

寒冷地における工事の特殊性

林 正 道*

1. 寒さと雪

寒冷地における工事の特殊性は、寒さと雪に起因するが、それには2つある。1つは、冬季に施工する工事における特殊性であり、他の1つは、施工時期とは無関係に寒冷地につくる土木施設全般に対する特殊性である。

わが国の土木工事は、その多くは温暖で雪のない状況下で行なわれており、寒冷時にはあまり行なわれていない。これは、地域的にみて寒さと雪に見舞われない地域が多いこと、寒さと雪に見舞われる地域であっても一般にその時期を避けて工事を実施していること、などのためである。寒さと雪を回避するということは後述のように好ましくない影響を受けるからにほかならない。しかし、寒さと雪を避けて、いわゆる適期に工事を実施したものであっても冬季には寒さと雪に見舞われる。これは回避することのできない宿命的なものである。

わが国においては、1年のうち最も気温の低い月は大部分の地点で1月であり一部2月である。1月の月平均気温が 0°C 以下の地域は、北海道はもとより東北から中部の山地部におよび、国土面積の約半分を占めている

(図-1)。代表的地点の気温を示した表-1には、日最低気温が 0°C 未満の日すなわち冬日の数と日最高気温が 0°C 未満の日すなわち真冬日の数をも示している。これによれば、気温が 0°C 以下になるのは北日本に限らず全国各地に及んでいるが、西日本ではその日数が少ない。日最高気温が 0°C 以下の日、すなわち日中でも氷点以下という寒い日は北日本に限られている。中でも東北南部や北陸では、その日数が10日以下であるが、東北北部で約20日、北海道ではほとんどの地点で50日を越え一部に80日を越えるところがある。

積雪日数は表-1からもわかるように、北陸では高田を除き約60~80日、東北では約40~100日、北海道では約100~160日である。わが国は世界でも有数の多雪国であるが、積雪深は年によって著しく異なるし、地域性もきわめて強いものである。北陸では最大積雪深が8mという記録があるほどである。北海道は北陸の多雪地帯ほどに多くはないが、寒冷のため積雪日数が長い。北海道における1959~1969年に至る最近10年間の年最大積雪深の平均と年積算降雪深の平均とを図-2,3に示す。これによれば西部が深く太平洋岸では少ない。

このような寒さと雪は土木施設の計画・設計・施工・維持管理などに種々の影響を与えるが代表的なものについて以下略述し、ご理解を得たいと思う。

2. 寒冷地の工事の特殊性

(1) 凍土と凍上

凍結期における土の凍結深さは、土質・含水比・気温・積雪量などによって異なるが、北海道では1m以上に及ぶところも少なくない。土が凍結すれば氷のように堅くなり、一般土工はきわめて困難になる。一方、せん断強度が著しく大きくなるなど、有利な面もあって、凍結工法の根拠になっている。

最大の特長性は凍上現象である。これは、土壌中の水分の氷晶分離によ

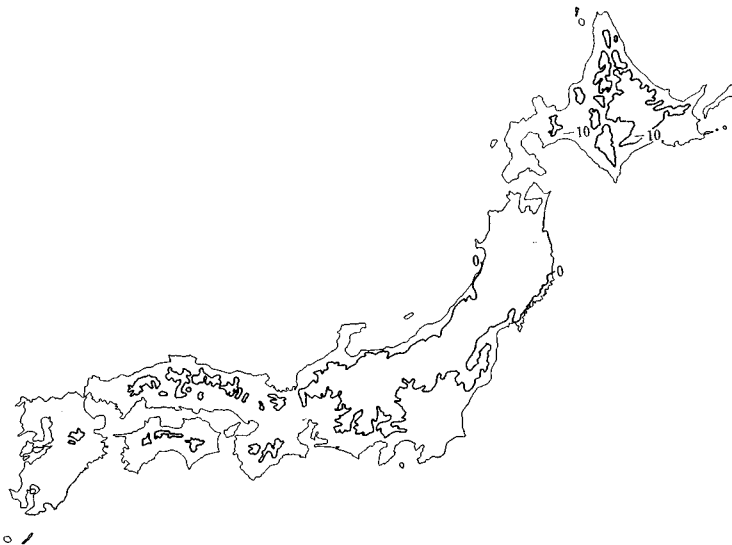


図-1 1月の月平均気温が 0°C 、 -10°C を示す地域

* 正会員 工博 北海道開発局土木試験所長

表-1 気温と雪の統計の一部

地名	真冬日* (日)	冬 日* (日)	1月の月平均気温** (°C)	1月の日最低気温の平均** (°C)	雪日数* (日)	積雪の深さの階級別日数***				
						<10 cm	≥10 cm	≥20 cm	≥50 cm	≥100 cm
稚内	84	141	-5.8	-8.0	140	25	130	112	82	5
旭川	81	168	-8.5	-13.6	134	17	134	122	87	6
網走	81	154	-6.6	-10.4	119	45	99	72	19	—
札幌	53	150	-5.1	-9.5	124	20	111	99	62	9
帯広	62	173	-9.0	-16.2	70	27	97	71	22	1
函館	47	130	-3.9	-7.8	106	45	67	41	1	—
秋田	18	107	-0.7	-3.9	98	42	49	32	4	—
盛岡	20	131	-2.6	-6.7	101	40	59	37	1	—
山形	13	118	-1.2	-4.7	90	32	60	40	7	—
仙台	3	100	0.6	-3.2	66	36	6	1	—	—
金沢	1	49	2.6	-0.1	62	26	37	27	11	2
長野	9	118	-1.5	-5.5	76	43	30	14	1	—
高田	2	75	1.8	-1.4	75	13	88	80	63	39
東京	—	51	4.1	-0.4	12	6	2	1	—	—
鳥取	1	27	3.7	0.5	38	23	20	10	2	—
大阪	—	37	4.5	0.6	17	1	0	—	—	—
鹿児島	—	28	6.7	2.0	7	2	0	0	—	—
高知	—	43	5.2	0.1	6	1	—	—	—	—

注：① *印は、1931年から1960年までの平均。② **印は、1941年から1970年までの平均。
③ ***印は、1941年から1960年までの平均を示す。

て地中に霜柱が発生し、それが成長して地面を持ち上げる現象である。この場合、多量の地中水が氷晶生成部へ吸引されるため、春先の融解期には、その付近の土は過飽和となって、せん断強度を著しく低下させる。道路ではこのような支持力不足の状態では重交通が載荷されれば舗装が破壊される。凍上は土質・温度・地中水の三要素によって支配される。土質はシルト以下の細粒分があるとき発生し、微細なほど氷晶分離が活発となるが、微細にすぎると透水性が小さく水の補給が困難になり、凍上しにくくなる。凍上性の判断は試験によるのが最もよい。温度は 0°C 付近で氷晶分離が起こる。地中水の補給源は地下水ばかりでなく、土の含有水分・停滞水などであ

る。道路の場合の凍結深さは、北海道の場合2月下旬から3月上旬ごろ最大に達し、3月下旬から5月中旬に融解し、路床が泥ねい化、支持力が極度に低下し、最も危険な状態になる。

凍上を防止するには、凍上の原因である土質・地中水・温度のいずれかを取り除けばよい。すなわち、①凍上を起こしやすい土質を凍上を起こしにくい材料で置換する置換工法、②水の補給を断つ遮水工法、③低温度を遮断する断熱工法、などがあるが、工費その他から、①の置換工法が一般に行なわれている。置換材料は、切込砕石・切込砂利・砂・良質火山灰などであるが、置換により凍結深さが深くなるので凍上を完全に防止するためにはかなり深くまで置換しなければならない。したがって、大量の置換材料を必要とする。現在までの研究によれば、凍結深さの80%を置換すれば、舗装の破壊に至らない程度の微小凍上で抑えられることがわかっているため、今日のところ80%置換を標準としている。しかし、輪荷重の増大によって支持力の増加が必要となり、舗装および路盤の厚さが厚くなってきたので、比較的暖い地方では凍結深さの以上の置換厚になる場合がある。②の遮水工法には、毛管作用のない疎材料で水の補給を断つ方法とビニール・アスファルトなどで遮水する方法などがあるが、施工上難点があり、また長期間の効果にも疑問があり、本格的に実施された例がない。③の断熱工法は断熱層によって路床を保温する方法で、近年押出し発泡スチロール樹脂(25~38mm)などの断熱材を路盤と路床との境界付近に設置することが試験的

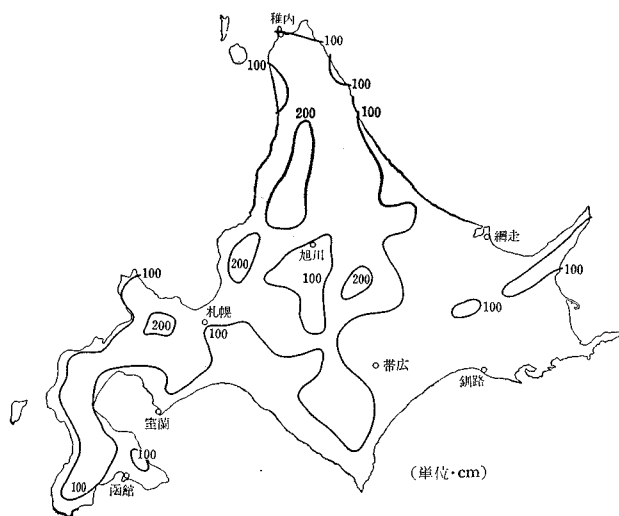


図-2 最近10か年の平均最深積雪の分布図

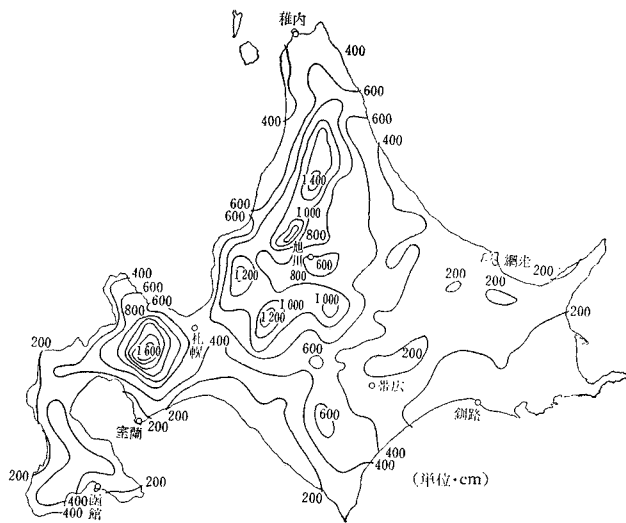


図-3 最近 10 年間の平均積算降雪深の分布図 (全冬・4 月分)

に行なわれている。交通荷重が小さく、凍結深さが大きい場合、凍上抑制層材料の価格が高い場合などに有利である。

凍上現象は、道路ばかりでなく、用水路・擁壁・トンネル・側溝などにも起こる。冬季通水しない用水路が積雪の少ない場合、側壁では側方から、底板では上方から寒気が入り、背面・下面の土質によっては凍上現象が生じ、側壁・底板に被害を与える。

トンネルでは巻立て終了後に背面の軟弱岩が凍上を起こし、覆工に大きな被害を与えることがある。凝灰岩・凝灰質泥岩・泥岩などの軟弱かつ高含水性岩石の中に凍上性のものがある。凍結深さ 100 cm 以上のトンネルの観測例もあり、覆工背面に置換工法または断熱工法を実施する必要が生じる。構造物に隣接する周辺の土の凍上によって、構造物に被害をもたらすことがあるが、この場合には、周辺土の置換を考えなければならない。一般に凍上は寒気の進入方向に起こるもので、鉛直方向とは限らない。

(2) 寒冷地道路と冬季交通

寒冷地道路の特殊性として、前述(1)の凍土・凍上のほかに冬季の降雪・積雪があり、大きな交通障害を与える。今日では除雪指定路線が大幅に増加し、主要道路は機械除雪によって冬季交通が確保されている。しかし、路線・幾何構造・施工基面高などの選定・決定にあたっては、道路築造後の冬季の維持管理をも十分考慮しなければならない。すなわち、できるだけ雪庇・なだれ・吹きだまりなどの発生のおそれのある箇所を避けること、避けられない場合には、雪庇なだれ発生防止工・防護工・防雪柵工などを設けること、地吹雪による視程悪化

は自動車の走行を不可能にすることさえあるので風の強い地域では路線を恒風方向になるべく近づけること、日照のよい路線を選定すること、地方部の盛土部ではその地域の積雪深・除雪作業などを考慮して施工基面高を高くすること、などである。気温の低い北海道などでは、湿気の少ないさらさらした乾いた雪が多く、強風によって積っている雪を吹きとばし地吹雪となり、地形によっては大きな吹きだまりを生じる。トンネル・スノーシェッドなどは、これらに対してきわめて有利なものである。切土区間では除雪により側方に押しやられた雪を堆積する堆雪帯が必要であり、また切土・盛土にかかわらず安全な除雪作業を確保するため十分な路肩を必要とする。これは路側堆雪による視程の低下防止のためにも有効である。このほか積雪のため路面表示が視認できなくなるとか、吹雪によって標識に雪片が付着して、その効

用を果さなくなるとかの問題がある。これは融雪によって解決が可能であるが、経済的にそこまで実施できない状況にある。

冬季の路面雪氷は、すべり摩擦抵抗を低下させてスリップ事故の原因となり、さらに低速度をしいられ交通渋滞をもたらす。したがって、縦断勾配を緩にし曲線半径を大きくするなどの配慮が必要である。急勾配部、小曲線半径部、信号機のある交差点などでは、すべり摩擦抵抗を高めるために、一部ではあるが融雪薬剤の散布、ロードヒーティングを実施しているが、社会的要請の高度化・事故防止の観点から増加の傾向にある。比較的寒さのきびしくない北陸・山陰などでは、地下水・河川水による消雪が試みられている。

冬季異常降雨時あるいは融雪期などには、路面の水が路側堆雪のために排水されずに滞水して交通の障害となる。ときには滞水が深く、ブレーキの故障を生じたりする。したがって、縦断勾配の低部など滞水の予想される箇所には路面横断水抜き工を設ける。

アスファルト合材は夏季高温時に安定度が大きく、かつ冬季低温時に脆化せずタイヤチェーン等に対するすりへり抵抗が大きくなければならない。夏季に安定度の高い合材は一般に冬季低温時にもろくなり、タイヤチェーン等の衝撃によりすりへる。北海道開発局では多くの調査研究の結果、アスファルト量約7%の密粒式アスファルトコンクリートで、石粉とアスファルト量の比1.7程度のものを多く使用している。すべり摩擦抵抗および夏季の安定度と冬季のすりへり抵抗とは、合材の配合設計に際し相反する要求となるので、さらに今後の研究が必要である。

(3) 鋼およびコンクリート構造物

鋼材は、使用時温度が低いほど、板厚が厚いほど、炭素量が多いほど、応力集中度の大きいほど、不連続部・切欠のあるほど、溶接施工が不十分なほど、脆性破壊の危険がある。気温が著しく低下する地方の溶接橋では、引張応力を受ける重要な溶接継手の構成部材には、その地方の最低気温で 2.8 kg-m 以上のシャルピー吸収エネルギーをもたせるようにしている。近年は 80 キロ鋼が橋梁にも使用される傾向になってきたが、寒冷地では十分に調査のうえで使用しなければならない。北海道開発局では現在 60 キロ鋼の段階で板厚は 38 mm までを使用しているが、今後の調査研究にまつところが多い。

橋梁床板の破損は、輪荷重の増大と交通量の増加によるものと考えられているが、寒冷地では舗装面からの水の浸透による凍害が破損を加速しているものと思われるので、道路橋示方書に示されている床板厚と鉄筋量を確保すること、交通開始時に十分な強度を確保すること、防水工を施工すること、などが必要である。

橋梁の合成ゴム伸縮継手の取付けにあたっては、確実に定着すること、除雪作業によりゴムが破損しないよう舗装面よりも 5~10 mm 下げて設置すること、導入圧縮量は低温度を十分に考慮して大きめに見込むこと、などが必要である。

橋梁の雪荷重は、除雪の程度・積雪量などによって異なる。完全除雪すれば雪荷重は不要であり、除雪しない場合は交通が途絶する地域もあるので実態に適合した積雪荷重を載荷する。いずれにしても、その地域の実状に応じて定める。

ポストテンション方式 P C 桁のシース沿いのコンクリートにひびわれが発生することがあるが、その原因は P C グラウトその他いろいろある。これを防止するには寒冷地ではとくに P C グラウトの硬化後に分離水がシース内に残留しないような配合とすること、十分硬化するまで凍結しないよう保護することなどが必要である。このほか、シースのかぶりを、なるべく大きくすること（少なくとも 4 cm 以上、かぶりとシース直径との比は少なくとも 1.0 以上）、シース群を囲む鉄筋はなるべく小さなピッチで配置すること、などが望まれる。

橋台・橋脚を完成して越冬する場合、アンカーボルト孔中の水が凍結して周囲のコンクリートを破壊することがある。同様のことが、あらかじめ穴をあけておく他の構造物にも起こる。アンカーボルト孔を前年にあけずに必要なときに削孔するとか、孔に水が入らないよう水密なふたをすとか、孔からコンクリート表面までの厚さを厚くすとか、十分な鉄筋を配置するとか、などを考えなければならない。

コンクリートの凍害についても注意が必要である。凝結硬化の初期に凍結すれば、その後適当な温度で養生しても凍結による悪影響が将来に残る。したがって、凍結しないように適当な方法で保護する。適当期間の養生終了後に凍結するのはやむをえないが、どの時点で凍結を許容するかは、むずかしい問題である。1~3 回の凍結に対し圧縮強度 35~50 kg/cm² でよいとするもの、一冬に数十回も凍結する場合は 150 kg/cm² の強度を要とするものなど、いろいろである。いずれにしても、凍害の根源は水であるから、保温養生終了後コンクリートが 0°C 以下になるときは、できるだけ水分の少ないほうがよい。保温にあたっては、とくに隅角部に注意し寒風を防がなければならない。

施工時期とは無関係に、寒冷地のコンクリートは地中や水中に埋没されるものを除き長年月にわたり凍結融解の繰り返しを受けるので、これに対し十分耐久的でなければならない。水で飽和された状態で凍結融解を繰り返す場合には、とくに注意を要する。

0°C 以下の低温度におけるコンクリートは、圧縮強度も引張強度も、ともに常温時よりも増大し、とくに飽和状態で凍結した場合に著しく、常温時の数倍に達することがある。乾燥しているコンクリートの強度増加は僅少である。圧縮も引張もほぼ同じ程度に増加するので、コンクリートは低温度にもろくならないといえる。

構造物の施工にあたり、足場とか支保工が凍結土の上につくられた場合、突然の暖気等で地盤が融解し沈下・倒壊等の事故を発生させることがあり、反対に凍結していない地盤上の場合に 2.(1) で述べた凍上により被害を受けることがある。足場・支保工の場合にも、地盤の凍結に対して十分な配慮が望まれる。

(4) 流水・結氷・融雪出水

オホーツク海沿岸は冬季流氷接岸のため船舶の航行が不可能になり、港の機能は停止する。この流水のために波浪は静まり、港湾構造物は氷面上の部分は波をかぶらず極度に冷却される。その結果、ケーソン中詰が砂石のときには空隙中の水が氷結してケーソンを破損させることがある。中詰がコンクリートであれば破損しないが、経済性から砂石が多く使用されるので、ふたコンクリートを厚くするなどして対処する。春先暖くなると大部分は流氷群として離岸するが、一部のものは海上を浮遊しており、波浪によって直立防波堤に衝撃を与える。この衝撃力はよくわかっていないが、防波堤工事の場合などには注意を要する。

北海道の河川は大部分が冬季結氷する。氷厚は寒冷の度合いによって異なるが、十勝川では 100 cm 以上にも達する。結氷河川では、氷を足場として橋梁工事・護岸

工事・各種調査などに有効に活用できる場合が少なくない。解氷期には流氷が流下して河川構造物に衝突し、とくに木造橋脚などでは大きな被害を受ける。重要な構造物では前面に防護工を設ける。

河川の結氷により酸素の供給が不十分となり、冬季の低温とともに河川の自浄機能を低下し水質管理上の問題を提起している。

河川に関する最大の特異性は融雪出水である。冬季間貯溜された積雪は、春先に日射・気温上昇・降雨によって融ける。このうち、気温上昇が最も大きな影響を与える。したがって、河川流域内の温度分布・日射量・積雪分布・土質条件などが重要になる。流出の過程は雪面での熱交換による融雪に始まる。そして、積雪層は融解と凍結とを繰り返しながら次第に変形し、多孔質な部分と氷板状の部分との互層をなす。この互層間を垂直浸透・横方向浸透して地表へ沈降し河川に流入する。この流出機構は複雑で的確な出水予報はむずかしい。しかし、融雪出水の予知は防災上はもちろん、利水上もきわめて重要で、今後の研究にまつところが多い。また、近年の都市化の進行による都市小河川の融雪出水も見のがすことのできない問題になってきている。

(5) のり面保護工・その他

寒冷積雪地ののり面は、雨水による被害よりも凍結や積雪による被害のほうが大きい。また、冬季間寒気がきびしく、かつ雪のほとんどない地方では、空気が乾燥するため砂質系やシルト系ののり面の土は乾燥して粉状となり、これが風に運ばれて風蝕を受ける。

植生工法において、土質が凍上性であれば冬季間凍上し春に表面から融けはじめるが、融解によって生じた水は土中に氷層があるため浸透できず、のり面の表層部の土は過飽和となり、せん断強さが著しく低下し、泥水となって流下する。積雪初期の小さななだれ、融解期の雪のクリープ・なだれによっても被害を受ける。頁岩などの軟弱岩ののり面は、寒気によって凍結あるいは凍上し春先融解して、はく離することがある。

これらの被害を防止するためには、水をできるだけ のり面表層付近の土に停滞させないように、すみやかに排出させる工法を行なったのち、のり面保護工を施工する。播種工の施工時期の限界は生育停止時まで、ある程度の草丈までに成長していなければならないことから、北海道では地域差があるが、おおむね7月下旬～9月上旬である。

岩に対するモルタルやコンクリートの吹付工は裏側からの凍害に不安もあるが、春先融解期に水の浸出がみられない岩であれば可能である。

その他、地すべりや斜面崩壊なども融雪水によって促

進されるので注意を要する。

寒冷積雪と直接関係はないが、比較的寒冷地に多くみられる泥炭地も、土木工事の大きな障害になる。温暖地方では、その面積が小さいのであまり問題とはならないが、寒冷地ではその面積も大きく北海道では20万haともいわれ、かつ、平地部を占めているため土木工事の対象となる機会が多い。泥炭地は、一般に地下水位が高くきわめて軟弱なので、工事現場のトラフィカビリティが悪く、また、掘削水路や盛土が工事中に破壊する例がしばしばみられる。したがって、工事に先立ち排水溝を設けて地盤面の乾燥をはかたり、散砂を行なったりなどしてトラフィカビリティを改善する。盛土のすべり破壊に対しては、緩速段階施工法や基礎地盤処理工法が、その対策工法としてよく用いられる。また、大きな掘削水路については、斜面安定をはかるため、きわめてゆるいのり勾配とするなどの方法がとられる。しかし、これらの工法は、現場における前記の破壊事故の発生率を著しく低下させることはできるが、まだ完全な解決策とはなっておらず、今後の研究にまつところが多い。

3. 冬季工事と通年施工

寒さと雪は一般に冬季工事を困難にする。寒さについて最も困難なものは、土その他の材料の凍結である。雪については、現場内および工事用道路の雪処理で、雪日数・降雪量の多い地域では寒さよりも困難の度合いが大きい。従来、これらの困難のために冬季にはほとんど工事を行なわず、夏季の施工適期に行なってきた。しかし冬季間の工事の休止は、失業、機械その他施設の遊休、関連産業の設備稼働率の低下など各方面に大きな影響を与えるので、通年施工によってこれを打開しようと、とくに北海道において議論がなされている。

通年施工は、スウェーデン・カナダ・西ドイツが先進国といわれているが、一例として、最も古い歴史を有するスウェーデンの気温と積雪日数とを図-4,5に示す。2月の平均気温がほぼ全域にわたり0°C以下であり、



図-4 2月の平均気温

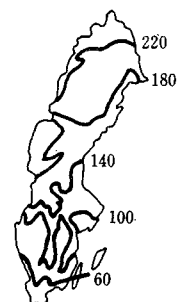


図-5 積雪日数

積雪日数もほぼ 60 日以上である。国全体がわが国の東北・北海道なみのきびしさである。したがって、冬季工事の休止は国にとって重大な問題であり、早くから研究が行なわれ、現在では通年施工が普通であり大きな成果をあげている。ただし、冬季にきわめて不適当な盛土とか舗装とか各種の仕上げなどは適期に施工し、冬季でもそれほど困難を伴わない工事について冬季に実施している。いずれにしても、一般に冬季施工の直接工事費は割高になるのは当然であるが、工事の大型化、工期の長期化(1~3年)などにより、契約事務の減少、機械・施設の有効使用、工事の休止・再開に伴う経費の節減、資金の活用、失業保険給付の減少、失業不安の解消と生活の安定などの利益を得て、全工事費は適期施工に比べ、10%前後も節減されるといわれる。

わが国は、国土面積の半分しか寒さと雪に見舞われなという事情にあり、また、雪の量もスウェーデンばかりでなく他の国々よりも、かなり多いので、困難な面もあるが、通年施工の波及効果が大きいために、諸制度の

改善、冬季施工技術の開発などについて十分調査・研究する必要がある。デカンショ寒冷地を解消することができれば、わが国の発展は一段と期待できるものになるだろう。

あとがき

思いつくままに記したが、限られたページで意のつくせない点も多く、また、ふれていない事項もあるが、ご寛容願いたい。拙文によって寒冷地の特殊性が、いくぶんでもご理解ご認識願えれば幸いである。

文 献

- 1) 東京天文台編：理科年表，昭和 47 年
- 2) 気象庁編：日本気候図第 1 集，1971 年
- 3) 北海道開発局：北海道における道路除雪の基礎資料，1969 年 12 月
- 4) Jan-Erik Jansson : Swedish Winter, Byggnadsindustrin, 1963, 10
- 5) Eliminating Seasonal Variations in Road Construction, Stockholm, May 1963

●特集/終●

水理公式集昭和46年改訂版

定 価 4 000 円・会員特価 3 600 円/送 料 250 円

●内閣総合賞受賞 ●内容見本呈

国民生活と国土の未来像

—30年未来へのあゆみ—

21世紀研究会グループ著(代表・鈴木雅次) ¥9,500

国民生活の設計/健康像と保健医療構造/労働/生活構造/教育/文化/生活基盤と福祉/社会福祉/国土の設計/大都市/中都市/農漁村

構造物基礎の失敗例 —その原因と対策

K. チェッキー著/宮川房夫訳 A5判・224頁 ¥1,300

事故や失敗は洋の東西を問わず多くの点で共通のものが多い。わが国の基礎工事においても、これらの破壊例とその解析は有益な参考資料となるであろう。

都市交通講座・全5巻

編集委員=井上孝・岡野行秀・増井健一・八十島義之助

①都市と交通	¥1,500
②交通と経済	¥1,500
③交通計画と技術	¥1,500
④交通計画の実際	¥2,400

トンネル工学 —理論・設計・施工—

K. チェッキー著/島田隆夫訳 ¥5,900

土圧を受ける構造物設計の要点と計算例

川崎迪一・岩松幸雄共著 ¥2,000

地すべりとその対策

デルバ、メンツル共著/松尾新一郎訳 ¥1,700

斜面安定工法

日本材料学会土質安定材料委員会編 ¥1,900

土木施工システム論

矢野信太郎著 ¥2,000

現場監督者のための 土木施工・全10巻

①現場設計の要点	¥1,400
③すぐに役立つ測量	¥1,500
④分りやすい基礎工法	¥1,200
⑥コンクリートの施工の要点	¥1,200
⑦安全施工の要点	¥1,400

明日を築く
知性と技術

鹿島出版会

107 東京都港区赤坂 6 5 13 電話 582・2251 振替東京180883