

寒地の土木 (II)

高橋 敏五郎*

IV. 寒地の河川

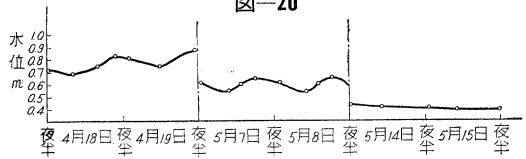
(1) 融雪洪水

(a) 概説 積雪は河川にとって、一冬間の降水を貯溜していることと同じである。したがって、これが一時に融解するなら大洪水となるが、幸いに積雪は低地から高地に向つて次第に融け進むので、融雪洪水は一般に夏季の洪水位よりも低くとどまる。北海道では多くの場合3月中旬から低地の融雪が始まり、山地のそれが終るのは、およそ6月上旬になる。この間の気温上昇が漸進的ならば、ほとんど洪水の危険はないが、急激な暖気の襲来により大出水を起す。降雨は融雪促進に直接的効果は少ないことが知られている。しかし春の降雨は一般に暖気をとまうので融雪出水は激しくなる。またこのときの出水は高水位が長時間続くため、全道的に見ると、このような融雪洪水の被害は、毎年避けがたいものになっている。

融雪洪水量は、もちろんその冬の積雪量と関連しているが、それにもまして気温上昇の影響が大であるから、予測はきわめて困難であり、气象台との密接な連絡が必要である。融雪が始まつてからも高緯度の山岳地帯では夜は結氷点以下に昼はそれ以上に高温となるため、融雪水の水位曲線は規則正しい日変化を行う。図-20は石狩川の支流幾春別川(流域面積 163 km²)における水位の変動で融雪のいちじるしい4月下旬から5月上旬において特に明瞭に現われている。この傾向は流域面積の小さいほど明らかで、流域の大きい(15 000 km²以上)ものになると融雪水の到達時間が一定しないので、それほどいちじるしくは現われない。この水位曲線を流域内の気象条件と関連させて分析することにより、それぞれの河川に特有な融雪の状況を知ることができる。融雪水が河に達する割合は、おもに融雪率と土地の浸透率に関係し、融雪が早ければ浸透は減じて流出が増す。特に地表土が凍結しているときは、浸透はほとんどなく全部流出する。大体において地下浸透の少ない場合で74%、浸透の多いときは16~57%と流域の状況によつて大幅な変動を示す。また積雪の少ない泥炭地では地表の凍結がいちじるしく融雪水は凍結した泥炭および積雪下の結氷層上を流れるため、一般の流出状態とはいちじるしく変

* 正員 総理府北海道開発局建設部長

図-20



つた状況となる。

(b) 融雪出水の予報 積雪地帯における河川の年間流量は降雨と降雪がその源をなしている。このうち降雨による流出は、地表条件すなわち勾配、林相、地質等と気象条件、すなわち降雨強度、降雨分布等に支配されるので、その予報については種々の方法が試みられ相当の効果をあげているが、まだ完全の域には達していない。降雪によつて山野に蓄積された雪が春になつてひき起す融雪洪水の予報は、雪から水への融雪過程が加わつて降雨の場合以上に多くの因子が入るため、その解明はなかなか困難である。融雪洪水の予報方法は、大別して二通りに考えられる。すでに相当古くから(1915年頃)米国で行われている方法であるが、

(1) 全流出量は積雪の標準水量の割合に比例すると仮定し、長年にわたつて一定した調査コースの積雪水量と流出水量を求め、両者の相関の比率から予報する統計的方法で、融雪の始まるときの積雪水量を積雪調査により実測しなければならない。この場合、調査コース選定の適否、調査時期等が重要で標高により、または降雪量によつて幾つかの地帯に分けて標準積雪水量算出の正確を期さねばならない。従つて正確な出水予報を行うためには、相当長期間にわたる資料の集計が必要で急場には間に合わない。図-21, 22はそれぞれ幾春別川流域、石狩川上流大雪山系における標高と積雪水量の関係、図-23, 24はそれぞれ同一地域の積雪深と積雪水量の関係を示したものである。写真-5, 6はスノー サンプラーによる積雪水量の調査状況である。さらに近年各地で試みられている方法として、

(2) 融雪に関係する多くの要素を考え、これをべつ

図-21

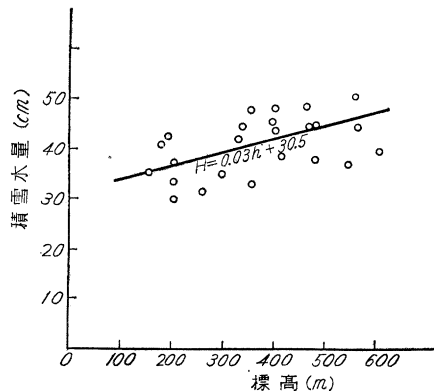


図-22

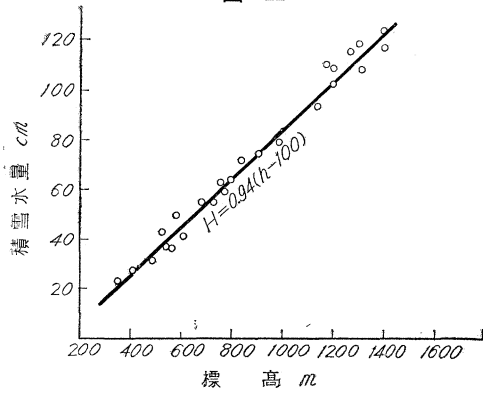


図-23

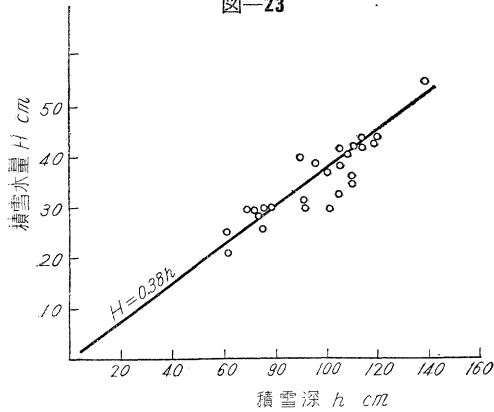
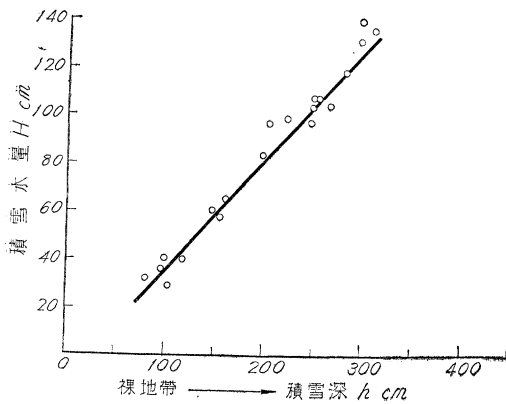


図-24



べつに解析し、さらに総合して融雪出水を予報する方法がある。すなわち気温、風速、湿度、降雨、土の含水等について理論的または実験的に解析し、対照とする河の出水曲線から単位流量曲線を求め、これを合成して出水予報を行うもので、わが国では東北地方の諸河川でこれを試みた例がある。この場合融雪を左右する大きな因子として①空気対流による熱移流、②空気中水蒸気の凝結効果、③融雪期の降雨とを考慮している。

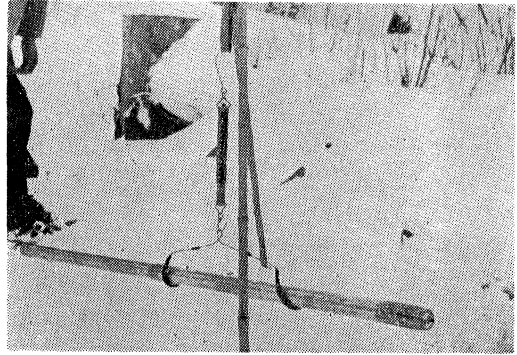
①については

$$M = 0.04 V_w C$$

写真-5



写真-6 スノー サンプラーによる積雪水量調査



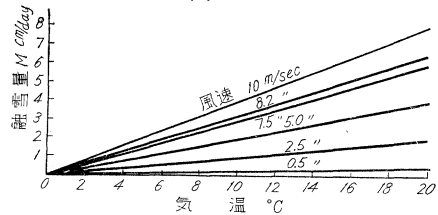
M : 1日当り融雪量 (cm/day)

V_w : 風速 (m/sec)

C : 日平均気温 ($^{\circ}C$)

の関係にあり、これを図示すると 図-25 のとおりとなる。

図-25



②については

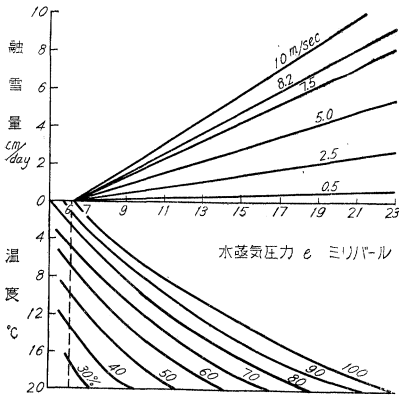
$$M = 0.0672 V_w (e - 6.11)$$

e : 気温 ($^{\circ}C$) の空気中水蒸気圧力ミリバール

これを図示すれば 図-26 のとおりである。

③の降雨についてみると $10^{\circ}C$ の雨が 80 mm 降つて 80 cal の熱量にすぎないので 1 cm の融雪に相当するだけであるから、雨のもつ熱量からいえば融雪に大きな影

図-26



響は与えないが、降雨のあるときは気温も高く、湿度も100%に近く、しかもある程度の風も加わることが多いので①②の影響が大きくなって洪水を発生させる場合が多い。その他の方法として

(3) 積雪地帯の空中写真測量によつて融雪期における融雪進度と、出水量の関係をあらかじめ求めておくと、あるいは夏、秋の流出量を冬および早春の流量の実測値と、これに対する流量曲線の特性から前年と同じ状態と仮定して出水予報を行う方法もある。

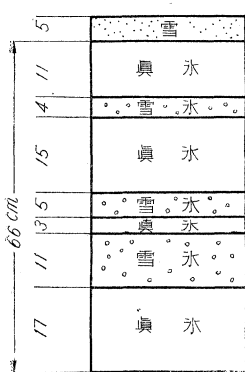
(2) 河川の結氷

(a) 概説 北海道の河川は12月中旬から下旬にかけて結氷を始める。結氷の様相は降雪が多く寒気がそれほど厳しくない石狩川と、降雪が少なく寒気が厳しい十勝川とでは異なっている。

石狩川では最初、水面に浮んだ雪塊群の流下がり、何かの障害によつてそれが滞留を始めると、やがて河幅一面に拡がり次第に表面から結氷する。氷は最初下方に成長するが、積雪が増加するに従つて下方への氷結は緩慢になり、やがて反対に氷盤下面では融解消耗が起る。また氷の上方への成長は次のように進む。氷盤は水位の昇降や地温等のため、川岸付近では水面を残すか、また

図-27

石狩川の河水断面



昭 18. 3. 15 調査

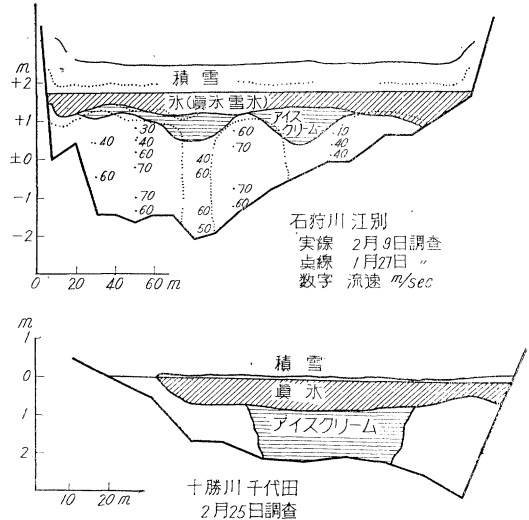
は破碎しているのが普通である。積雪が増加するたびに、その重量で氷盤は押し進められ、水が浸透して雪の下層は水で飽和され、上層は水を吸い上げて凍結する。ここでできる氷は雪の含水状態によつて、人造氷に似た透明な真氷と多くの気泡を含む半透明の雪氷となる。この過程をくり返して次第に厚さを増すので、石狩川の河水断面は真氷と雪氷の互層になつてい

る(図-27)。

厳寒期には氷盤の下に多量のアイスクリームが停滞している。これは結氷初期に流下する雪と河水の混合物ではなく、氷盤を通して浸入する寒気により、流水がアイスクリームに変化したものである。石狩川では氷の厚さは50~70cmであるが、厳寒期のアイスクリームの厚さは、その数倍に達することがあり、たえず消長変形している。

十勝川の方は、まづ水面が冷却して微細氷片が発生し、緩流部、滞流部より氷結を始め、次第に河心に向つて発達し河幅全面に張りつめる。氷はほとんど全部下方に成長するので全層が透明の真氷となり、厚さは80~100cmに達する。また氷盤の下には厚いアイスクリーム層が付随し、厳寒期には河底に達することがある(図-28)。

図-28 結氷期の河川横断面



結氷面に穴をあけると、もちろん水は氷の表面付近まで上昇する。河水は氷盤、河底および不規則な形のアイスクリーム層の間を流れており、断面、粗度係数の変化に富む管流に等しくなっている。前述の結氷時の水頭と、夏季の水位を同一にしてその流量を比較すると、冬季の流量は夏季の30~60%にすぎないことが記録されている。

解氷は3月中旬より下旬にかけて、下流より次第に上流におよぶ。寒気のゆるむに従つて、まづアイスクリームが消滅し、氷も始めは下方より、後には上下両面より溶けて薄くなり、やがて融雪による水位上昇とともに、こなごなに破碎して流れ出す。この開水前または解氷期に降雨や急激な暖気により出水する場合は、氷のため流下断面が狭められているので水上を走ることがあり、また流水が随所に堆積して流れをせき止め、局部的に異常出水を起し河岸、河底を洗掘する。

河川工事の作業船類は、雪塊群が流れ始めると、数日後には水に閉じ込められ航行不能になるので、ただちに上架するか、越冬カ所に繋留しなければならない。繋留船は水着により破損する危険があるので、冬中水切を行って船体周囲を開放する。

(b) 氷の衝撃圧 流水により護岸その他河川工作物はしばしば被害をうける。例えば牛ワク類、並杭水制、橋脚等は、氷群の衝突、乗上げ、あるいは氷塊の堆積による水位上昇、河床洗掘などにより、折損、圧屈、倒壊など種々の損害をこうむり、蛇籠の鉄線が流水にもまれて切断された例もある。北海道では多くの河川で流水の被害があるが、最もはなはだしいのは天塩川である。

流水の衝撃圧算定には、ソ連、元満鉄などの計算例が引用される。

$$P = KT$$

P: 幅 1 m 当り水圧 (t)

T: 氷厚 (m)

K の 値

橋脚の形状	満 鉄		ソ 連	
	(1)	(2)	(1)	(2)
夕 円 形	200	150	225	155
尖 頭 形	150	100	150	100

(1) 解氷時の水位に適用

(2) 流水時の最高水位に適用

また衝突停止した氷塊にかかる水圧を加算することがある。

$$P' = Fv^2/g$$

P': 加算すべき全水圧

F: 氷塊の水中部で水圧をうける部分の投影面積

v: 流速

g: 重力加速度

流水衝撃圧の算式は、大陸の大河川を対称としているので、北海道の河川に適するかどうかは不明である。

流水の多い河川では橋梁径間をできるだけ長くとり、橋脚には氷除をつけ、頭部を金物で保護する。またワク類、水制工などは、流水時の水位を考へて、できるだけ低くつくり、堅牢な構造にする。

(c) 氷の強度 河川結氷はしばしば足場、仮橋などの代用に使われる。この場合の載荷能力については、氷厚のほか、氷質、温度、載荷法などによつて異なり、確実な判定は困難である。

氷はその外観に似あわず可塑性で、比較的軽い荷重の下でもクリープが大である。強度は温度により敏感に変化し、また結晶組織、加圧方向などによつても差を生ずるので、過去に行われた多くの試験結果も同一条件下で大差を生じている。表-1 は石狩川の天然氷の強度を示し、図-22 では内外の実験値を参考にして、河水の強度と温度との関係を傾向づけてみた(表-1, 図-29)。

表-1 石狩川、河水の強度

圧 縮 強 度

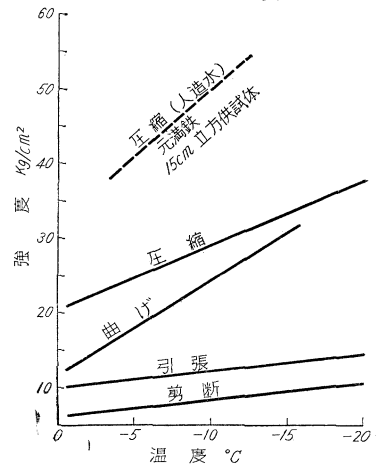
氷 種 別	結 晶 軸 に 対 し 加 圧 方 向	破 壊 強 度	気 温	河 川
不 透 明 雪 氷	平 直 行 角	25.4 22.9	-3°C -4	石 狩 川
半 透 明 "	平 直 行 角	27.3 22.6	-4 -2	
透 明 真 氷	平 直 行 角	27.4 23.9	-2 -6	
"	平 直 行 角	38.0 35.1	-15~-28	十 勝 川

曲 げ 強 度

不 透 明	平 直 行 角	13.8 10.1	-5°C "	石 狩 川
半 透 明	平 直 行 角	9.4 12.8	-3°C "	
透 明	平 直 行 角	14.3 9.2	" "	

二、三の人造氷の実験では、強度は温度の低下にほとんど正比例して増大することが認められたが、この図のように、全く直線的であるかどうかは、わからない。一説では強度増加は曲線変化をなし、また変移点があるともいわれる。加圧方向の影響については、圧縮強度は結晶軸方向(寒気の浸透方向)に対して強く、せん断強度は結晶軸に直角方向に対して強いが、その差はまちまちであり、また引張り、曲げなどについては、加圧方向による差異は明らかでない。天然状態の河水は各層氷質を異にし、温度分布も複雑で常に変化している。

図-29 河水の強度



経験によれば、厳寒季の真氷、または良質の雪氷については、単に人がのるだけなら数 cm の厚さでたりる。しかし荷物を持つて安全に作業するには 10~15 cm を必要とし、馬ソリ等も通すならば 15~20 cm、さらにトラックをのせるには、30 cm 以上でなければ不安ともなる。

氷橋では人工的に氷厚を増すため、氷盤上に雪で小堤をつくり、堤内にソダを敷きならべ、雪をかぶせて踏み固めたのち、河水をかけて十分含水したものを凍結させる。このような人造氷は良質なものにはならないが、厚

きが増すので補強の目的を果たすことができる。ソダは荷重分散に役立つ上に、局部的な踏み抜きを防止するのに効果がある。

水深が大で作業船等も得がたい場合、氷を足場にして蛇籠、ブロック単床などの布設をすることがある。すなわち、氷上で所定のとおり布設し、蛇籠は相互連結したのち氷を切つて沈める。しかし多くの場合、床ならしが不可能なので確実な工法ではない。こんな場合に、玉石などを長く放置しておく、氷はクリープ質が強いので、氷盤が破壊しないままで次第に沈下する。

(d) ダムにおける氷圧 ダム氷圧については、氷盤の厚さ、対岸までの距離、温度等に関するといわれるが、まだ不明な点が多く、一般には 1 m 当り 10~15 t/m² と仮定し、また次のような公式もある。

$$P = -5.4\theta \leq \frac{18}{\left(\frac{L}{100h}\right)^2}$$

P : 氷圧 (t/m²)

4θ : 最低日平均温度 (°C)

L : 対岸距離 (m)

h : 氷厚 0.023√-ET (m)

T : 結氷開始から氷厚が最大になるまでの日数

E : 前記期間の日平均気温の平均値 (°C)

氷圧は堤体の安定計算には、それほど重視する必要はないといわれるが、ゲート類の設計には考慮すべきである。また氷結防止にはダム前面の水を連続的に機械攪拌、気泡吹上げ等をする着想があり、またしばしば巡回して厚くならないうちに人力で切り取ることもできる。

V. 寒地の道路

(1) 路線選定

寒地の道路で、雪崩や吹溜りを考えずに選定した路線は、しばしば致命的な欠点を負うことになる。これには雪崩止や防雪棚などの対策もあるが、それは最後の手段であつて、建設時にできるだけ被害を少なくする配慮が必要である。しかし夏の測量時に冬の被害を考察することは、それほど簡単ではないので、一般気象調査のほか、付近居住者について冬の状況をききとることは有力な助けになる。

雪崩発生の恐れがある場所は、立木の少ない傾斜地やがけ下などであるから一応の注意をひく。またくわしく調べると、よそと異なる山肌、植生、かん木の折曲りなどから、雪崩の痕跡を発見することもできる。斜面の勾配は 45°~60° で大雪崩を多発するが、条件によつては 30° でも発生する (図-30)。

雪庇の崩落も交通障害を頻発し、特に雪崩誘発の要因になるので警戒を要する。雪庇が成長しやすいかどうかは、斜面頂上の背斜角と密接な関係があり、理論的には

$\theta = 43^\circ \sim 18^\circ$ の間で発生し、16°4' で最大の成長を見られるといわれる。

路線選定に際して、これらの場所は回避すべきであるが、止むを得ない場合は雪崩止を設け、特に困難な場所はトンネルにすることもある。

雪崩にくらべると吹溜りの発生は、地形地物、局地風速、雪質などに支配され、判断はさらに複雑である。しかし一般的にいえば吹溜り発生場所は、風の吹き通す平原、丘陵、風の吹きつける斜面などであるから、路線をできるだけ森林のかげ、谷間、風かげの斜面などを選ぶことによつて、多くの被害を回避することができる (図-31)。

図-30 雪庇

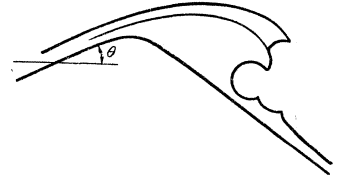
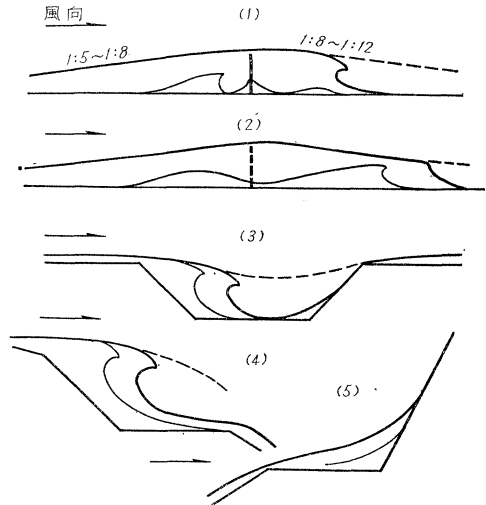


図-31 吹溜り



軽い粉雪は風速 4 m 内外で移動を始め、6~7 m になると、たいていの乾雪が吹雪に変化する。また統計によれば気温 -4°C 以上では、吹雪の発生はきわめて少なくなる。

吹雪の吹き通す場所に障害物を風向に直角におくと、雪はその前後に沈積し、図-31 (1) (2) のような吹溜りが形成される。吹溜りの形状は成長の過程で異なり、また風速、雪質、障害物の通気性などにより変化する。風速が高く、雪質が軽い場合は、風上側は少なくなり風下側に長く発達する。障害物が不通気性の場合は、まづ風上側に発達したのち風下側に移る。また通気性の場合はまづ障害物の前後に吹溜り、次第に成長して不通気性の場合と等しくなる。

実際の現場では、地形の凹凸、土堤、垣、そう林などが障害物となるので、その前後の堆雪圏を避けるか、ま

たは障害物の除去を考慮しなければならない。

森林の風上縁辺部は相当の幅にわたって吹溜りを生ずるが、通気性によつて大差があり判定は困難である。通気性の判断には下枝の繁茂状態を見るのが重要であり、一般に林辺より風上側では 10~20 m、林内では 30~50 m の間は吹溜りの危険が大である。

風向に直角に走る道路の切取部では、図-31(3)~(5)のような吹溜りを生ずる。全切断面では浅い切取りよりも、深く幅の広い切取りの方が吹溜りは概して緩徐であるが、種々の条件によつて確実ではない。図-31(5)の場合は密度の高い吹溜りを生ずるが、切取り勾配を緩にすれば被害は減少する。図-31(4)の吹溜りも深い山かげになれば被害をうけない。これらの切取りではいづれも大小の被害をまぬかれがたいが、もし道路の方向と一致させるか、または 30° 以内に近づけることができれば、吹溜りの発生は最も有効に軽減、または防止することができる。

吹雪地帯の路面高は、できるだけ小起伏の切取りをさけ、その地方の最高積雪高よりも 30~100 cm 高くつくるのが常道である。それでなくとも、このような地帯では除雪によつて道路の両側に雪堤が形成され吹溜りを助長するので、除雪作業も風上側に雪堤をつくらぬよう片押をなし、また風下側雪堤も低く切り下げるか、またはロータリー除雪車で吹き飛ばす必要がある。

寒地の道路として、特に国道や地方道の構造基準を変更する必要はないであろう。しかし冬季交通では障害が多く、速力や積載量の低下はまぬかれがたいので、許されるかぎり上級の規格によることが望ましい。

除雪作業上最も必要なのは、有効幅員時に十分な路肩幅員をもたせて、安全運転を可能にすることである。冬季にはスノーポールなので安全幅員の標示をするが、吹雪時や夜間など視界の悪いときには、除雪車は有効幅員外に逸脱しがちである。

勾配については 6% まで実用化されているが、路面雪質の悪い場合、とくに結氷しやすい時期には緩勾配でもスリップして危険になるので、防護柵などの施設を十分に作るほか、防滑材（砂または砂と塩化カルシウムの混合物）の撒布が必要になる。

曲線半径については車体の前方につき出たスノープラオの軌跡を考えて、できるだけ大にする必要がある。とくにトラック、モーターグレーダー、除雪車などの場合、半径 50 m 未満の曲線ではスノープラオのうける側面抵抗が大になり、幅員の狭い場合や危険カ所での作業ははなはだ困難になる。

切取りカ所や市街地では除雪幅員のほかに雪置場を考慮しなければならない。この必要幅は雪量や雪質によつて異なるが、北海道では二車線除雪に対し、その地方の最高積雪深の 2.5~3 倍をとれば間に合うようである。

しかし市街地ではさらに各戸の出入口や歩道の除雪も必要なので、4~6 m の雪置場を緑地帯、駐車帯などの形で付帯すべきであり、このようしても一部の雪は運搬放棄しなければならない。

VI. 路盤工

(1) 凍上対策の考え方

道路の凍上は、ほとんどすべての場合、不斉隆起であるから、コンクリートのような剛性舗装は、凍上そのものによつても破壊する。しかし砂利道や、可撓性のアスファルト系舗装では、不斉凍上がとくにはなはだしい場合は別として、一般に凍上隆起で破壊することはほとんどなく、それよりも地下解水期に、路床の霜柱から出る水で路床土が含水軟化し、支持力を失なつて破壊するのが圧倒的に多い。

このように、道路の凍上被害が地盤の隆起によるよりも、主として支持力低下によるということは、凍上対策を考える上に重要な点であつて、一般建造物と異なり、道路の場合は必要な支持力を失わないかぎり、少量の凍上は許してもよいと考えられる。

(2) 置換深

すでに前編で述べたとおり、道路の凍上対策は主として置換工法によつており、地盤の凍結深内にある凍上性の土を、非凍上性の選択材料で置きかえるものであるが、広い面積にわたるので、置換深の増減が工費や施工の難易に与える影響が大であるから、慎重な検討が必要である。

一般建造物の場合、凍上を絶無にするため、置換深は凍結深よりも大となるが、道路の場合は前述の理由によつて、次の条件を充足するような置換深でよい。

a) 表層に対し無害な程度まで凍上量を減少すること。

b) 地下解水期に路床支持力が低下しても、置換層が路盤の役目を果して、必要な路面支持力を確保すること。

凍上している道路を切開調査した多くの例から、霜柱の大部分は凍結深の 60~70% 以内の深さまでに発生し、それよりも下層の凍土には少ないことが知られている。路床置換後には種々の条件が在来路床の場合と違つてくるので、この事実をそのまま置換深の決定に引用することは妥当でないが一応の目安にはなる。それで舗装体の厚さ（表層、基層、置換層の合計）をきめるのに、次のような提案がある。

舗装体厚 \geq 凍結深(在来路床) \times 70% + 表層 \times 50%
札幌付近の凍結深は、最高 100 cm (裸地) 内外に達するから、この提案に従えば、必要な舗装体厚は 75~80 cm となる。これは凍結深よりも浅いので、路床の一部には少量ではあるが霜柱が発生し、しばしば 1~2 cm

の凍上が深められ、従つて解氷期には路床支持力が低下する。しかし、この置換層下の路床に起る一連の変化については、まだ十分に解明されていない。

他方、いままでに施工された舗装について、舗装体厚と凍上被害の関係を概観すると、路床土質や地下水等の条件が異なるため確実な判定は困難であるが、舗装体厚50 cm 未満では凍上による凹凸や解氷期の破損がはなはだしく、過去の多くの舗装はこのために破壊してしまった。しかし舗装体厚が増すにつれて被害は減少し、60 cm 以上ではいちじるしく改善され、75 cm 以上になると、アスファルト舗装に関するかぎり、被害はほとんど認められなくなる。コンクリート舗装については、継手に段差を生ずるものがあつて、この程度ではまだ安全ではない。

このように札幌付近では、凍結深の約 80% の舗装体厚をとれば、凍上量も無害な程度に減少し、解氷期の支持力低下にも対応できることがわかつた。しかしこれは、凍結深の異なる他の地方でも成立するとは限らない。例えば凍結深の浅い地方では、80%まで置換しても路盤としての厚さに不足を来し、路床が凍結するならば解氷期の支持力低下に耐え得ないものとなる。従つてこのような地方では、凍結深を置換し、不凍結地の路盤として設計すべきである。また凍結深の特に深い地方では、80%置換した残りの路床凍結部に発生する霜柱の増加が懸念され、この程度の置換で安全かどうか疑われる。北海道で最も深く凍結するのは帯広釧路地方(120 cm 内外)であるが、ここでは 80% の置換で、およそ十分と認められている。

以上は置換深と凍結深との関係であるが、実際の現場ではさらに路床土質、排水等、凍上および支持力に対する条件の良否により、置換深を修正する。このために土質、地下水等の調査をするが、凍上性に対する的確な判断は困難なので、着工前年に実際の現場について、凍上状況を調査することが望ましい。

(3) 路盤工

凍上防止の置換層は路盤工として築造される。路盤材料は大量を必要とするので、安価な地方産材料を発見し利用することが大切で、計画に際して各種材料の分布状況、材質、利用法、輸送法、価格等を調査する。最も普通に利用されるのは砂、切込み砂利であり、特定の地方では火山灰、火山礫が利用されている(図-32, 写真-7)。

図-32

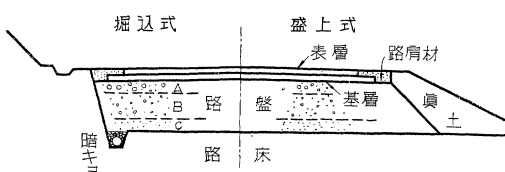
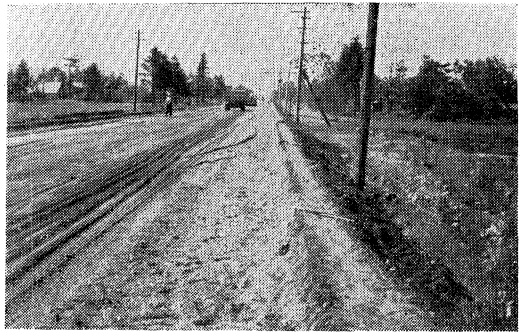
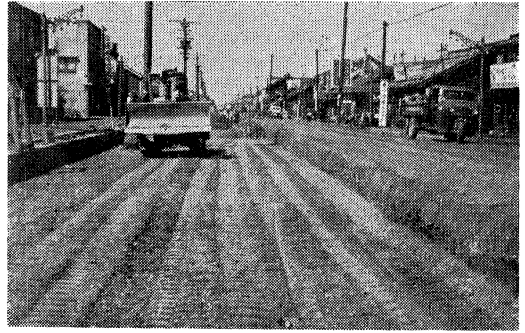


写真-7 路盤工(掘込式と盛上式)



在来道路を改良する場合、市街地その他、施工高に制限をうける区間では、在来路面を箱掘して所定厚の路盤をつくるが、その他の区間では路面上に盛り上げる工法をとる。盛上工法では、在来路面の砂利層は路盤の一部として利用され、転圧その他の作業が容易で工費が安くなり、また完成路面が高くなるため、除雪作業、吹溜り防止等に都合のよいものとなるが、用地幅が広がる欠点もある。

安い価格で良質材が得られる場合は、路盤全厚を同一材料でつくるが、多くの場合、2種以上の材料を組合わせて使う方が有利になる。このときには材質に応じて図-32のような使用区分が考えられる。

a) 輪荷重の強圧がおよぶ範囲であるから最も安定で硬質の材料を選定し、一般に良質の切込み砂利などを15~30 cm 使用する。

b) 砂、粒度組成の不良な切込み砂利、火山灰など、価格の最も安い各種の選択材料を使用する。

c) 路床土に接する部分で境界面に霜柱が発生しやすく、また浸水の恐れがある。路床土が軟化して路盤内に上昇するのを防ぐため、砂または砂分の多い切込み砂利などを20~30 cm 使用する。しかし在来路面に盛り上げるような場合は、この層は省略してよい。

以上のように凍上防止を考慮した路盤の築造は、カリフォルニア(CE法)、ワイオミングなどの柔軟性舗装体の設計法と全く同様であつて路盤支持力も良好である。北海道ではこのようにつくられた路盤に対し、 $K_{30} \geq 25$ となるのを標準としているが、この支持力値は自然転圧

によつてさらに上昇する。

路盤が深くなるので切り取りカ所、坂路などでは雨季、融雪期に地下水が上昇し、湧水が起つて路盤が水びたしになり、凍上や路床泥化を激化することがある。これを防ぐため路床両側の不凍結深部に有孔管を用いた暗キヨを布設するが、坂路部ではさらに路盤内を流下する水を捕えるため横断的にも必要である。しかし路床排水は、いかに完備しても凍上を少なくするのに役立つだけで、これによつて路盤厚を節減することはできない。

VII. 表層工

(1) 舗装型式

路面を砂利道として仕上げる場合、路盤の上に良質の切込み砂利、切込み砕石などに結合材を加えた混合物を10~15cm敷きならし水締め転圧したのち、さらに磨耗層として小粒径のフルイ砂利、砕石などを薄く撒布して仕上げる。結合材を加えるのは安定度を高め、雨水の浸透を少なくするためで、横断勾配も3~4%の直線勾配として路面排水をよくする。結合材は風化岩屑、砕石粉などがよいが、粉砕容易な真土でも間に合い、重量比で10~15%になるよう調節する。

寒冷地の舗装型式としてセメントコンクリート系がよいが、アスファルト系がよいかは、寒地舗装に対する経験の浅い今日、急いで決めるべき問題ではない。現段階ではアスファルト舗装が大部分を占めているが、それは次のような見解にもとづくものである。

1) 凍上を完全に防止することは経済的にも技術的にも困難であるが、コンクリート舗装は微量凍上によつても不斉支持となつて破壊しやすいのに対し、アスファルト舗装は、より大きな基礎変形にも支障なく順応できて破損が少ない。

2) コンクリート舗装は荷重分散能力が高く、路盤支持力を高めるのに費される経費を節減できる点に特長があるが、寒地では凍上対策その他の理由から必然的に路盤厚が増大し支持力も高くなるので、アスファルト舗装で十分間に合い、コンクリート舗装の本質的な利点が失われている。

3) 冬季交通のタイヤチェーンによる磨損に対し、現在のコンクリート舗装はそれほど耐磨性がなく、また磨損したのちの補修が困難であるが、富配合シートアスファルトの耐磨性はコンクリートよりも優れ、かつ修理が容易で経済的である。

4) 築造工費を比較すると、一般にコンクリート舗装の方がアスファルト舗装よりも30%以上高くなるが、目下のところそれほどの耐久性も利点も認められない。

5) 寒冷地では工事適期が短いので、施工速度が高く養生期間などを必要としない工法を望むが、この点アスファルト舗装の方が有利である。

(2) アスファルト舗装

寒地のアスファルト舗装に対して、特に要求される点は、凍害や低温脆化を防止することである。最近さらに冬季のタイヤチェーンに対する磨損防止が一層重要な研究課題になつてきたが、これも低温脆化と密接な関係があることがわかつた。

凍害は舗装体の吸水凍結、とくに凍結融解の反覆により、組織が弛緩崩壊するものであるから、寒地では吸水性の少ない密実な舗装形式が要求される。

暖地のアスファルト舗装では、主として高温期の不安定化を警戒するので、アスファルトは針入度30~60のものが多く、配合量も過剰になるのをさけ、またフィラーの使用量は概して多くなるが、この種の硬質舗装を酷寒にさらした場合は、アスファルトの固化とともに非常にもろくなり、交通衝撃によつて破砕され、また凍上や重車両の通過にともなう、わずかの基層変形にも応じきれずにキレツを生じやすくなる。このような低温脆化を防止するには、固化点の低い軟質アスファルトを多量に配合すればよいのであるが、それは反対に高温時の不安定化を招くことになる。寒地であつても夏の気温は相当上昇し、例えば北海道ではおよそ $\pm 30^{\circ}\text{C}$ の気温変化があるので、低温脆化防止は常に高温安定度と関連して考えなければならない。

実際現場についてみると、凍害や低温脆化による破損は、他の原因と重複して判別困難な場合が多く、また路盤やアスファルト合材が寒地向にいくぶん改善された今日では、被害の範囲もきわめて少なくなつている。

アスファルトコンクリートでは貧配合のもの、とくに硬質のものなどに低温脆化の徴候が見られ、表面破砕やコンクリート床版に似たキレツを発生することがある。この程度の脆化現象を防止するのは、比較的容易であつて、軟質アスファルトをいくぶん多く配合し、石粉の過用をさけるだけでよい。例えば針入度100以上のアスファルトを、粗粒式アスファルトコンクリートでは5%以上、細粒式では8%以上含めば、このような不安はなくなり、高温期の安定度もはなはだしく低下することはない。しかしこのクラスの合材では、タイヤチェーンのはげしい磨損に対抗することは全く不可能である。

(3) タイヤチェーンによる磨損

タイヤチェーンによる舗装の磨損は、わが国だけの問題で外国では重視されていない。それは外国の道路除雪は十分普及し、かつ路面に雪を残さない完全除雪が行われているので、自動車はタイヤチェーンをつける必要がないからである。われわれの場合、現在の経済力では、幹線道路の一部を除雪するにすぎず、自動車は少数の除雪道路のために、チェーンをとつたりつけたりしては、能率よく働らくことができないのである。

タイヤチェーンは製造所によつて異なるが、多くは

6~8 mm 径の軟鋼製チェーンを繩ハシゴ型につくり、タイヤのまわりに巻きつける。その磨損作用は、まづチェーンのゆるみが車輪の回転とともに分銅のように振りまわされて舗装面を強打し、次に車輪がチェーンの上を渡る際に舗装とチェーンの接触面で強圧を与え、さらに前進に際して擦過を行う。最も磨損作用のはげしいのは圧縮であり、次に打撃である(写真-8)。

写真-8 タイヤチェーンと磨損した
アスファルトコンクリート



試験的に 5t ダンプトラックに 8mm タイヤチェーンをつけてセメントコンクリート舗装上を走らせ、チェーンが舗装との接触面で三日月型にすりへつてゆく状況を調査した結果では、走行 150 km で約 3 mm 磨耗して次第に切断し始め、走行 180 km で使用に耐えなくなつたと報告されている。一對のトラック用チェーンの価格は約 5 000 円であるが、それに数倍する舗装の損害が生じているものと想像される。

現実に磨損対策を施さない普通のアスファルトコンクリートが、一冬間(約 2 500 台/日)に 10 mm 内外、はなはだしい部分は 40 mm も磨損した前例があり、セメントコンクリート舗装も三、四冬を経過すると補修を要するようになる。

このはげしい作用に対しては、どんな型式の舗装をもつてきても、磨損を完全に防止することはできないことが明らかである。従つてその対策も、磨耗速度をできるだけ少なくすること、磨耗層の更新が経済的にひきあう

ことを主眼として考えなければならない。

(4) 磨損対策

タイヤチェーンによる磨損は、アスファルトコンクリートもセメントコンクリートも、程度の差はあるがおよそ同様な過程をたどつて進む。まづ表面のモルタル部分は、徐々に均等に磨耗してゆくが、一たん粗骨材が現われると、硬軟の差、粗骨材の離脱などにより急激に凹凸を増し、ついには衝撃による破壊作用に変わる。また粗骨材がゆるみ始めたのちは、水の浸透による凍結融解の反覆作用が加わつてくる。このため損傷したセメントコンクリート舗装の表面部を調べてみると、1~2 cm の深さまで多数の水平キレツがあつて薄層にはぎとることができる。

このような磨損過程から判断して、磨損を激化しないためには、モルタルのような均等質の表層を必要とすることがわかる。

タイヤチェーンの磨損をうけているアスファルトコンクリート舗装に、厳寒期にも半流状態を保つアスファルトを塗布すると、その薄層が残っている間は磨耗を防止することができる。この軟質アスファルトの膜は、厚さ 1 mm 内外が適当で、過剰になるとチェーンでえぐりとられてタイヤに付着し、過少の場合もたちまち消滅して効果は少ない。またアスファルトの軟度にも適当な範囲がある。実際には重油 20% 内外でカットバックしたものを塗布するが、塗布量は舗装面に凹凸があるので、過厚をさけるため 0.5~0.6 l/m² 程度に制限され、この厚さでは一冬間 1 回の塗布では不十分である。もしアスファルトコンクリートの表面に、モルタル部分が残っているならば、タール、クレオソート、軽油、重油などを撒布して、モルタル中のアスファルトを軟化するだけでも磨損の進行は激減する。

以上のことから、タイヤチェーンによるアスファルト舗装の磨損は、低温脆化と密接な関係があることがわかる。

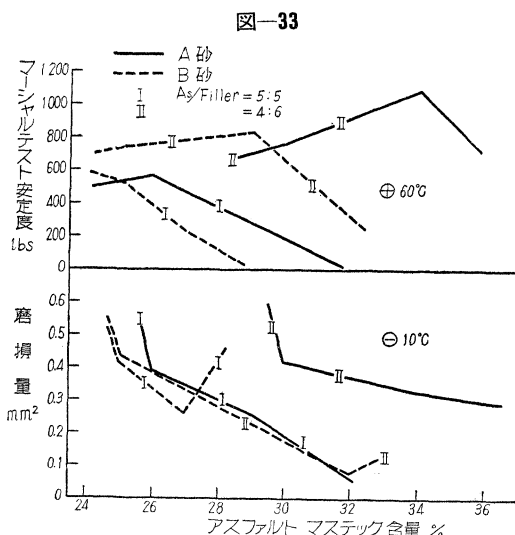
数年前から北海道では、耐磨工法として富配合モルタルの磨耗層を採用している。舗装式はワービット型であつて、厚さ 5~6 cm の粗粒式アスファルトコンクリートの上に、厚さ 15 mm のシートアスファルトを舗設する。シートアスファルトは、針入度 120~150 のアスファルトを 13~14% 含む相当軟質のもので、冬季間は表面にタイヤチェーンの傷痕が一面につくが、温暖期になると自然消滅し、一冬間(一車線 3 000 台/日)の磨耗量は 1~2 mm と認められている。また交通量のそれほど多くない所では、アスファルト量 10% 内外の富配合トベカを採用している。

これらのアスファルト合材の欠点は不安定なことで、わずかの配合誤差、混合不均一、砂の粒度変化などにより舗設困難となり、夏には流動する傾向がある。もちろ

んフィラーを増加することによつて、安定度を高めることは容易であるが、現場の観察でも、実験の結果から見ても、冬季磨損抵抗の高い混合物は、夏には不安定になるほど軟質のものであるから、いたづらに硬くすることは好ましくない。この相反する要求に対する解決はまだできていないが、一つの方向としてアスファルトとフィラーの混合物、すなわちアスファルト マステックの研究が重視され、他の一つはアスファルトそのものの質を吟味して、安定な軟質富配合モルタルをつくらうとしている。

開発局土木試験所では、回転車輪にとりつけたタイヤチェーンの打撃作用を作用して磨損試験機を試作し、各種のアスファルト マステックにつき、安定性と耐磨性の比較調査を進めている(図-33)。

また開発局の材料仕様ではアスファルトの性質を簡易に判別するため、その伸度について一般の 25°C 100 cm のほかに、5°C 100 cm を追加要求することが多くなつている。しかしこれは、アスファルトの低温伸度と低温脆化との間に直接的な関連を確認したのではなく、それよりも、安定な軟質富配合モルタルに適するアスファルトの一般性状を吟味するのが目的である。経験によれば、



低温伸度の悪いパラフィン ベースのアスファルトは、このような用途に適せず、低温伸度のよいアスファルト ベース、例えばカリフォルニア原油のアスファルトなどが適している。(本講座は今回で終了)

純銀製会員バッジ

直径 14 mm の背広用でスマートなバッジです。銀地に金文字浮出しの本格的なもので1コ 200 円 (〒 10 円) でお頒けしておりますから学会へお申込み下さい。

NKK式 ガードレール

実用新案出願中



自動車が道路から転落する事故を防止するため、最近、わが国の主要道路に日本鋼管の「NKK式ガードレール」が使用され、大へん御好評をいただいております。

特に路幅の狭い道路には特殊設計による曲柱ガードレールが、また橋梁には高欄用ガードレールが採用され、交通事故防止の 一役を買っております。

日本鋼管の「NKK式ガードレール」は一組のセットとなつておりますから、現場で加工する必要がなく、簡単に取付けることが出来ますし、外観がきれいですから特に観光地帯には最適です。(写真は真鶴附近の曲柱ガードレール)

(説明書進呈)

NKK 日本鋼管