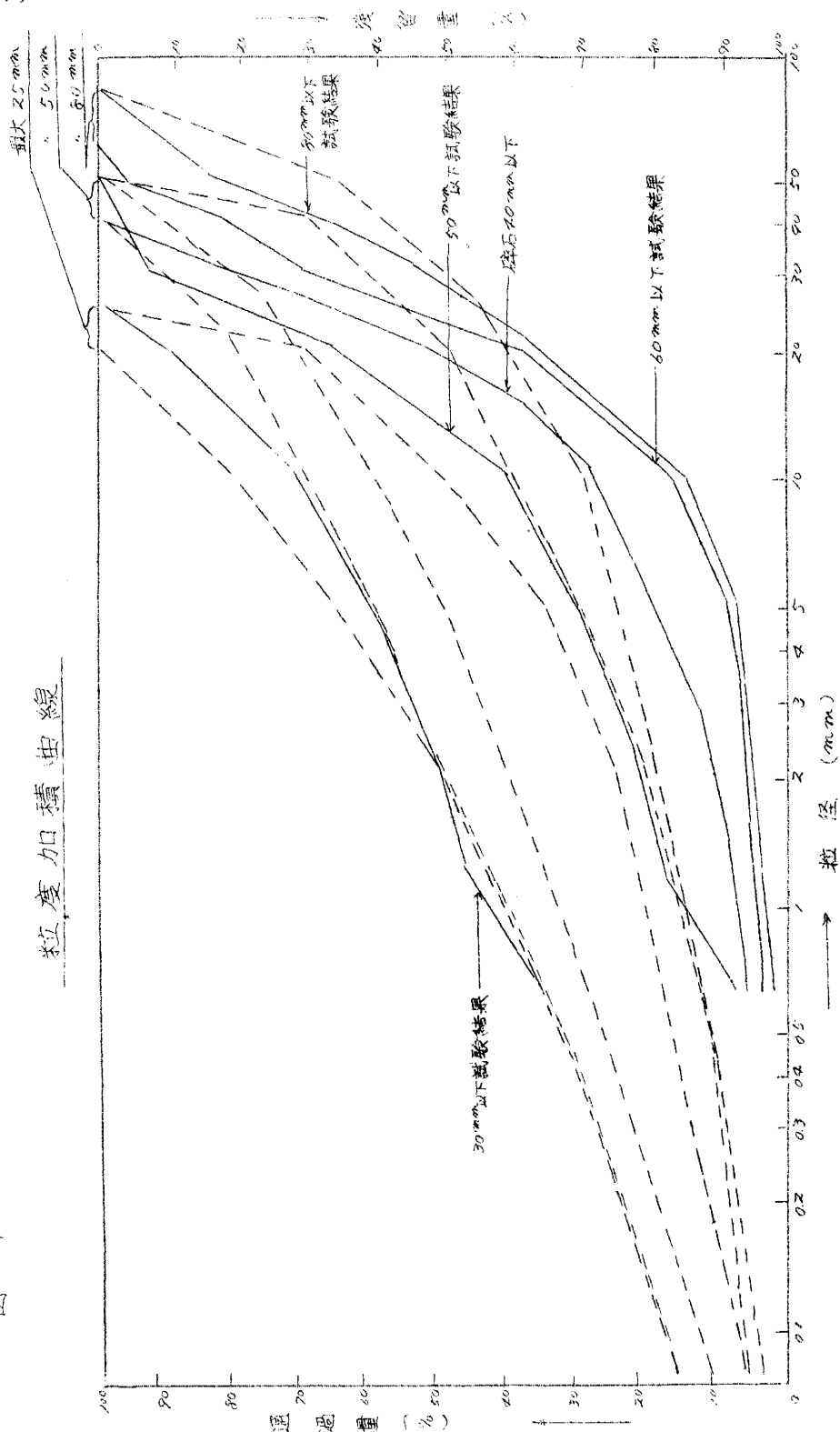
接地円有効半径 $a = 20cm$

$a_1 = a\sqrt{2} = 28.3cm$

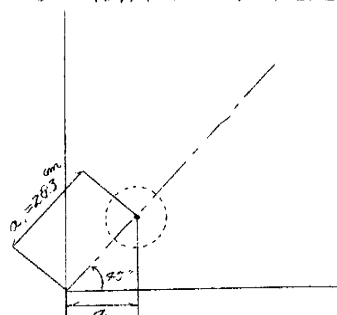
圖-7

粒徑加積曲線

(22)



図～6 隅角部圧力計埋設位置



縁端部は、版の縁端線と圧力計の中心点とが一致するように埋設するのが妥当であるが施工困難のため圧力計の円周端を縁端部に沿わせて埋設した。

尚 使用した圧力計は新興通信工業製のもので路盤下には応力測定範囲（圧縮） 7 kg/cm^2 のものを使用し 舗装版下には 12 kg/cm^2 のものを使用した。

3～5 舗 装 版

舗装版厚 23 cm としタイバー、スリップバーを挿入し膨脹目地間隔は 5 m とし、その示方配合は次の通りで、養生は 1 5 時間シートで覆い、その後砂 5 cm 厚の上に蓆をかけ十分撒水した。交通開始は 1 7 日後とした。

表～7 コンクリート示方配合

粗骨材 最大寸法	スランプ	単 位 水 量	単 位 セメント量	W/C	S/A	S	G	水和比	比 重			摘 要
									C	S	G	
(mm) 20	(cm) 1.5	(kg) 139	(kg) 320	(%) 43.5	(%) 32	(kg) 670	(kg) 1350	2.6	3.14	2.65	2.63	

舗装には工事規模が小さいのでミキサースキップ切ス基であったためと施工が $12\sim 1$ 月の冬期であったため良いコンクリートではなかったが、スランプ $2\text{ cm}\sim 2.5$ 、空気量 $1\text{ 7}\sim 2\text{ 1}$ 、スポンジ弾度 400 kg/cm^2 であった。

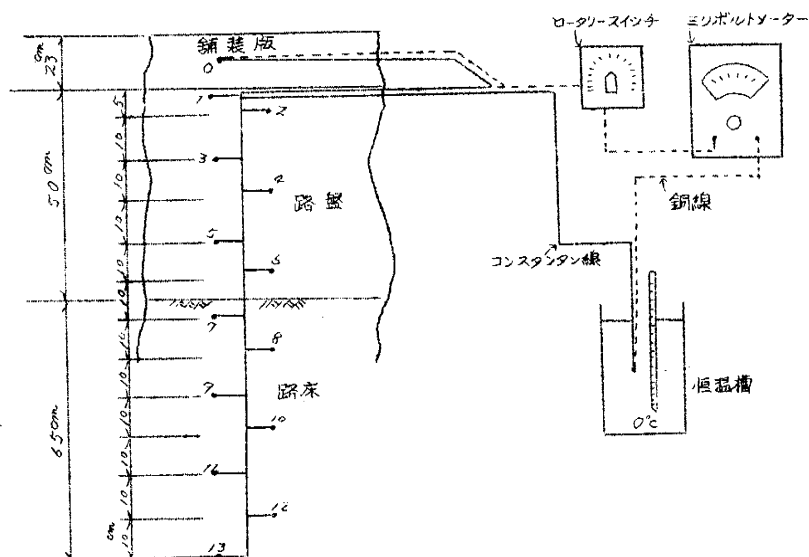
3～6 舗装版 路盤 路床の温度変化

舗装版 路盤 路床の温度変化を熱電対を利用し測定した。（図～7 参照）

(46)

熱電対には銅コンスタンタン線を使用しミリボルトメーターにより抵抗変化を読みとり予め作成された校正線によって調査地点の温度を測定した。

図-7 温度変化測定装置



3-7 凍上量測定

舗装版の上昇を基準標を設け測定したが施工後時日の至過少く、路盤材料も変質せず地下水も浸透する時間になかったことと路盤厚50cmのためか1~2mmの上昇が見られたが、これは観測誤差と思われるので試験舗装版については凍上はなかったと考えている。

3-8 圧力測定

3-8-1 自動車荷重

民生リカグンブトラック(積載量6ton)を使用し、タイヤ空気圧は30ポンド一定とし、歪みリングの上に前、後輪をのみタイヤルゲージにより輪荷重を求めた。同時にタイヤの接地面積も同時に求めた。測定に使用した自動車荷重及び接地圧は、表-10の通りである。

表-10 圧力測定時の自動車荷重及び接地圧力

測定年月日	使用自動車	タイヤ圧	輪荷重		全荷重	接地面積 cm^2		接地圧力		備考
			前輪	後輪		前輪	後輪	前輪	後輪	
33.3.19	民生UD クランフ	ボンド 90	1.8 ton	5.3 ton	19.2 ton	315 cm^2	1350 cm^2	5.71 kg/cm^2	3.93 kg/cm^2	
33.3.20	"	90	1.6	9.7	12.0	293	1088	5.65	80.7	
"	"	90	1.5	1.6	6.2	278	800	5.80	2.00	
33.3.26	"	90	1.7	8.2	12.8	300	1200	5.67	39.1	

3-8-2 測定及応力計算

自動車荷重の速度を0, 5, 10, 20, 30, 40 km/hr と変化させ各速度毎に圧力計に対する荷重の作用位置を直上, 20 cm , 40 cm , 60 cm , 80 cm , 100 cm と移動させた時の現象波形を金屋細線抵抗線歪計(新興通信工業株式会社製のS, G, R型)を用いてペン書オシログラフに記録しこの波形と校正表より圧力を読みとった。

4 調査結果及考察

4-1 含水比変化

路盤路床の含水比の変化を測定し、路盤材料と含水比、温度と含水比の関係等を調査しようとしたが信頼すべき結果を得ることは出来なかった。

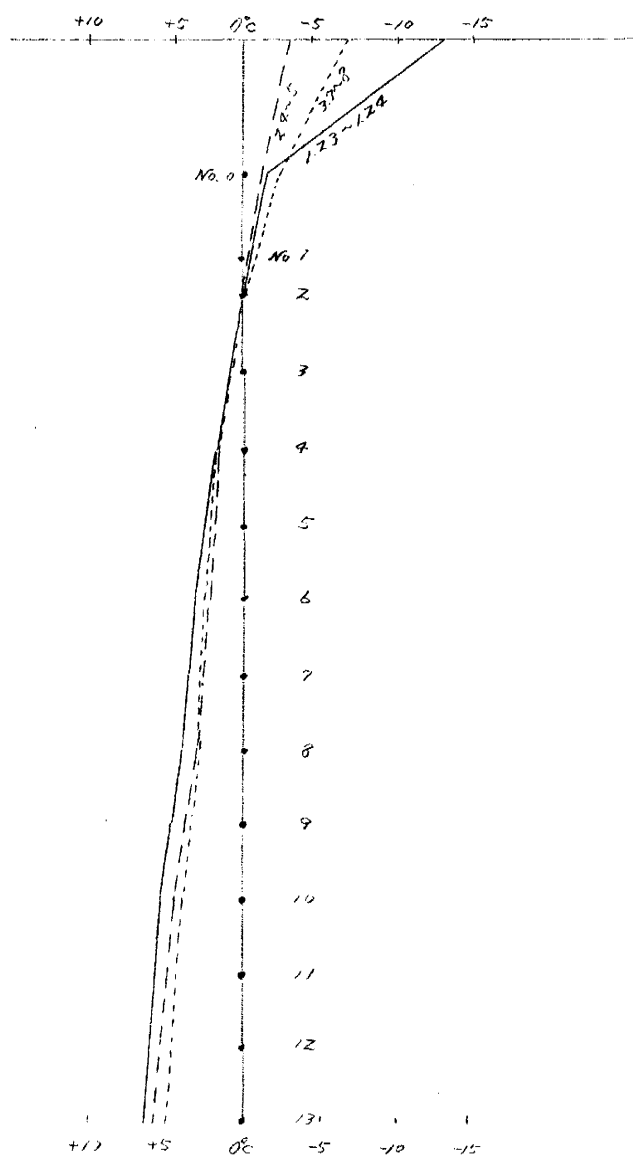
4-2 温度変化

外気温の低下しそうな日を送り24時間観測をしたが暖冬異変といはれたため気温の低下は著しくなく又1月23日-24日に最低気温 -40°C となったが長期間にわたるものでなくすぐ気温が上昇したため気温低下は地中深く影響をおよぼさなかったのではないかと考える。

一番気温の低下する午前8時頃の温度の深度分布は図-10の通りである。図-10に示す南側には鋪装版に骨材がおりてあったためほとんど車は通らず北側鋪装版のみ車が通っていたので北側は鋪装版以下の温度は氷点下を下ることなく南側はわずかではあるが氷点下になったが鋪装版下200 cm 以下は氷点以下とならずこの路盤厚では凍上のおそれはない様

に示される。路盤厚と温度変化、路盤材料と温度変化、含水比と温度変化等を調査することによって温度変化に対する経済的路盤厚を決定する資料にすることが出来ると考えている。

Figure 1 consists of two parts. The left part is a graph showing temperature profiles. The vertical axis represents depth in centimeters (cm), with markers from 0 to 13. The horizontal axis represents temperature in degrees Celsius (°C), with markers from +10 to -15. A solid line represents the temperature profile, and dashed lines represent reference profiles. The right part is a cross-section of a structure, labeled '北側' (North side) and '南側' (South side). The vertical axis represents depth in centimeters (cm), with markers from 0 to 140. The horizontal axis represents temperature in degrees Celsius (°C), with markers from +10 to -15. The cross-section shows a vertical axis with depth markers and a horizontal axis for temperature (°C).



2-3 圧力測定

1/2, 3 の各地点の測定結果より静止より 20 km/h 範囲における最大応力より最小応力範囲を示せば表-11 のようである。

表-11

測定位置	測定年月日 (昭和)	載荷全荷重 (t)	後輪による 接地圧力 (kg/cm ²)	舗装版直下に 圧力計を埋設 した場合の応力 (kg/cm ²)	舗装版直下に 圧力計を埋設 した版端より100cm の点の応力 (kg/cm ²)	路盤直下に圧 力計を埋設し た場合の応力 (kg/cm ²)	路盤直下に圧 力計を埋設し た版端より100cm の点の応力(kg/cm ²)
No. 1	33.3.19	17.2	3.73	0.1~0.05	微小にして 測定不能	0.05~0.01	0.02~0.01
	3.20	12.0	2.04	0.12~0.10	0.02~0.01	0.06~0.05	0.02
	"	6.2	2.00	0.07~0.02	0.01~0.005	0.07~0.03	0.01
No. 3	3.19	17.2	3.93	0.14~0.05	微小にして 測定不能	0.13~0.10	0.07~0.02
	3.20	12.0	2.04	0.16~0.11	0.05~0.01	0.08~0.05	0.02~0.03
	"	6.2	2.00	0.10~0.07	0.04~0.01	0.06~0.03	0.02~0.01
No. 2	3.19	17.2	3.93	現象波微小にして 測定不能		縁部は路盤直下には圧 力計は埋設してない。	
	3.20	12.0	2.04				
	"	6.2	2.00				

表-11によると比較的矛盾と考えられる応力結果をあらわしているが大別して考察すると、

(i) 昭和32年4月に当事務所においてタイヤ・スリップバーを入れずに舗装厚 20cm として同様の方法により実験したが、それに比較するとタイヤ・フリップバー入れた今回の実験結果は全以下と云う小さい値を示している。

スリップバー・タイヤの効果は極めて大きいと考えることが出来る。

(ii) 荷重増加に比例して応力は大きくなっている。

(iii) 速度度の場合も応力も大である。

なお舗装版直下の応力に関しては余りに小さすぎて不合理と考えられる。これは圧力計の埋設法に誤りがある。(受圧面が逆方向に埋設されている?) とも考えられる。

No. 1 と No. 3 各地点は同じ隅角部圧力計を埋設したにもかゝらず最

大応力に差があるのは No.1 地点に後輪が来る時は前輪は試験版より外れ、No.3 地点の時は前輪が試験版上に載荷しているため前輪の荷重の応力も隅角部に影響しているためであろう。

以上の事項が現在までに測定した結果であるが応力の傾向を知ることが出来た程度でこれらの確実な応力をつかむためには今後の実験結果をまたなければならぬ。

5. む す び

以上測定結果を資料が少いながら生のまゝ概略のべたが 路盤厚と温度変化及び含水比の変動の状態 並に圧力測定については使用する荷重条件も合理的に考えると共に圧力計の埋設法も検討し確実な応力をつかむための実験を行う予定である。併せてコンクリートの内部応力も調査したいと考えている。なお測定にあたっていろいろ御指導にあつかった関東地建谷藤道路部長 伊東専門官ならびに御協力をいただいた関東地建材料試験室清水技官に深く感謝します。