

## 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

今 野 彦 貞\*  
 とみ 田 たか ひさ久\*\*



岩手県下における砂利道軟弱化の一実状

## 1. 概 要

青森・岩手両県のような寒冷地においては、冬季に砂利道が凍害をうけ、交通上大きな障害となっている。

この凍害は凍上による破壊よりも、春季の融解時における路床および路盤の軟弱化による破壊である。

砂利道における凍害、すなわち軟弱化を防止することは、冬季の交通を確保する上に重要なことである。

本研究は砂利道の軟弱化について、土質、気象などからその原因について考察を加えたものである。

## 2. 従来の研究

寒冷地方における諸外国の道路は、わが国の東北、北海道地方でうけると同じような凍害に悩まされている。そしてその凍害の主原因は、やはり融解時における軟弱化による破壊である。

冬季における凍結深は、米国北部東海岸の平地で 1.5 m、また西ドイツ、ノルウエー、スウェーデンなどにおいて 0.5~2 m に達している。

これらの諸外国では、この問題について早くから深い関心をもち、独自の高度の研究がなされた。

米国では Highway Research Board が 1947 年以來

研究委員会をつくり、多くの研究者群によって組織的に研究している。

とくに下記の文献が有名である。

- 1) Bibliography on Frost Action in Soils, Highway Research Board, 1948
- 2) Frost Action in Roads and Airfields, H.R.B. Special Report No. 1, 1952
- 3) Frost Action in Soils, H.R.B. Special Report No. 2, 1952

また国際土質基礎工学会議（1936, 1948, 1953, 1957, 1961）の議事録 Proceedings of International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering には毎回凍上に関係した多くの研究が掲載されている。

その他内外の道路関係、土質関係の雑誌にも数多くの文献をみることができる。

また一方、各国では凍害に対する対策が実施され、軟弱化防止策がこうじられている。

## 3. 青森・岩手両県の軟弱地点

青森・岩手両県は北海道につぐ寒冷地で、岩手県の山岳地帯では平均最低気温が  $-12^{\circ}\text{C}$  に達している。

また土質は火山灰質の砂質ローム、シルト質ローム（黒ボク）で路床土としては不適当な土質が多い。

図一1 は両県の気候区を示したもので、点線は凍結深である。

\* 東北大学工業教員養成所 授 教 工博

\*\* " 助教授

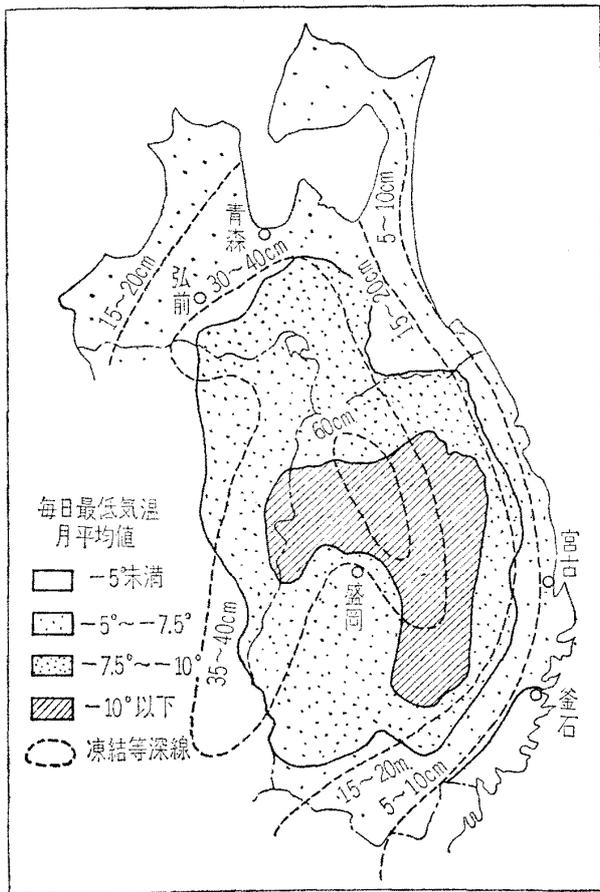


図-1 青森・岩手両県の気候区および凍結等深線

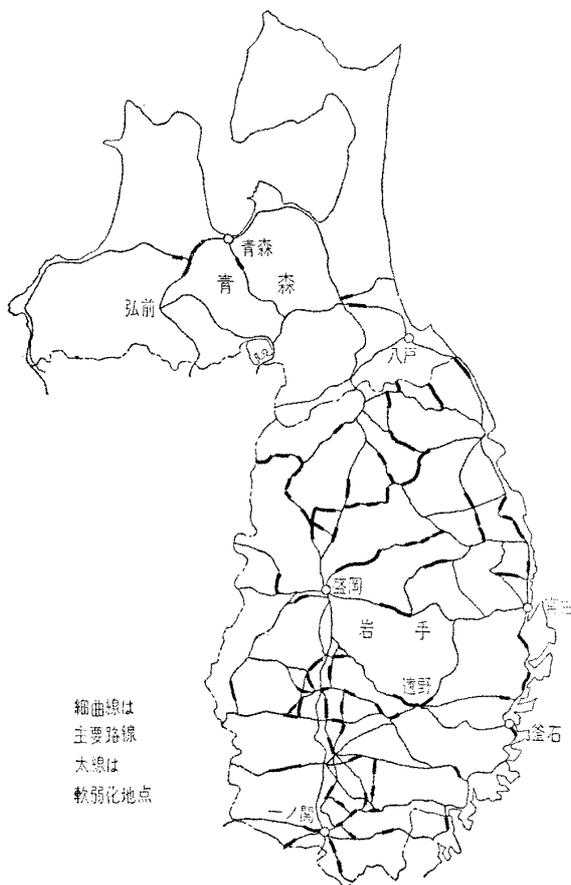


図-2 青森・岩手両県の主要路線と軟弱化地点

また図-2 は両県下の主要路線と軟弱地点を示したものである。

#### 4. 軟弱化の発生しやすい土質

元来、凍上は土質、地下水、および温度の間において凍上に適合した条件が整ったときに生じ、よく成長発達するものである。

すなわち土質については、最も凍上しやすいのはシルト質や砂質ロームである。

凍上を起こしやすいかどうかを判定する場合、粒度分析のみでは無理であるが、これによることは最も実用的である。

研究諸家によって発表された、凍上を起こしやすい土の範囲の二、三の結果を示したのが図-3 である。

また Schaible 氏は 0.002~0.02 mm が 10~20%、0.1~0.2 mm が 20~40% の場合に凍害を起こしやすいと言っている。

青森岩手両県下において、毎年春季に軟弱化する地区 29 ヶ所の試料土を粒度分析して、粒径加積曲線を作成した。図-4 はその結果である。

これらの結果を図-3 の曲線と比較してみるに、全試料が凍上を起こしやすい粒度範囲内にあることは勿論で

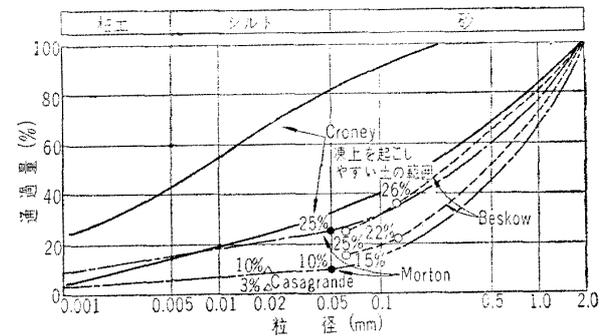
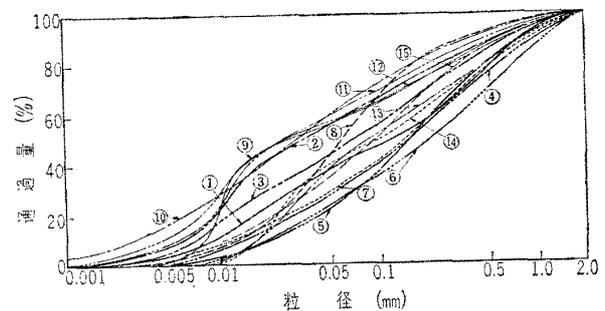
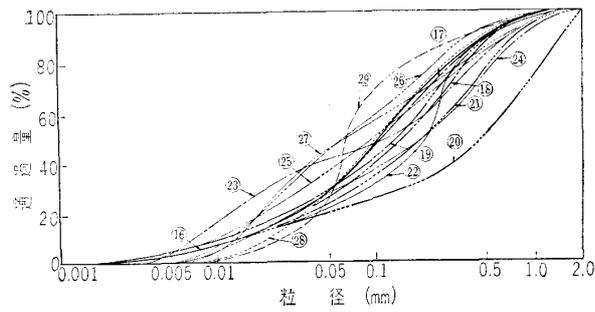


図-3 凍上を起こしやすい土の範囲



①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
岩手県岩手郡西根村平館	岩手県岩手郡岩手町小滝	岩手県岩手郡岩手町小滝							
0~20	20~40	40~40	0~20	20~40	40~60	0~20	20~40	0~20	20~40
		滝沢村一本松						沼宮内町 No. 1	沼宮内町 No. 2
						雫石町片子沢			

図-4 の 1 軟弱化地区試料土の粒径加積曲線



⑬ 岩手県久慈市田屋	No. 1	⑳ 岩手県福岡町五日市
⑭ " " "	No. 2	㉑ " " 中ノ沢
⑮ " " "	No. 3	㉒ " " 西田子
⑯ " " "	No. 4	㉓ " " 小又
㉔ " " "	No. 5	㉔ 青森県六戸町古里
㉕ " " "	No. 6	㉕ 青森県雲谷町 0~40 cm
㉖ 岩手県福岡町女鹿口		㉖ " " 40~100

図-4 の 2 軟弱化地区試料土の粒径加積曲線

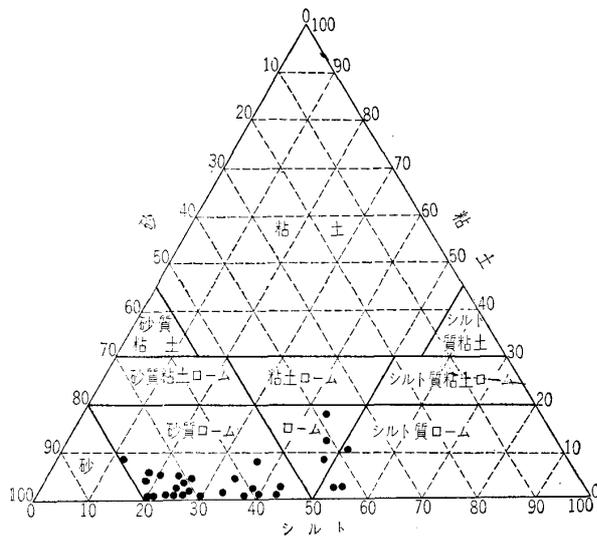


図-5 試料土の三角座標による分類

あって、とくに注目することは 0.05 mm 通過量が 10~60% でシルト質が多いことである。

また 0.02 mm 通過量が 10~20% で 10% の限界以上にあることである。

また三角座標で分類した結果は図-5 に示すように、試料の 79% は砂質ロームで残りがロームおよびシルト質ロームであった。

すなわち、軟弱化しやすい土質は砂質ロームが多い結果を得た。

### 5. 凍結初期の含水量

図-6 は H.R.B. Special Report No. 2 に掲載のミネソタ州における路床支持力の季節的変化図である。また図-7 は青森市付近における砂利道路路床の支持力の季節的変化と含水比変化を示したものである。

これらの図によると支持力は 1 年中で 3 月頃が最低であることは同様である。とくに注目することは夏と秋の支持力を比較すると、ミネソタ州は秋に大で、夏に小で

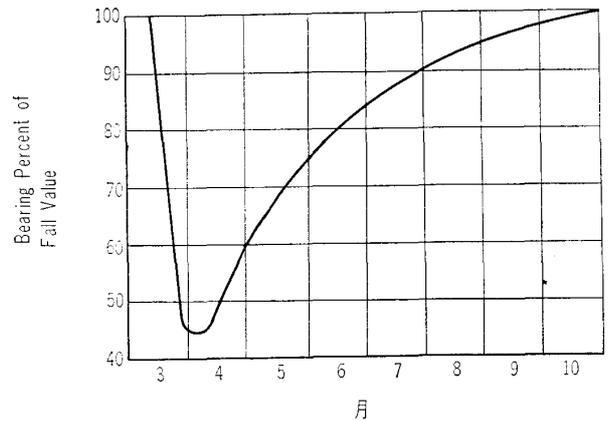


図-6 支持力の季節的変化図

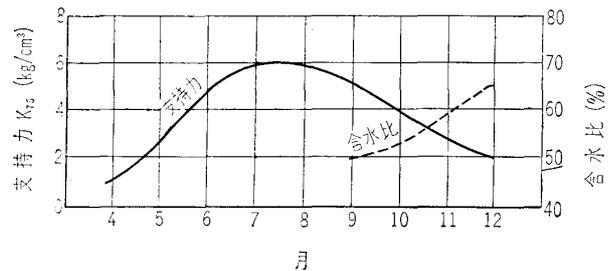


図-7 支持力の季節的変化図および含水比変化図

ある、また青森県は夏に大で秋に小であることである。

この支持力の異なる大きな原因は降水量の多少による路床含水量の差異によるものと考えられる。すなわち米国では夏に降水量多く秋に少ない、また東北地方では夏に比較して秋に多いことである。

表-1 は、青森市と東京都における各月の降水量である。

表-1 青森市および東京都の各月の降水量 (mm)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
青森市	151	112	86	69	73	81	134	118	145	116	145	168
東京都	41	77	95	136	138	177	146	148	229	226	96	58

また東北地方においては、12 月頃の日照時数および日射量は 1 年中で非常に少ない月である。表-2 は青森市と東京都における各月の日照時数である。

表-2 青森市および東京都の各月の日照時数

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
青森市	56	78	137	199	210	201	180	211	169	160	92	48
東京都	189	175	182	184	200	160	186	210	143	144	162	181

このような気象上の悪条件も加えて、秋の路床の含水量は増大する。これは図-7 の実測による含水比によっても明瞭である。

一般に路床の含水量は降水量の多い所で多く、路床土が粘土分を多少とも含むと多くなるものである。このため東北地方では晩秋から初冬にかけて、路床の含水量は相当多くなっている。

つぎに凍結前の含水量の多少が凍結後の含水量に与える影響については室内実験を参考にする。

内径 10 cm, 長さ 70 cm の外部を断熱した円筒に現場含水比約 95%, 最適含水比 54% のシルト質ロームを試料土として所定の含水比でつめこみ, これを鉛直に立て, 下端を 8°C の水槽につけ, 上端を冷凍機に入れ, 所定温度で冷却する。凍結前の含水比は 65~90% の範囲内で数種に変え, また冷却温度も -15°C, -10°C, -5°C と変えて試験し, 凍結後における含水量, および融解後の軟弱化(貫入試験による)を測定する。

試験結果による鉛直方向における凍結後の含水比の分布状態は図-8 に示すように, 上端から下方へ約 20 cm の範囲内は含水量が増加する。深さによる増加割合は必ずしも一様でなく, 一般に不規則である。

凍結前の含水比種々の場合についてみると凍結前の含水比が多いものが凍結後増加し, 初期含水比 75% において最大を示し約 10% 増加した。

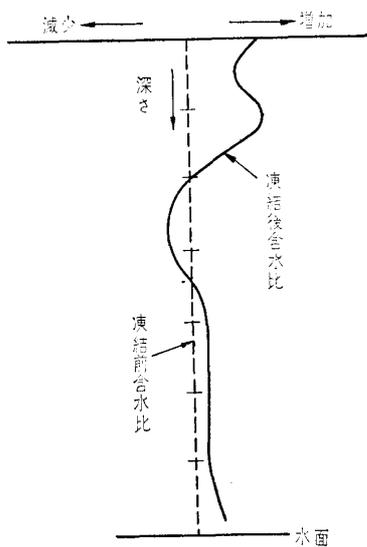


図-8 鉛直方向の凍結後の含水比分布図

このような結果から, 12 月中旬から凍結し始める両県下においては, 晩秋の降水量は春季の軟弱化に大きな影響を与えるわけである。

### 6. 突固めによる効果

衆知のように土中空気間ゲキは平衡状態のとき, その温度, 含水量に応じた水蒸気圧をもっている。土中に温度差が生ずると一般に低温部の含水量が増大する。またその温度が低いほど水分の移動が激しい。

この温度差によって生ずる水蒸気の移動は締固めが十分なほど, また空ゲキが少ないほど少ない。この点から締固めを十分行なうことは含水量を少なくするうえに効果がある。

前に述べた室内実験において突固め回数を 16 層, 各層 6, 12, 18 および 25 回に変えてつめ, 凍結後の含水比を比較すると, 突固め回数を増すにつれ, 含水比の値は減少した。

この結果, 突固め回数を多くすることは, 凍結後の含水比を減少させることに有効である。

とくに現地土質が砂質ロームの場合は締固めを増すと密度および支持力を増すことができるので, これを十分行なうことは軟弱化防止に大きな効果がある。

### 7. 温度低下の影響

凍結, 凍上の発達 of 1 番大きな原因は温度の低下である。室内実験によっても温度差の大きなものほど凍結後の含水量および軟弱化がはなはだしい。

図-9 は八戸市における 12 月から 3 月までの毎日の最高気温および最低気温を示したものである。これによると 12 月 10 日頃から毎日の最低気温は零下に達す

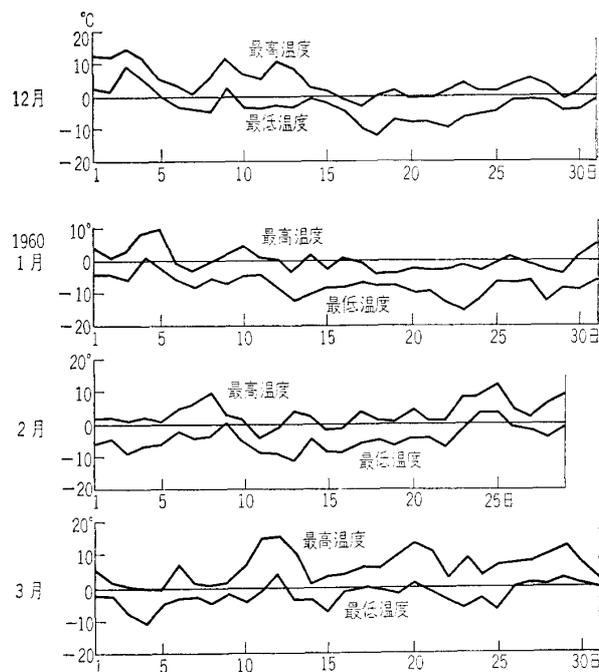


図-9 八戸市における毎日最高気温と毎日最低気温

る。

図-10 は 3 市における 11 月から 4 月までの毎日最高平均気温, 毎日最低平均気温である。これによると 3 市とも冬季の気温は同じ傾向である。

また 3 市の低極気温を表-3 に示す。

図-11 は 3 市における 10

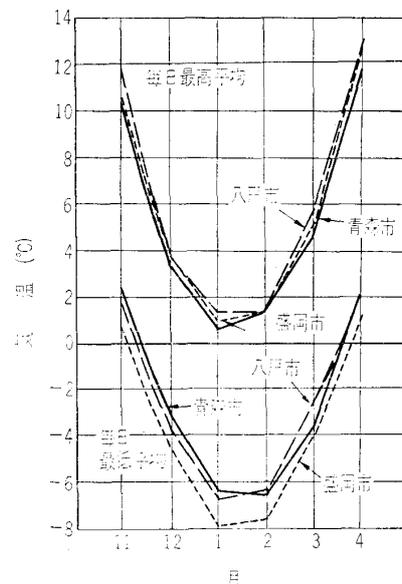
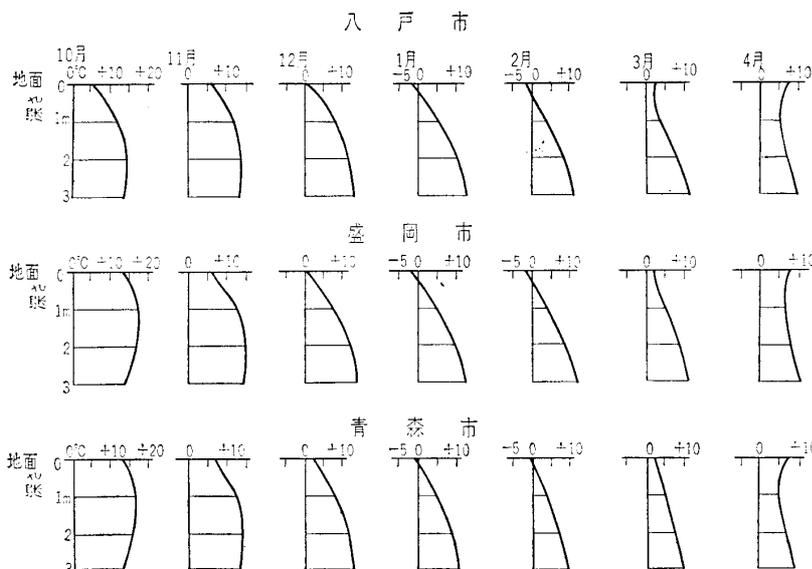


図-10 3 市における毎日最高平均気温と毎日最低平均気温

表-3 青森市, 八戸市, 盛岡市の低極気温 (°C)

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
青 森 市	-9.4	-20.6	-23.5	-24.7	-18.2	-12.2
八 戸 市	-5.2	-10.6	-13.2	-15.5	-12.0	-4.9
盛 岡 市	-6.7	-17.7	-20.6	-17.7	-17.1	-7.8



図—11 3市における地中温度

月から4月までの地中温度を示したものであって、夜間はもっと低下する。

零下の気温が継続し、凍結が地面から内部深く進行するためには大きな温度差が必要である。定常状態の場合、地表面温度とある深さの地中温度が既知であれば、大体の凍結深は想像できる。これによると1月、2月頃は約50cmの凍結深になるものと思われる。

また路床が水を含む場合、また砂利道である場合は凍結深はもっと深く達する。

また地表面の温度は冬季夜間には気温よりも若干低下するものである。

8. 凍結期間の影響

室内実験においては試料の冷却時間は最大8日間であったが、凍結時間が長い場合と短い場合では長い方が凍結後の含水比および軟弱化が大である。

現地における凍結期間は図—9にみるように12月中旬から3月上旬まで続く。これをもっと厳密に決定するには凍結指数と融解指数によるべきである。また日平均気温加積曲線によっても求め得る。

この相当長い凍結期間は、氷層の発達に大いに影響する。期間が長いと不透水性の土質も水分の上昇可能となり、また水蒸気の移動も可能となるからである。

9. 凍結前後における含水比の変化

凍上した路床を掘って氷層の分布を調べてみると路面に近い方に氷層の大部分が介在している。このことは晩秋の降水量とも関係し、また融解した場合の軟弱化とも関係するものと思う。

土質によって下方からの水分補給が十分でない場合は、凍結深の下端付近に初期含水比より少ない含水比の部分が生ずる。図—12はよく引用される図であるが、

これによってもこのことが了解される。

このような現象は前に述べた室内実験においても認められた。すなわち図—8にみる鉛直方向の凍結後の含水比の分布状態において、上端から下方へ20cm付近に含水比の変化しない点があり、それから下方では含水比が減少する。最大8%の減少を得た。

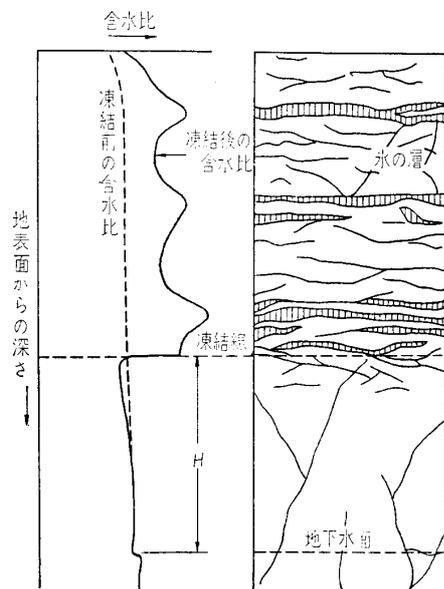
また上端から約40cm以下では下方に進むにつれ含水比が多少増加する。

10. 路床中央部の地中温度

現地砂利道の路床内に温度計を埋設し、地中温度分布を測定すると、路面下中央付近が最低を示した。

これは中央付近が除雪され、また積雪がふみ固められる結果周囲よりも凍結深が深くなるためである。また砂利層があることも原因である。

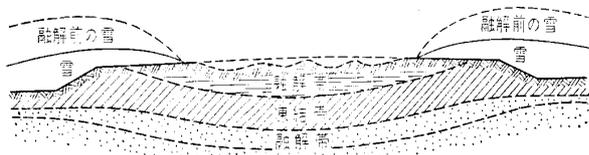
熱の伝導からみると、路面上の1cmの新雪は、コンクリート8cmの厚さに相当し、土な



図—12 凍結後の含水比の変化 (G. Beskow)

らば12cmの厚さに相当するものである。新雪が地表にあることは凍結深に与える影響は大きい。

図—13は凍結深と軟弱化の参考図である。



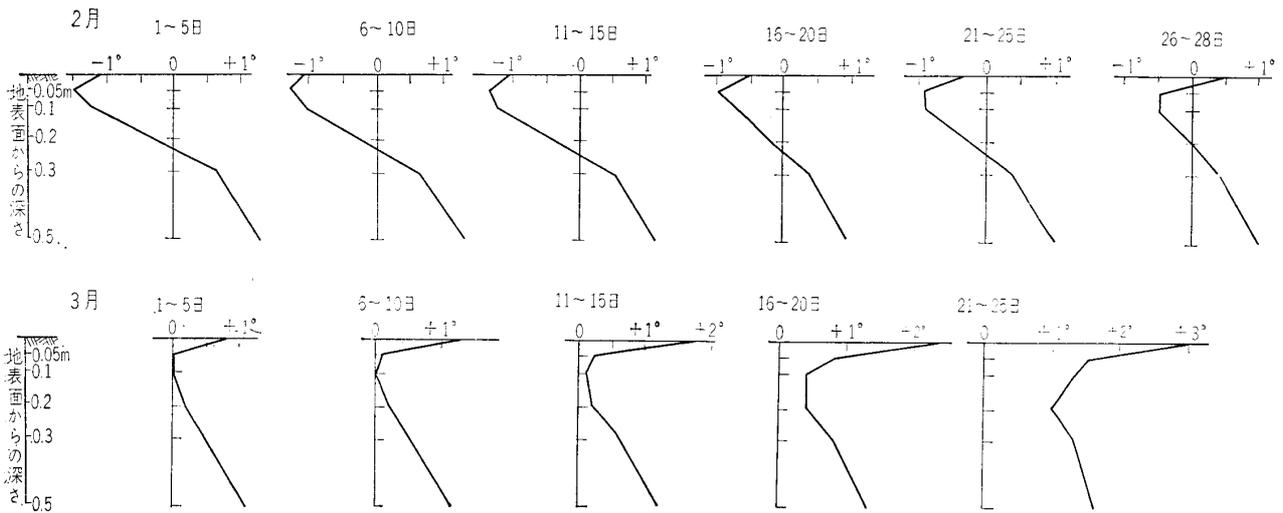
図—13 路面の凍結と軟弱化 (A.R. Jumikis)

11. 砂利道の軟弱化

砂利道の軟弱化の原因には種々考えられる。

(1) 融解水が路面下の非透水性の凍結土の上に溜ること、いま3市の根雪の初終を示すと表—4のようである。場所によっては、相当おそくまで融雪が続くであろう。

(2) 排水工が不完全な場合、また重い輪荷重によ



図—14 八戸市における2月、3月の地中温度

表—4 青森市、八戸市、盛岡市の根雪始と根雪終

	根 雪 始	根 雪 終
青 森 市	12 月 11 日	3 月 30 日
八 戸 市	11 月 25 日	4 月 3 日
盛 岡 市	11 月 23 日	4 月 14 日

て路面がカクハンされ排水が悪化すると泥ネイとなる。

- (3) 図—14 は八戸市における 2 月、3 月の地中温度を示したもので、これによると地面下 20 cm 付近に最低温度の点が残し、含水量の多い個所が路面下に生ずることになる。
- (4) 輪荷重の接地円の半径を  $a$  とすると、その中心下  $1/3 a$  の個所に最大せん断応力が生じ、支持力がこれに耐え得ない場合破壊する。
- (5) その他の原因も考えられるが、路床土の土質が悪く、地下水位が浅く、付近から地表水、地下水が流れこみ、融解水が排除されないことは最も大きな原因である。
- (6) 室内実験によると軟弱化は凍結後含水比増加する部分に生じ、とくに上端に近い深さ 20 cm 以内において大である。

## 12. 噴 泥

八戸市における地中温度は 図—14 にみるように、3 月の昼間の路面温度は零度以上に上昇するも最低温度は地下 20 cm 付近にあるため、路面に積雪が無い場合でも

路面下に含水量の多い個所が生ずる。

3 月中旬から地表および地中温度の上昇も激しく、また日照、日射量の増加によって、いままで悪化していた路面はだんだん平常に復しはじめる。

しかし含水量の多い半流動状の泥ネイは、路面下の路盤、路床中に残る。

荷重によって路面にひび割れが生ずると噴泥の現象をみる。またこれがカク乱されると軟弱化はいつまでも継続する。

## 13. 結 論

以上軟弱化についての各事項は、従来研究されているところであるが、青森、岩手両県は気象的にみて、ともに同じような条件にあり、凍上または軟弱化を起こしやすい状態にある。

このため現地砂利道の土質および地下水などの条件が凍上に適する所があれば必ず凍害が予想される。

とくに関心を有することは、比較的気温高く凍結深 20 cm 以下の海岸地区に軟弱化の多いことである。

かって地下水面が深く、降水量も少ない、乾燥した沙漠の道路の路床が水の蓄積によって破壊した事実がある。

含水量を増加させる種々の原因については、なお研究し検討する考えである。また本実験については東北大学河上教授ならびに同研究室のご協力を得たことに深甚な謝意を表します。  
(原稿受付 1963.7.2)