

第2節 道路事業の技術

1 道路の構造に関する技術

(1) 道路構造

ア 道路の構造

我が国の道路構造の基準は、大正8年に道路構造令及び街路構造令が制定され、これに基づき大正15年に道路構造令細則が制定されている。当時としては荷馬車など緩速車両による混合交通を考慮しなければならなかったが、自動車の発達により対応することができなくなった。その後、解決すべき課題が次々として出る中で、昭和24年頃から改正が検討され、多くの議論を重ね、また、実験や試験道路を通じて得た知見を基に、数次の改正を経て道路構造令（昭和33年政令第244号）として公布及び施行された。

北海道における道路構造の問題に対する幕開けは、国道36号千歳～札幌間（34.5km）の改良・舗装工事であり、昭和27年10月に着工され、昭和28年に総工費約8億7千万円（安全保障費）をもって完成した。アスファルトによって舗装された道路としては日本で最長のもので、工事の短期間施工としても他に例を見ないものであった（写真1）。

この驚くべき道路は、長い間「弾丸道路」の呼名で親しまれている（写真2）。

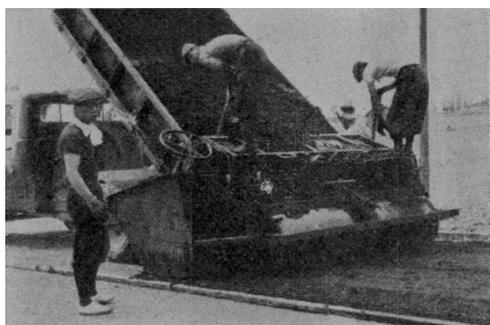


写真1 昔の舗設状況



写真2 完成直後の弾丸道路

昭和33年に施行された道路構造令は、近年における道路の基準となっている。

その後も数次にわたり改正されているが、昭和45年の全部改正では構造規格体系の再編成が行われ、高速自動車国道、一般国道、都道府県道及び市町村道について、道路の種別、道路の存在する地域（第1種から第4種まで）及び級別（第1級から第4級まで）に区分された。

この区分に応じて車道の幅員、設計速度などを定め、道路の規格体系を高規格のものから低規格に至るまで一貫性のある規格に改められた。

その中で、北海道においては、積雪寒冷地である特殊条件に対処するため、積雪に対しては昭和40年代初め頃から、堆雪スペース及び除雪余裕幅を確保した道路横断構造を取り入れている。

また、北海道では一般に気温が0℃以下になるのは11月中旬で、路盤工の上部は1月中旬になると、コンクリート状に凍結する凍上現象が発生する。その後、凍結線は次第に下り、3月中旬頃最

深部に達する。

凍上による被害は、凍結期よりむしろ融解期に現れ、4月下旬～5月中旬になると地中の霜柱部が外気温と地熱により一斉に溶け、通行路床土は泥ねい化して支持力を失い、交通荷重によって表面部分が破壊され、遂には通行不能に陥る。舗装道路であっても凍上防止策工法を行わない場合はもちろん、不十分な場合にも路床が軟弱化して支持力の低下を来し、交通荷重によって破壊する。

凍上防止対策は、凍上の要因となる土質、地中水及び温度の3要素のうち、いずれかを制御して凍上現象を阻止しようとするものである。この方法としては、置換工法、しゃ水工法、断熱工法、科学処理工法などが挙げられるが、一般にはその効果の確実性から難凍上性材料による置換工法が採用されている。

北海道開発局では、昭和28年度に置換深さを在来地盤の凍結深さの80%と定めて以来、既に60年以上の実績があり、凍結深さから定まる置換厚の標準値を採用し、耐久性及び経済性を考慮した舗装構造としている。

その後、昭和57年9月の道路構造令の一部改正に伴う「道路構造令の解説と運用」の全面改訂（昭和58年2月）において、地域・地形の状況により全国統一の標準幅員によることが適切でない場合には、これによらないことができるとされており、適切でない場合として積雪寒冷地域における堆雪幅が必要な場合等を例として挙げている。これに基づき昭和59年以降、北海道ではその地域の積雪に合わせて、路面に降り積もった雪を一次的に路側に堆積する一次堆雪幅と冬期間中の積雪を堆雪する二次堆雪幅を確保した断面構成としている。

平成15年7月には、道路の多様な役割と機能に十分配慮した計画・設計の考え方や、地域の状況に応じて交通機能や空間機能などを適切に考慮して、道路構造令を弾力的に運用するという柔軟な考え方の下、道路構造令が一部改正された。

道路構造決定の流れ（平成15年7月 道路構造令改正）

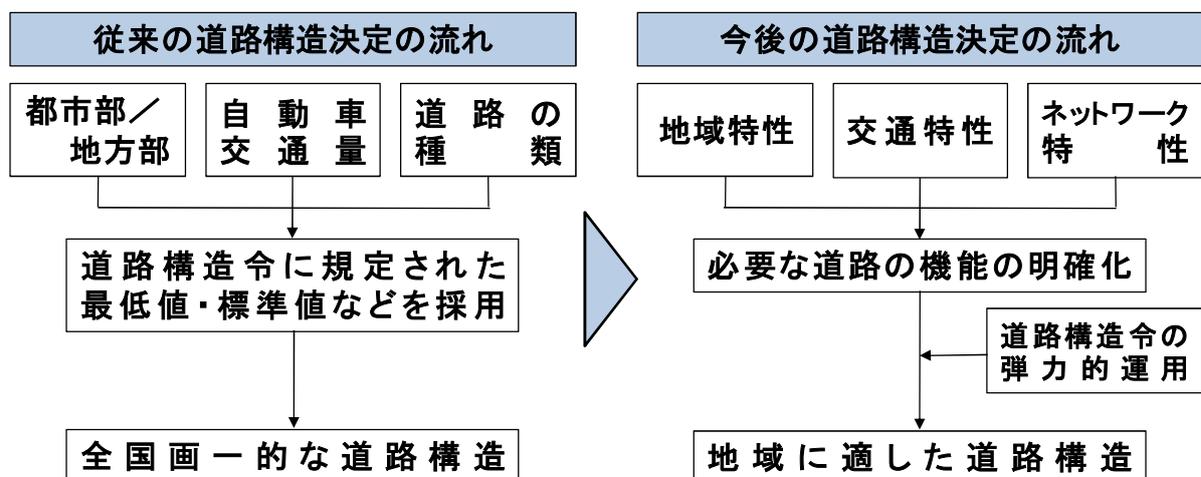


図1 道路構造決定の流れ

これらを踏まえ、北海道開発局では、地域に応じた弾力的な道路構造令の運用を図るべく、従前の道路構造基準を定めていた「道路工事設計基準」を平成16年4月1日付けで廃止し、「道路構造令の解説と運用」に示された“地域の裁量による基準の弾力的運用”という観点から、今後の道路整備を効果的、効率的に進めるため、これまで蓄積されてきた北海道特有の積雪寒冷地の道路技術や構造規格の考え方の導入についても検討を行い、「北海道における道路構造の考え方(案)」(図2)として取りまとめ、北海道に適した道路構造を考える上での参考資料として活用している。

また、平成15年度から、道路景観整備に関するワーキンググループにおいて、道路景観整備についての事例・技術の収集とその手法について検討を行い、平成20年4月に「北海道の道路デザインブック(案)」(図3)が取りまとめられ、平成31年3月には近年の道路景観に関連する新たな法律や施策等の動向、社会ニーズを踏まえた内容の充足を行う改訂が行われた。北海道開発局においては、これらを参考にして景観に配慮した道路整備に取り組んでいる。



図2 北海道における道路構造の考え方(案)

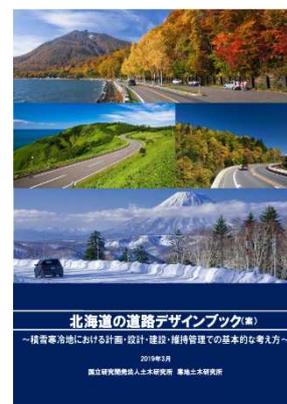


図3 北海道の道路デザインブック(案)

平成20年代以降も道路構造令の改正は進み、平成23年12月には道路法の改正により、都道府県・市町村道については、道路の交通の安全性・円滑性を確保する観点から最低限必要とされる規定を除き、地方公共団体が条例で構造の基準を定め、地域の実情に応じた道路整備を進めることが可能となった。

なお、「道路構造令の運用と解説」については平成27年6月に改訂が行われており、自転車通行空間に関する解説やラウンドアバウトについての項目、さらに、東日本大震災以降の防災対策の取組強化を踏まえた無電柱化の推進について新たに記載されている。その後、平成30年9月の改正では、平常時・災害時を問わない安定的な輸送を確保するための「重要物流道路制度」が創設されたことに合わせ、国際海上コンテナ車等の円滑な通行を図るために、通常の道路より水準が高い特別の構造基準が設定された。また、平成31年4月には、自転車道に必要な幅員(2メートル以上)を確保できない等の理由により、自転車道の整備が全国的に進んでいない状況を鑑み、幅員が1.5メートルでも運用が可能な「自転車通行帯」について、道路構造令に新たに記載されている。

イ 北海道における道路構造の取組

(ア) 北海道らしい道路構造

北海道の自然条件、地域特性、交通特性等を踏まえ、安全かつ機能的で、自然景観にも配慮した魅力ある道路を低コストで整備するため、全国画一ではないローカルスタンダードの導入による、北海道固有の課題に対する独自の取組（北海道スタンダード）（図4）を推進している。

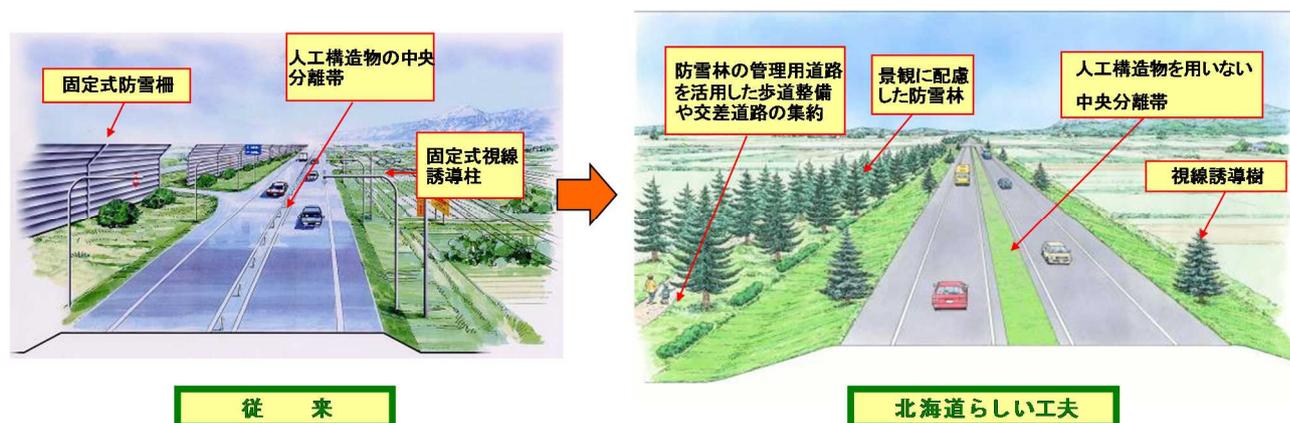


図4 北海道らしい道路構造 イメージ図

具体的には、冬期の吹雪対策及び安全対策を実施するに当たり、自然景観に配慮するため、中央分離帯、固定式防雪柵などの人工構造物を用いた道路ではなく、防雪林、視線誘導樹、緑地型中央分離帯などを用いて、自然景観との調和に配慮した道路構造による整備を進めている。

北海道の都市間を結ぶ郊外の幹線道路では、広域分散型社会を克服する定時性や速達性の確保についても重要な課題であることから、国道40号更喜苦内防雪では、防雪林管理用道路を活用した農耕車両その他の低速車両等との機能分担、交差道路集約、ゆずり車線や駐車帯の設置など、冬期の道路安全対策と同時に、定時性や速達性を低コストで効率的に向上させる工夫に取り組み、その結果、自動車の走行性かつ安全性が確保された道路構造であることが確認され、平成26年7月に国道40号更喜苦内防雪の一部区間において、現道改良では北海道初となる、最高速度70km/hへと速度規制緩和がなされている。



写真3 国道40号 更喜苦内防雪（稚内市・豊富町）

(イ) ランブルストリップス

北海道は広域分散型社会を形成しており、郊外部における国道の大部分が往復非分離の2車線道路であることから正面衝突による事故が多く、交通事故が起きると死亡事故に至りやすい。そこで、自動車の路外逸脱や正面衝突を防止するための運転者への注意喚起及び走行速度の抑制を目的として、2車線道路のセンターライン上に設置するランブルストリップスの整備を進めている。ランブルストリップスの研究開発は平成12年から開始され、国道5号八雲町（写真4・5）における正面衝突事故対策として平成14年に初めて設置された。ランブルストリップスは設置費用の低廉性や事故削減効果が大きく評価され、正面衝突事故対策として積極的に採用されている。



写真4 国道5号（八雲町）【施工前】

写真5 国道5号（八雲町）【施工後】

(ウ) ワイヤロープ式防護柵

高規格幹線道路の暫定2車線区間は大半がラバーポールと縁石による簡易分離であり、一般道に比べ事故率は低いですが、車両走行速度が高いため、正面衝突事故が起きた場合は重大事故に至りやすい。ワイヤロープ式防護柵は、従来の中央分離帯よりも少ない幅員で設置することができ、整備コスト削減と安全性の向上が期待できるため整備を進めている。平成24年12月には国道275号音威子府村天北峠において、一般道では全国初となる試行導入がなされた。以降、高速走行による安全性能実験等を経て、高規格幹線道路の安全対策として全国的にも導入が進んでいる。



写真6 国道275号（音威子府村天北峠）

(2) 切土盛土の土工

ア 機械化施工

(ア) 初期の機械化施工の実例と概要

北海道における本格的な機械化施工による道路工事の始まりとなった苫小牧～支笏湖間道路工事と野幌団地～大曲間開拓道路工事、さらに、機械化施工の発達に大きく寄与した札幌～千歳間道路改良工事について、それぞれの概要を紹介する。

a 苫小牧～支笏湖間道路工事

苫小牧市と支笏湖畔を結ぶ新路線は、観光北海道のホープとして開削が立案されたが、千古の密林を縫って延々20kmに及ぶこの路線を旧来の人力施工により実施することは決して容易ではなく、経済的にも高額な費用を要するため、土木試験所（現 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所）が全面的に機械力をもって直営により施工することを試みたものである。

工事の概要は表1に示すとおりであるが、当初計画量を2倍以上も上回り、機械力の威力を発揮し、予想以上の成果を収めた。この竣功工事量を人力によって行うと仮定すれば、常時150名程度の労務者を稼働したとして、10か月以上を費やす程度のものといえる。

機械化による作業として、ブルドーザによる倒木、伐開、側溝掘削などが実施された。工事報告書には、各車両の性能と土工実績、故障と修理、整備と清掃、機械の償却費、工費の概要、機械化施工計画の立て方などが、所見と共に詳細に述べられており、最後の要約については、現在の機械化施工にもそのまま通ずるものである。それには、次のように述べられている。

表1 機械化施工の内容

内 容	苫小牧～支笏湖（苫小牧市）	野幌団地・大曲（広島村西の里）
工 期	昭和24年 自7月～16日 至12月～7日) 145日	昭和24年 自7月～20日 至11月～30日) 122日
延 長	8,330 m	4,330 m
有 効 巾	5.5 m	4.0 m
造 成 巾	7.0 m	5.0 m
伐 開 面 積	75,000m ² （密林50,000m ² 疎林25,000m ² ）	10,000m ² 笹地、草地（根株あり）
切 土	49,687 m ³	14,700 m ³
流 用 盛 土	4,070 m ³	
運 搬 盛 土	12,150 m ³	4,450 m ³
側 溝	1,800 m	7,750 m ³
横 断 管 工	5カ所	3カ所
敷 砂 利	なし	1,830 m ³
土 質	樽前火山灰及普通土	重粘土質
工 事 費	3,960,000円	3,600,000円
施 工 体 制	純直営	純直営
ブルドーザー	小松D-50 2台 小倉KT-140 2台 民生B-8 1台	小松D-50 2台 民生B-8 1台 米国 キャタピラーD-8 1台
キャリオール	米国 キャリオール6m ³ 1台 日本開発 キャリオール3m ³ 1台	
グ レ ー ダ ー	日本開発 モーターグレーダーHA56 20日間	

「吾々の試験工事を振り返って見ると故障と修理に毎日追われていたような気がするけれど、とにかく安価にして更に施工速度が速いことは事実である。それがまた機械化施工の面白味であり、機械力の偉大さと思われる。そして北海道に於けるこの施工法は第一期の試験時代を過ぎて今や本格的に拡充されつつあるので、近い将来には吾々の土事の幼稚さは未来の良き話題となるに違いないが、体験の一部と将来に残された課題と思われる点を要約して見よう。

- ・ 機械力に依り仕事をする場合、機械に対する吾々の観念に多少修正を加える可きで機械力を過大に評価せず、常に能力の80%以内で使用すべきではなかろうか。
- ・ 機械化工事は運転手、整備工の技術に支配される面が大半を越えるから、これらの教育、訓練に長時間を割いても損にならないと思われる。また能率給、技能給的制度を設けて、働きに応じた優遇の途を講じたい。
- ・ 作業中は機械の騒音に依り細部の指示がむずかしいから、運転手には土木施工法の知識や力の応用に関する初等力学などの知識も与えて置きたいものである。
- ・ 徒らに実働時間の延長のみに腐心せず、常に最良のコンディションで運転出来るように努力した方が終局の勝利となろう。
- ・ 車輛の故障率を減ずることと車輛の重要性を認識させる上からも、毎日の整備、点検、注油を怠ってはならない。従って正規の整備時間を設ける可きである。
- ・ 如何なる場合と雖も惰性を利用した作業、すなわち、衝撃を車輛に及ぼす如きは絶対に避けるようにしなければならない。
- ・ 機械化工事では作業中に重車輛が運行しているので輾圧作業をある程度省いてもよい。
- ・ 折損したギヤーに応急処理として電気溶接で肉盛りしてみたが、今なおその部分は破損していない。
- ・ 北海道のような寒地ではエンジン始動の為の保温装置か加熱装置を速やかに見出す可きであり、吾々の試作したスチーム加熱法も従来の1/2の時間に短縮出来た。
- ・ 重車輛の輸送は鉄道に頼らず陸送（トレーラーなどの利用）にしなければ急速施工の価値を低下する。現在の北海道でトレーラー輸送の出来る路線はほとんどないほど各橋梁の許容荷重が低く、また木造橋が多いようであるから、橋梁計画に再検討を加え重点的な改良を望みたい。
- ・ 重車輛が簡単に通行出来ないような急峻地帯の作業方式を早急に確立しなければならない。勿論機械の改造と作業の方式をマッチさせるようなことは今後に残された問題であろう。
- ・ 単にブルドーザのみでは岩盤に対して全く無力であるが、穿岩機の類を併置するか、または大転石や大木の処理を適当に行なえる機械類を機械化工事班に附属せしむるとその偉力は倍加されるだろう。
- ・ 現在の設計方式では器具機械費と輸送費に困難を来すので早急にこれらの率を改善する必要がある。

- ・ 北海道では9月末～10月初旬になるとエンジンの始動が悪化するから、工事着手を4月初旬になるよう事務的処理の改善を計らねばならない。
- ・ 機械化施工には切土を100%盛土に流用することが出来ない為切土量を多くする計画線を入れる必要がある。この流用率は平均50%程度のようなものであるから、完成された道路は切取りの多いものとなり、北海道のような雪国では除雪事業の線に逆行するような結果を生ずるので充分検討の要があろう。」

この機械化施工についての報告は、昭和26年度の建設省直轄技術研究会でも発表され、大変大きな話題となり、道路工事の機械化施工普及の刺激となった（写真1・2）。

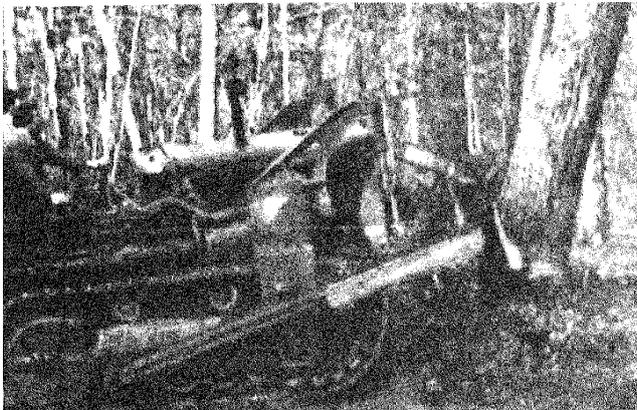


写真1 ブルドーザによる倒木作業

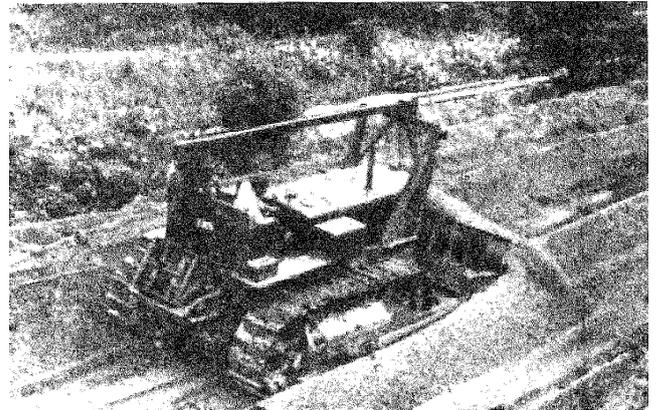


写真2 ブルドーザの土工

b 野幌団地～大曲椴間開拓道路新設工事（広島村の西の里）

札幌土木現業所は、広島町（当時は村）西の里から江別市（当時は町）国有林内までの間において、地方費道札幌夕張線を横切る開拓幹線道路の新設工事について、機械力を主体として直営により施工した。

工事の概要は表1に示したとおりであるが、これを純人力により施行するものと仮定した予算額と比較すれば、74%程度で完成したことになる。また、土工

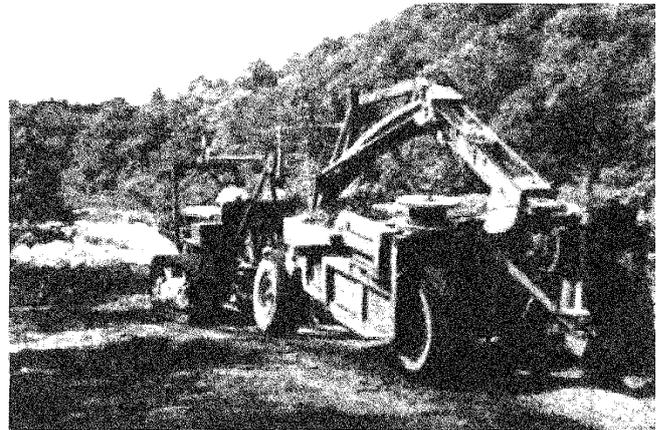


写真3 キャリオールスクレーパー

について人力のみで施工すると仮定すれば、3か月で完成させるためには常時170人程度の労務者を稼働させなければならないことになり、極めて困難なこととなる。

報告書には、工事、修理、各ブルドーザ別の稼働状況、系統別故障状況、消耗品、土工能率、運搬距離と運搬土量1m³当たりの経費の検討、減価償却、機械メーカーへの注文、機械作業班の編成などについて所見が述べられている。

この報告書は、その後の機械施工計画を立てるのに大いに役立つとともに、機械の性能上の問題点を解明し、メーカーに指摘することにより、機械の開発、改良を促し、実用性、耐久性の向上に大きな役割を果たした（写真3）。

メーカーに対する注文と機械作業班の編成については、次のように述べられている。

A) メーカーに対する注文

現場に於いて最も痛感したことは部品入手に長時日を要することである。当工事に於いて小松 D50 は活躍したが、小松 D50 I の故障に際して、この部品を入手するのに1箇月余を要した。このような状態に於いては如何に優秀な機械と雖も一朝故障するときは、その部品を備蓄して居らぬ限り非常な日数を要し、稼働率が下降し、故障の多い機械も部品入手容易なものの方が良いということになる。製作者は機械の製作ばかりでなく、その部品の補給にも意を尽くすべきであると存ずる。一方需要者側に於いても機械購入の場合、その台数に応じて必ず部品を購入することが望ましい。

B) 機械作業班の編成について（ブルドーザを主体とする）

a. 機械の組合と年間（6カ月稼働）5万m²の施工班

機械の大きさから考えて15ton級大型ブルドーザ3台、10t級中型2台が適当と考えられる。北海道のごとき施工期間の限られた地方に於いては大型を用いて工事のスピード化を図った方が良策であろう。

機械の型式（製造会社）より考えれば故障続出の場合を考慮し、成る可く同型の機種を揃えたほうが有効である。

その他現場に応じて、キャリオール、グレーダを用いるものとするが、グレーダは施工速度大なる故（仕上作業、側溝など）現場に常備せず、砂利道の維持などに用い、現場の都合に応じて併用することが可能である。

b. 運転員について

運転手 現在の段階に於いては一つの機械の担当運転手は最後迄同一人とした方が良く考えられるので常置職員としたい。待遇については作業の性質上、普通トラックの運転手より相当優遇すべきであろう。

運転助手 現在土木機械運転手不足の折柄常置職員とし、養成を兼ねた方がよいと思う。

c. 1級国道36号線 札幌～千歳間道路改良工事（通称：“弾丸道路”）

昭和28年1月2日、1級国道36号線札幌千歳間道路改良舗装工事（通称：“弾丸道路”）が完成し、供用が開始された。

この道路工事は、予算が特別扱い（安全保障費）で円滑に流れたこともあるが、積雪寒冷の厳しい気象条件の中において、僅か1年間で35kmに及ぶ本格的な改良舗装工事を一挙に完成したものであり、日本全国に北海道の土木技術の高さを知らしめたのである（表2）。

表2 改良工事一覧（札幌～千歳間道路）

工区名	延長 (m)	土量 (m ²)	切込砂利 路盤工(m ²)	備考
第一工区	2,437	3,736	10,264	
1 豊平, 月寒	2,437	3,736	10,264	
第二工区	18,591	561,943	43,841	
2 月寒, 厚別	3,252	28,645	5,542	
3 厚別第一	700	25,047	1,907	
4 厚別第二	859	4,331	2,177	
5 厚別第三	501	15,816	1,325	
6 厚別, 三里塚	1,069	12,392	2,363	
7 三里塚	1,890	97,384	3,279	
8 大曲	916	29,591	1,556	直 営
9 大曲, 上輪厚	1,824	64,516	4,689	
10 上輪厚	1,420	63,689	4,157	
11 上輪厚, 島松	3,117	56,096	10,864	
12 島松第一	1,563	75,685	3,332	
13 島松第二	1,420	88,751	2,650	直 営
第三工区	12,944	136,524	26,036	
14 島松, 茂漁	2,785	19,110	7,101	
15 茂漁	986	9,602	2,492	
16 漁橋	134	2,589	149	
17 漁	1,730	11,778	3,548	
18 漁, ポン長都	1,840	9,334	3,128	
19 ポン長都	520	17,669	884	直 営
20 ポン長都, 勇舞	2,160	22,000	3,672	
21 勇舞	440	16,910	748	
22 勇舞, 千歳	2,313	27,532	4,314	
23 千歳橋	36			
	33,972	702,203	80,141	

当時の新聞は、「北海道土木史に金字塔」という見出しで、「現在のわが国土木界の最高の技術・機械を大量に投入して正味1カ年で完成した。その工事規模はもとより延長、工事期間において、北海道道路工事史に輝く金字塔を打ち立てた。……」と報じている。

工事報告には、「土工と路盤工」についての一文があり、土工に関する部分を抜粋すると、次のようである。

「路盤工仕上げまでを含む土工工事の請負契約が成立したのは昭和27年10月10日前後である。

土工々事は期間が短かったので現場を小工区に細分して北海道、本州の有力会社11社に分担して貰い、その他に土量の集中している工区には別に直営の機械化作業班3班を入れた。理由は採算を度外視して一時に大量の重機を投入する必要があったことと、予算の調整を必要としたからであった（表3）。

表3 主要建設機械及び混合設備（札幌～千歳間道路）

区 分	台数	区 分	台数
ブルドーザー		ローラー	
大 型	7	マカダム及びタンデム	53
中 型	16	タンピングローラー	9
小 型	19	マルチプルタイヤローラー	2
小 計	42	インパクトター	7
キャリオールスクレーパー	13	パワーショベル	1
コンプレッサーカー	1	モーターグレーダー	1
工 作 車	1	トラック類	120
コンクリートプラント		アスファルトプラント	
88 切	2	2,000 ヤード	1
21 切	2	600 "	3
パ ッ ク ミ ル 7 切	4	400 "	2

この現場には各会社も競って重機を動員したので、直営のものと合わせて42台のブルドーザ、13台のキャリオールスクレーパー、その他が稼働して盛観を極めた。

直営の機械化作業班は10月1日より作業を開始し、真先に千歳柏木間の仮道開さくに当り10月24日にこれを完成した。諸会社も機械力を充分発揮して12月下旬、工事を一時中止するまでに40万m³以上の土が動き、この工事の前途を明るいものにした。

ところが翌昭和28年の春は異常な低温で、軽く仕上ると思われていた残りの土工が容易ならざることになってしまった。土質のよい火山灰地帯などでは、3月頃から土工を再開したが、一般には5月になっても土の凍結と過含水のためうまくいかなかった。特に粘質土地帯では更に1～2カ月もおくれることになってしまった。こうしたことは昭和28年の異常気象に因るものであったにしても、私達自身、寒地の早春土工の困難なことについて認識が足りなかったように思われるのである。

私達は、6月1日から開始される舗装作業に支障を与えないようにするため、作戦の変更をしなければならなかった。すなわち、土質の悪い現場は一時放棄し、土質の良い現場の路盤工を速やかに仕上げ、舗装担当者に引渡すことを考えたのである。考えてみると、この道路の半分以上は排水の良い火山灰地帯を通過しているということは、この工事を可能ならしめた主因であった。最も季節の悪い晩秋、早春の土工がある程度可能であり、また多量の路床加入替材料を容易に求めることができたのはすべて火山灰のお蔭であった。私達は火山灰地帯に全力を集中しようとした。しかし、このような工事の進捗を調節することになると、小工区に細分したことが障害になって来た。すなわち集中作業ができず、反対に機材などの面で競

合の傾向にあったからである。(中略)このようにして大部分の工区は、5月末乃至6月中旬までに路盤工を完成したが、全線に亘って転々と粘質土地帯だけがとりのこされた。これらの粘土地帯では7、8月、気温が上昇して路床土の含水量が低下し、また良質火山灰による完全な入替作業が終わるまで、路盤をつくることはできなかった。

土工作業が多量の困難を排して大略予定期間までに間に合わせる事ができたのは、各社の絶大なる協力のお蔭であった。」

(イ) 機械化施工の発展期と機種

昭和 29 年度から新たに設定された揮発油税を財源として「道路整備五箇年計画」が立てられ、道路整備が急速に進められることになった。

自動車交通の増加に伴い、産業・経済の基盤としての道路の重要性が認められ、道路の平面・縦断線形を重視するようになり、これによって生ずる大土工を可能にするため、道路関係の建設機械整備費も急激な増加を見せることとなった。

北海道における道路工事の機械化は、戦後、官庁が建設機械を保有し、直営工事で施工する、いわば官庁主導型で進められてきたが、昭和 19 年に建設機械抵当法が制定されると、建設業界にも建設機械が急速に普及し始め、昭和 30 年代に入ると建設業者が自ら機械を保有し、独自の工夫で工事の機械化施工を進めるようになり、急速に民間主導型に移行した。

しかし、北海道の場合、大型建設機械を保有しても、運転手ともども冬期間は休業を余儀なくされ、加えて機械は甚だ高価であったため、当時の建設業界では、自力で購入するだけの資金力が乏しかった。

したがって、開発公庫の投融資に依存する長期で低利な資金に裏付けされた、建設機械貸与会社の設立が切実に求められていた。

かくして、昭和 32 年 2 月に北海道機械開発（株）が設立され、当時最も多く使用されていたブルドーザ、ショベル、ローラなど、合計 33 台の建設機械のリースを主体とした会社が設立され、機械化施工の普及・発展に大きく貢献することとなった。

昭和 30 年代後半に入ると、東京オリンピック開催に向けて東海道新幹線、高速自動車道その他関連工事が東京周辺に集中し、労働力が一段と不足した。北海道においても、1 級国道 37 号線礼文華峠、静狩峠の改良、1 級国道 38 号浦幌直別間の開削、主要道道日清水水線の開削工事を始め、峠路の大改良が実施されたこともあり、10 万 m³ を超す土工も珍しくなかった。このため、省力化と大土工を短期間に可能とする機械化施工に拍車が掛かり、ブルドーザ、キャリオールスクレーパの土工に加えて、積み込み機械としてパワーショベルやトラクターショベルを使用してダンプトラックで運搬する施工法が普及し、機械は次第に大型化した。

一方では、機械化施工のための有為な青年技能者を建設業界に供給することを目的に、昭和 36 年度に北海道開発青年隊が設置された。訓練を修了した若い運転技術者が、北海道内外の建設業界で広く活躍した。道路土工に用いられる主要な機械について、導入の過程を以下に概説する。

a 掘削機械

(a) ブルドーザ

ブルドーザが北海道に導入されたのは、昭和 14 年 8 月のことで、手稲鉱山（株）が除雪用としてアメリカのキャタピラ製 KD7 型を輸入したという記録が残っている。

国産ブルドーザも戦後間もなく表4のように導入されたが、いずれも故障が多く、使用に耐えず処分されたものもあった。

アメリカ軍払下げのキャタピラD-7、D-8なども昭和24年に6台導入されたが、それ以後は国産建設機械の振興ということで払下げ機は導入されなくなった。

払下げブルドーザは、その優れた性能と耐久性・信頼性をもって機械化施工の原動力となり、国産ブルドーザの改良・開発の良きサンプルとなった。

ブルドーザは、直営による機械化施工の主力であったが、昭和20年代後半から30年代後半まで大・中型の普及が進み、性能の改善が盛んになった。

ブルドーザによる施工では、トロによる巻出し工法から層施工に変わり、この結果、機械重量による転圧が有効に利用され、余盛りを見込むことなく、最初から地耐力を有する盛土を造り得るようになったことは大きな特徴といえる。

(b) ショベル系掘削機

第二次世界大戦後の昭和21～22年には、油谷1/2yd³ショベル、神鋼0.5m³蒸気ショベル、日開GB15型ショベルなど10数台が北海道に導入されたが、いずれも戦後混乱期製作の機械とあって性能劣悪で、満足に稼働することなく処分されたようである（写真4）。

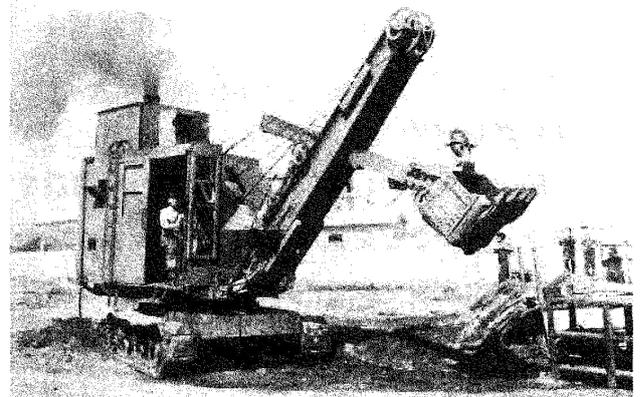


写真4 スチームショベル

昭和24～25年には、ドラグラインとして日立UE06、神戸15Kなどが導入され主として治水関係の工事に使用された。

道路工事では、札幌千歳間の工事にパワーショベル1台が稼働している。

昭和28年には、日立U06がショベルとして北海道開発局に納入されたが、昭和29年以降には、北海道電力、建設業界にも相次いで導入されている。昭和32年には、久保田鉄工KB60(0.6m³)をバックホウとして使用した記録がある。

また、昭和29年には接地圧が低く(0.25kg/cm²)、それまでのブルドーザでは作業不能であった軟弱地盤においても作業可能な三角形の履板をもった湿地用ブルドーザが開発され、昭和30年から篠津地域の泥炭地開発に使用されて威力を示した。

油圧リッパーは、昭和35年頃、18tブルドーザに取り付けられ、軟岩の域まで破砕が可能

表4 国産ブルドーザ

メーカー型式名	重量 (t)	導入年月	価 格 (千円)
民生 B-8	9.6	昭.21. 6	300
加藤 D-3	12.5	〃.21. 9	525
小倉 KTE	12.0	〃.23.11	1,300
羽田 AT70	14.4	〃.24. 1	1,210
小松 D 50	9.5	〃.24. 3	2,350
三菱 BBⅡ	9.0	〃.24.	1,280
新潟鉄工 BB90	8.4	不 明	30

となった。

油圧ショベルは、昭和 36 年に三菱ユンボ Y35 (113 号機 0.25m³) が導入されたのが北海道では最初である。

(c) スクレーパ

戦後、我が国で使用されたスクレーパは、アメリカ軍払下げのものがほとんどであり、苫小牧支笏湖間の道路工事でも昭和 24 年払下げのキャリオールスクレーパが稼働しており、運搬距離が 70m を超える中距離運搬の場合には、ブルドーザよりも確実に有利であるという報告がある。とくに、土砂は薄く上げられる

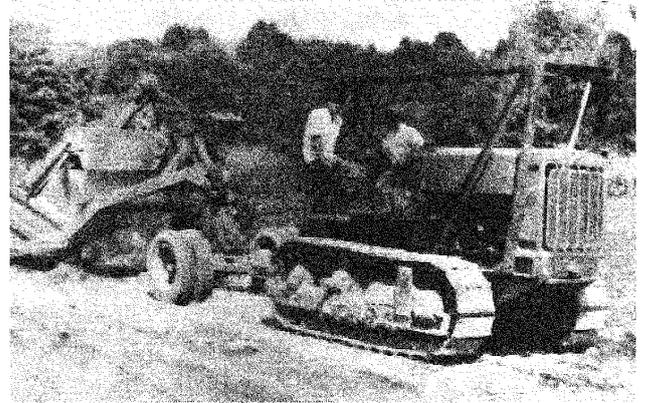


写真 5 キャリオールスクレーパ

ことから、キャリオールスクレーパで盛土した箇所は、タイヤによる作業中の転圧が有効に働き、ローラ転圧を必要としないほどであった。

日開のキャリオールスクレーパ (3m³級) は、この工事では一度も使用されなかったようである。

その後、北海道各地の道路工事に使用され、札幌千歳間の道路工事では、官民合わせて 13 台が稼働したという記録もある。土質によっては現場を荒らすことなく有効に活用できることから、ブルドーザと共に中距離運搬土工の主体として活躍した。

(d) グレーダ

昭和 19 年に根釧原野において、飛行場建設を機械化施工により実施すべく、けん引式のグレーダ、スクレーパなどを試作したという記録がある。

札幌土木現業所管内の道路維持作業におけるモーターグレーダ使用実績 (昭和 23~24 年度) によれば、昭和 22 年 8 月導入の日本開発機の試作 1 号機、昭和 24 年 4 月導入の試作 3 号機、昭和 24 年 8 月導入のキャタピラ社 12 号機について、人力と比較し、それぞれ 50%、77%、21%の経費となっているが、日本開発機の試作機には故障が続出し、これを調整して使いこなすのに、関係者は大変苦労したようである。

しかし、機械の性能と運転者の技能が向上すれば、人力施工の 20%以内の経費となるべきであると述べている。

苫小牧支笏湖間道路工事では、昭和 20 年導入の小松製けん引式グレーダと昭和 22 年導入の日本開発機の試作 1 号機が路面整正や L 型側溝の掘削のため配置されたが、故障の修理に手間取り、また、地面の凍結もあって、昭和 24 年度の稼働実績は僅か数日であったようである。

道路の維持管理の重要性が認識され、昭和 33 年度から国直轄で一般国道の維持補修を行うことになってから、ブルドーザ、モーターグレーダ、トラクターショベル、ダンプトラッ

クなどによる機械化施工による能率的な維持補修体制が要求された。砂利道が多かった北海道では、モーターグレーダはその主役として、昭和 34 年度頃から配置が急増している。

b 積込機械

昭和 30 年代に入ると、積み込み機械としてパワーショベルやトラクターショベルが普及し、次第に大型化した。

道路維持用砂利の積込用としてトラクターショベルが昭和 32 年に導入されているが、モーターグレーダと同様に昭和 34 年度から急増している。

c 運搬機械

道路土工と関連が強いトラックについて述べる。

第二次世界大戦前、道路維持用機械として、大正 13 年・14 年・昭和 10 年に札幌道路保護区（現札幌道路事務所）にアメリカ製のダンプトラックが導入され、昭和 16 年には国産のダンプトラックが導入されたという記録があるが、札幌市以外では、普通トラックが配置されていればよい方であった（表 5）。

表 5 戦前の札幌出張所配置機械一覧表

戦後、砂利道の維持補修機械が急速に増強され、昭和 26 年度には、100 台を超えるダンプトラックが当時の土木現業所に配置されていた。

しかし、道路工事用、積込み機械としてパワーショベルやトラクターショベルが、また、運搬機械としてダンプトラックが普及し、次第に大型化したのは、機械化施工が直営から請負に移行した昭和 30 年代に入ってからである。

札幌千歳間道路工事では、パワーショベル積込みによるダンプトラック運搬が、唯一直営現場でのみ施工されている。

d 締固め機械

ロードローラーについては、札幌道路保護区に、昭和 6 年・9 年にアメリカ製 5t マカダム、昭和 10 年に 10t マカダム、昭和 17 年には国産の 10t マカダムが導入されたという記録がある（写真 6）。

機 械 名	製 作 会 社	型 式	数 量	導 入 年 次	備 考
ダンプトラック	フィデラル (米国)	解索式 2t 積	1 台	大正13年	
〃	ピアスアロー (米国)	〃	1	〃 14 〃	
ロードローラー	マコミック (〃)	マカダム 5t	1	昭和 6 〃	
〃	範 名	〃	1	〃 9 〃	
ダンプトラック	フ ォ ー ド (米国)	解索式 3t 積	2	〃 10 〃	
ロードローラー	ラ ス ト ン (〃)	マカダム 10t	1	〃 10 〃	焼玉ジーゼル
コンクリートミキサ	不 明	21 切	1	〃 14 〃	
〃	〃	小 型	3	〃 14 〃	
ダンプトラック	ト ヨ タ	解索式 4t 積	2	〃 16 〃	
ロードローラー	新 潟 鉄 工	マカダム 10t	2	〃 17 〃	スチームエンジン

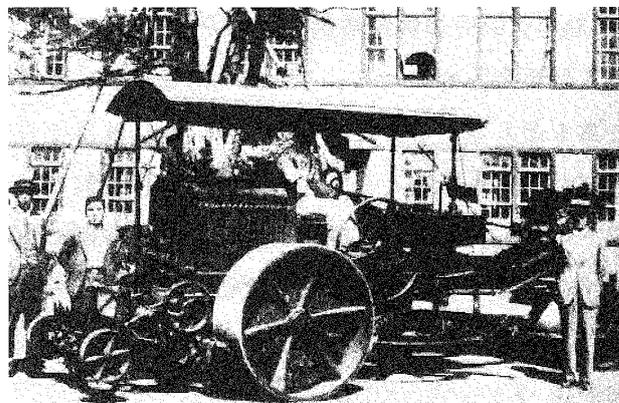


写真 6 マカダムローラー

戦後では、昭和 27 年頃から 8t タンDEM、10t マカダムなどが導入され、道路工事に使用された。

札幌千歳間道路改良工事では盛土の締固めに、タンピングローラやマルチプルタイヤローラ、インパクトが使用されている。

昭和 30 年頃はロードローラが不足したため、土砂満載のダンプトラックで路床・路盤の締固めを行った道路改良現場もあった。昭和 31 年には 25t 級のタイヤローラが導入され、同時期に導入された振動ローラとともに、昭和 34 年・35 年頃から急増し、主として官貸機械として使用された。タイヤローラを全国に先駆けて導入したのが北海道の道路工事であった。

e ICT 建設機械

平成に入り情報通信技術が飛躍的に発展したことで、土工を主とした建設現場においても情報通信技術が導入され、平成 20～27 年度までに ICT 建設機械を使用した情報化施工の試行工事が行われた。平成 28 年度には建設現場に ICT を活用して生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す取組 (i-construction) として、ICT の全面的な活用が本格化された。ICT 建設機械は、MC/MG (Machine Control system/Machine Guidance system) を搭載し、3 次元設計データを取り込むことにより、オペレータへの機械操作のガイダンスや自動制御が可能となる (図 1)。これにより、これまで人力にて行われた丁張り設置作業が不要となり、労働力不足の解消及び生産性向上に大きく寄与するなど進化している (写真 7)。

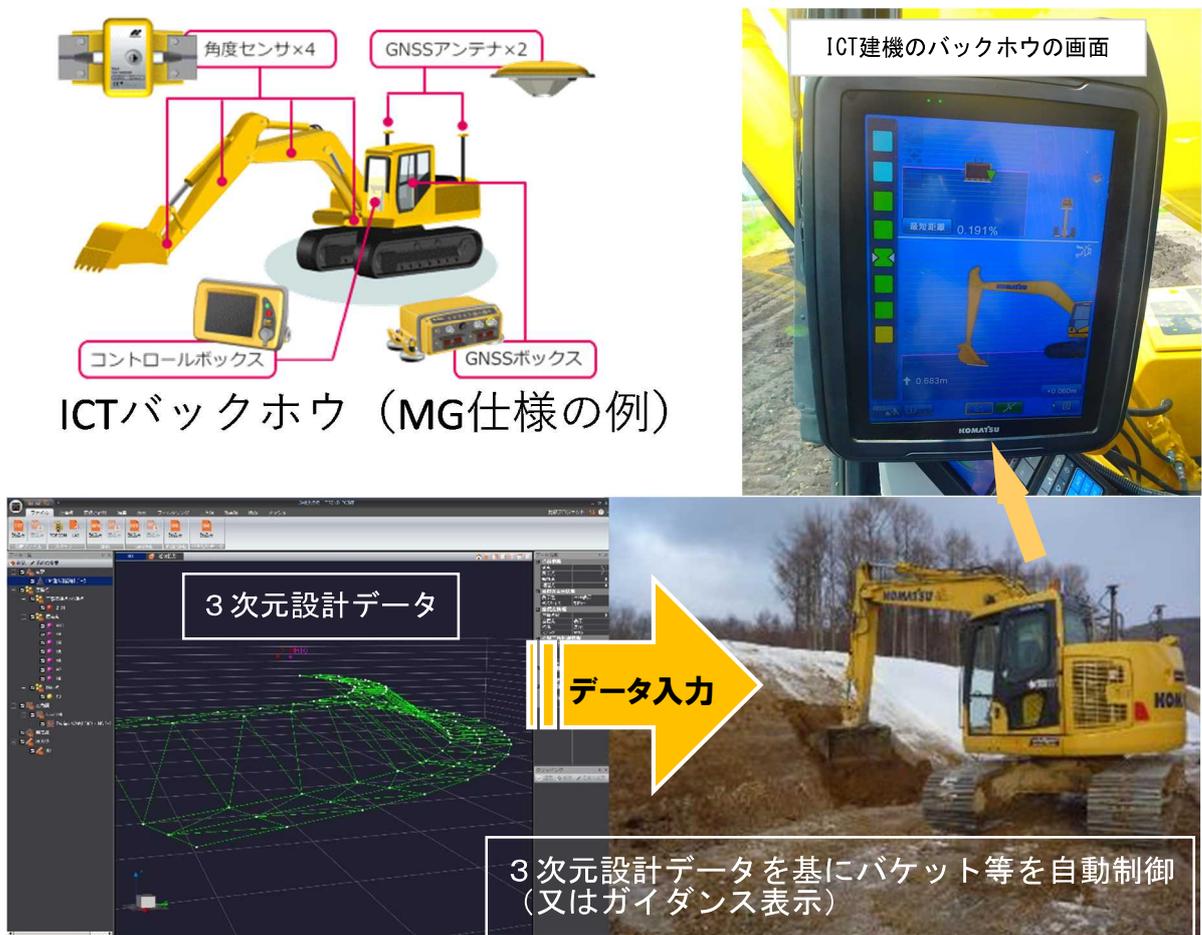


図 1 ICT 建設機械の概要



写真7 ICT 建設機械による施工状況

(左) 丁張無しで敷均し作業を行う ICT ブルドーザ

(右) 丁張設置が困難な急傾斜地帯の掘削

イ 軟弱地盤対策

昭和 30 年以前の泥炭性軟弱地盤上における盛土工法は、緩速段階施工法、敷ソダ工法、表層処理工法（図 2）など、長期にわたって自然圧密による地盤強度の増加を待つて盛土する工法や、地盤の沈下が停止するまで、あるいは、盛土のすべり破壊が治るまで盛り続ける押え盛土工法（図 3）など、消極的な盛土工法が採用されていた。昭和 30 年代になると、道路整備計画の策定に合わせて軟弱地盤上における道路築造についても盛んに行われ、それに伴って長い工期を必要とする盛土工法が次第に敬遠されるようになり、土質工学的な理論の裏付けを持ったサンドドレーン工法やサンドコンパクションパイル工法（図 4）など、いわゆる積極的な地盤改良工法が採用されるようになった。

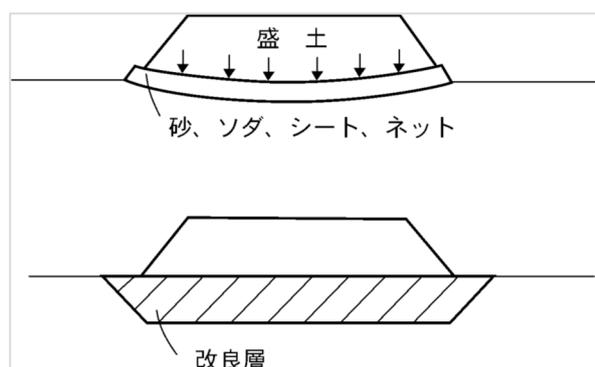


図 2 表層処理工法

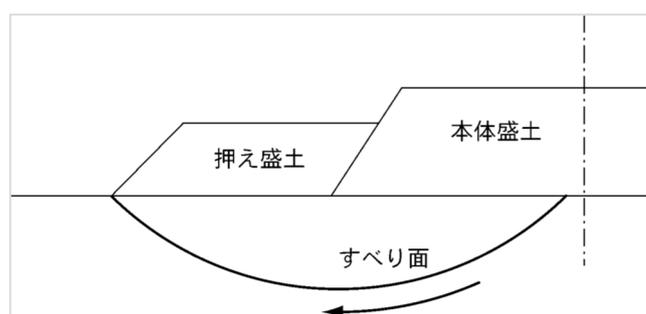


図 3 押え盛土工法

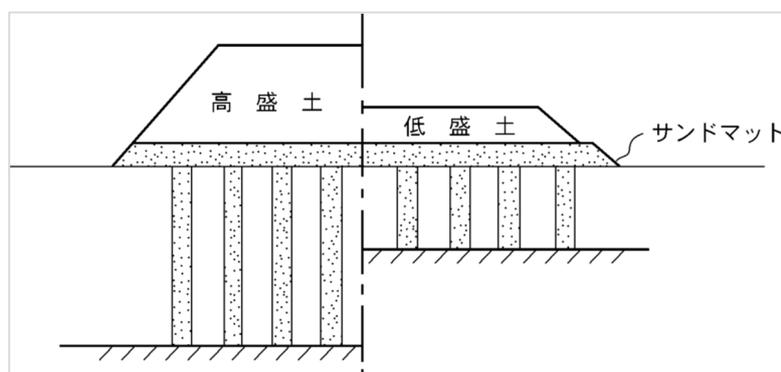


図 4 サンドコンパクションパイル工法

昭和 40 年代後半になると、市街地のバイパス工事が盛んとなり、軟弱地盤における低盛土工事が増えてきた。これに伴い、残留沈下量を最少とし、かつ、周辺環境に悪影響を及ぼさないような配慮が必要となってきた。また、列島改造の機運に乗り、道路改良工事は一段と拍車が掛かって進捗が急がれるようになり、早期供用開始が叫ばれるようになってきた。

このような状況の中で、昭和 47 年開催の札幌冬期オリンピック関連事業である札幌新道建設工事では、昭和 44・45 年に新しく生石灰パイル工法が採用された。一方高盛土の安定をサンドコンパクションパイル工法などの在来工法では対処できないと判断された志撫子や新濁川の橋梁取付部、

すべり破壊が生じて工期的に余裕がなくなった丸沼道路工事箇所では、昭和 47 年にパイルスラブ工法（図 5）やパイルキャップ工法（図 6）という新たな構造物的工法が考案され採用された。

パイルキャップ工法は、1970 年代からスウェーデン工法とも呼ばれて北欧で使用実績のある工法ではあるが、我が国ではこれが最初の工法であった。

これら工法は、軟弱層に対してわずかの荷重を伝えるか、全く伝えない構造となっているため、盛土のすべり破壊の防止はもちろんのこと残留沈下をほとんど阻止することができ、供用後の交通振動の抑制にも効果的であるというメリットがあった。このため、翌 48 年には、岩見沢バイパス、江別バイパス、浦河などで次々と施工された。

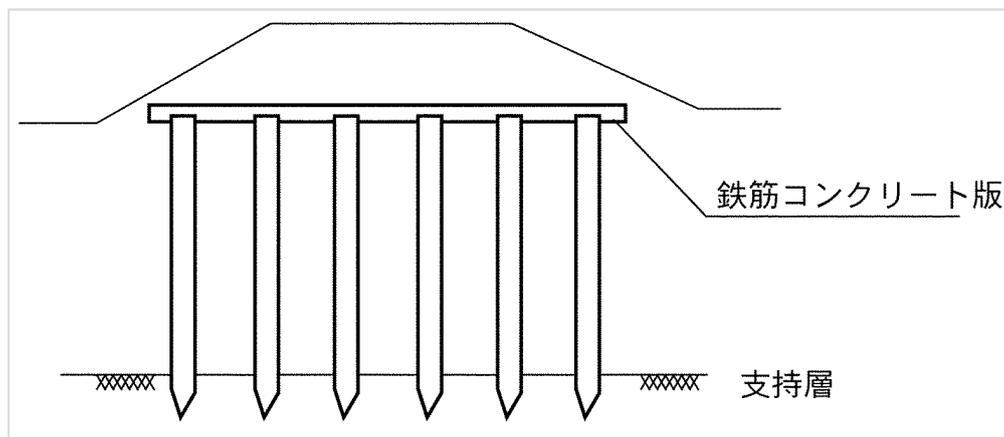


図 5 パイルスラブ工法

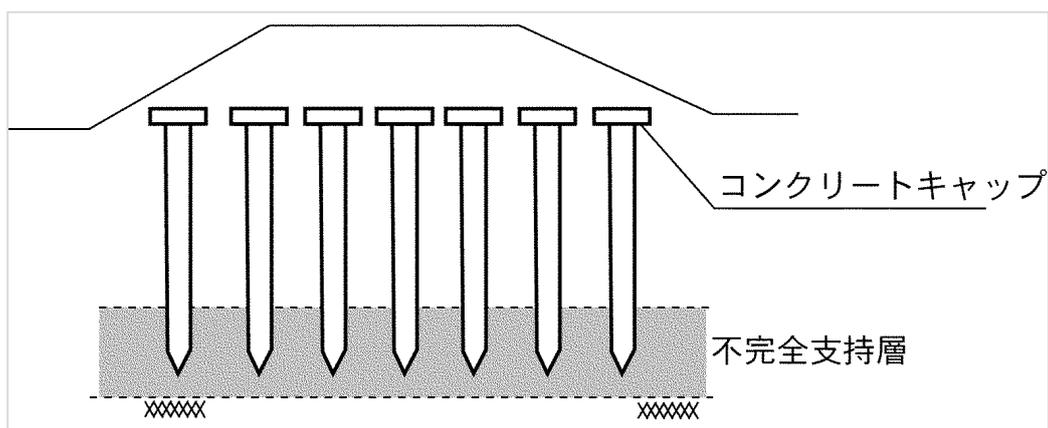


図 6 パイルキャップ工法

昭和 50 年、運輸省港湾技術研究所が、地盤中に生石灰やセメントのスラリーを送り込み、スクリーで混合攪拌する深層混合処理工法（図 7）を開発、実用化した。

雁来バイパス工事では、早速この工法の試験工事を実施し、後に全線にわたって採用することになった。また、同じ頃、民間企業が高圧ジェット式スラリー噴射攪拌工法を開発し、泥炭地への適用を意図して試験を繰り返していたが札幌新道の一部に採用され、以降、軽量小型の無公害型地盤改良工法として多方面に適用が拡大していった。

さらに、昭和 56 年、建設省土木研究所は、セメントや石灰などの改良材を粉体のまま地盤に送り込み、スクリーで混合攪拌する粉体噴射攪拌工法を開発した。昭和 58 年には札幌新道米里地区でこの工法の試験工事が実施され、次いで苫小牧（苫東切替道路）、函館（大野バイパス）、留萌（啓明道路）に採用された。

昭和 58 年頃から産業廃棄物の石炭灰と赤土を置換材、盛土材とする工事も行われた。また、発砲スチロールを盛土材料とする EPS 工法（図 8）も開発され、地盤に加わる応力を軽減し盛土の安定を図る工法として、橋台背面や擁壁裏込など局所的な沈下対策に採用された。

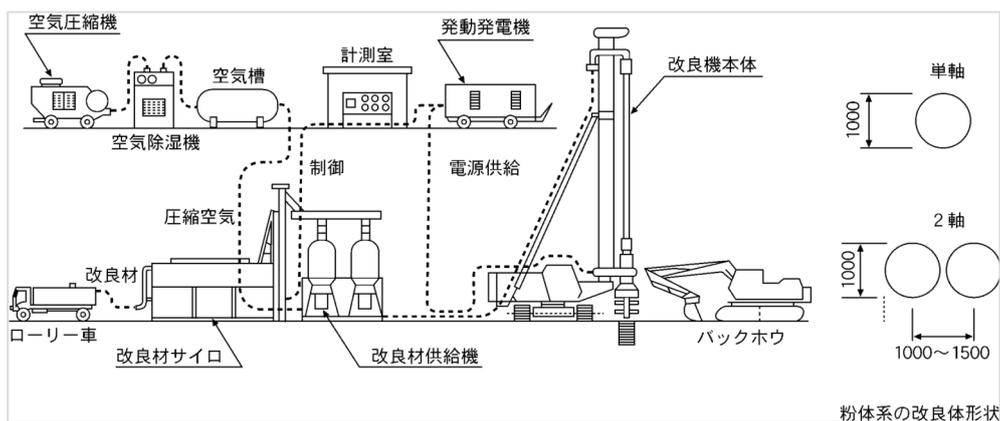


図 7 深層混合処理工法（粉体系）の施工システム

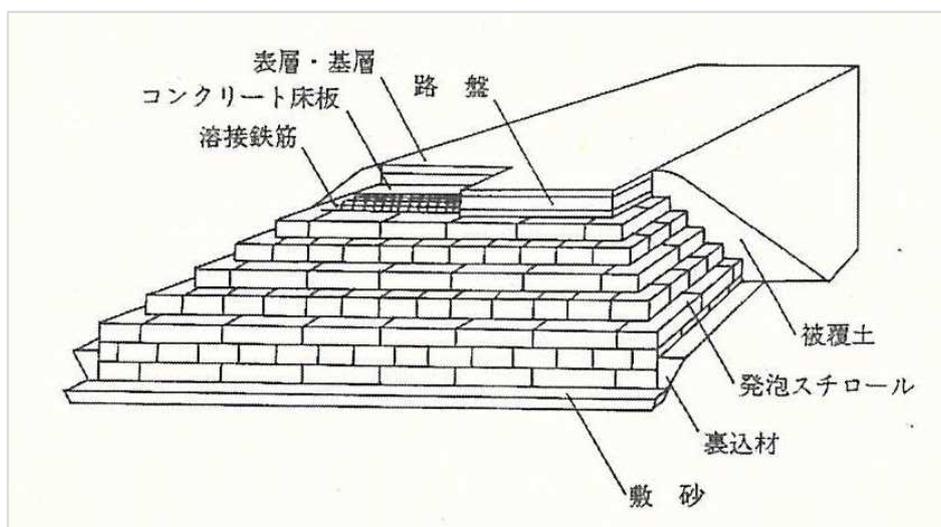


図 8 EPS 工法（荷重軽減工法）

平成の時代になると、高規格幹線道路や地域高規格道路など、比較的高い盛土を建設する工事が増してきた。これに伴い、盛土構築時にすべり破壊や周辺地盤に大きな変形が生じたり、施工機械による振動、騒音などの様々な問題が顕在化してきた。また、盛土が構築されて道路が供用した後に、沈下が長期間にわたって継続する路線も見受けられた。

一方、設計思想は、平成の初めには建設コスト（イニシャルコスト）縮減に資する設計法や新技術が求められた。その後、コスト縮減と工期短縮のトレードオフにある関係を満足する新技術が求められ、また、現在では建設コストのみならず、維持管理コスト（ランニングコスト）を含めたライフサイクルコストによる総合的な検討を実施する方向になっている。

このような状況の中で、平成9年に当別バイパスにおいて真空圧密工法（図9・10）が採用された。真空圧密工法は、1960年代に我が国に導入された大気圧工法を改良したものであり、真空ポンプや鉛直ドレーンを用いて軟弱地盤内に真空圧を作用させることにより、短期間で沈下の収束や地盤の強度増加を図る工法である。なお、真空圧密工法には、気密シートタイプとキャップ付き真空ドレーンタイプがある。当別バイパスで採用された後、美原バイパス、美原道路などで次々に採用された。また、北海道で得られた設計、施工ノウハウが、他の地域でも活用されている。

平成12年から、当別バイパスにおいてプラスチックドレーン工法（図11）が採用された。従来、バーチカルドレーン工法は泥炭性軟弱地盤には圧密促進効果が認められないと判断されて、北海道開発局では採用されなかったが、排水材料の透水性が高く、折れ曲がりにも強い材料（プラスチックドレーン）が開発された。非常に経済的で施工性が良いことから、多くの事業で採用された。

平成15年から、北海道開発局で初めて中層混合処理工法（トレンチャー式攪拌工法：図12）が実施された。トレンチャー式攪拌工法は改良材と軟弱地盤を原位置で攪拌混合する工法であり、経済的かつ施工性が良く、泥炭性軟弱地盤に対しても改良効果が期待できることから、北海道内で数多く採用されている。

また、同じく平成15年から、北海道の泥炭性軟弱地盤に施工する杭基礎に種々の地盤改良工法を併用し、構造物基礎の縮小化と同時に耐震性の向上を図る複合地盤杭基礎（図13）が実用化され、北海道開発局の数多くの事業で採用されている。

平成28年度には、グラベル基礎補強工法が開発された。グラベル基礎補強工法は砕石をジオテキスタイルで巻き上げたグラベル基礎補強体を単独で使用するタイプのほか、グラベル基礎補強体と円柱状の改良体を併用するタイプ（図14）がある。従来の中層混合処理工法や深層混合処理工法と比較して、経済的かつ施工性が良いため、令和2年度から併用タイプが北海道横断自動車道で採用されている。

近年、地盤改良工法は、施工技術の発展もあり現場状況に応じた多くの新工法・新技術が開発されている。今後、地盤改良工法は軟弱地盤の土工のみならず、既設構造物基礎の耐震補強なども含め、幅広い用途に有効活用される方向性にある。

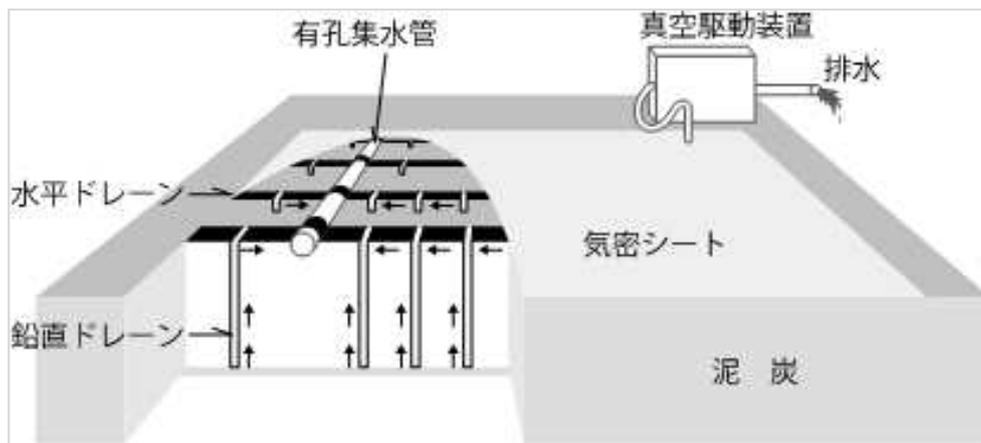


図9 真空圧密工法（気密シートタイプ）

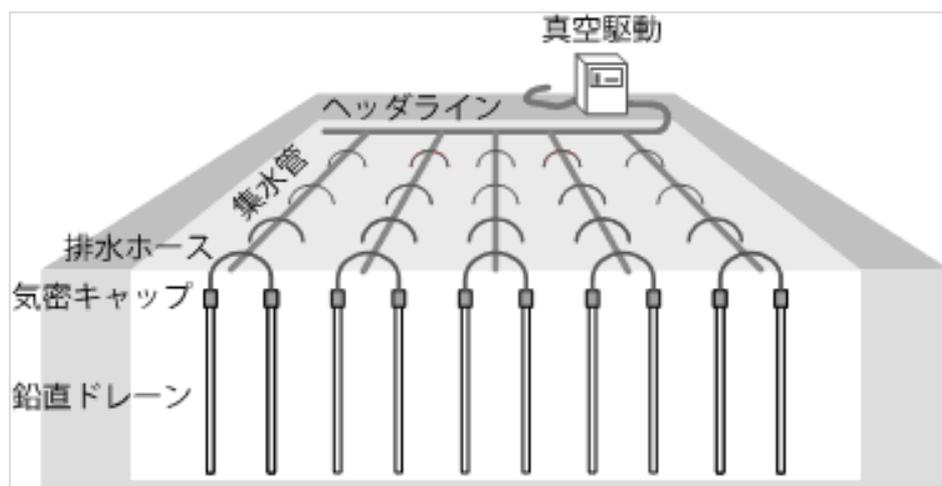


図10 真空圧密工法（キャップ付き真空ドレーンタイプ）

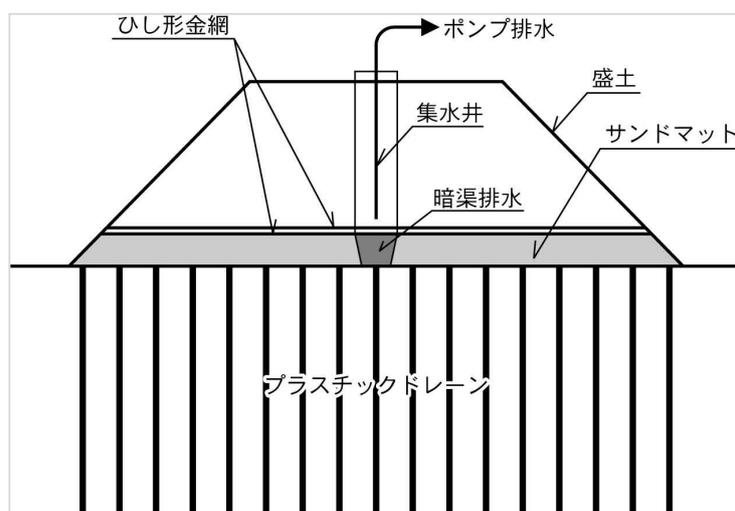


図11 プラスチックドレーン工法

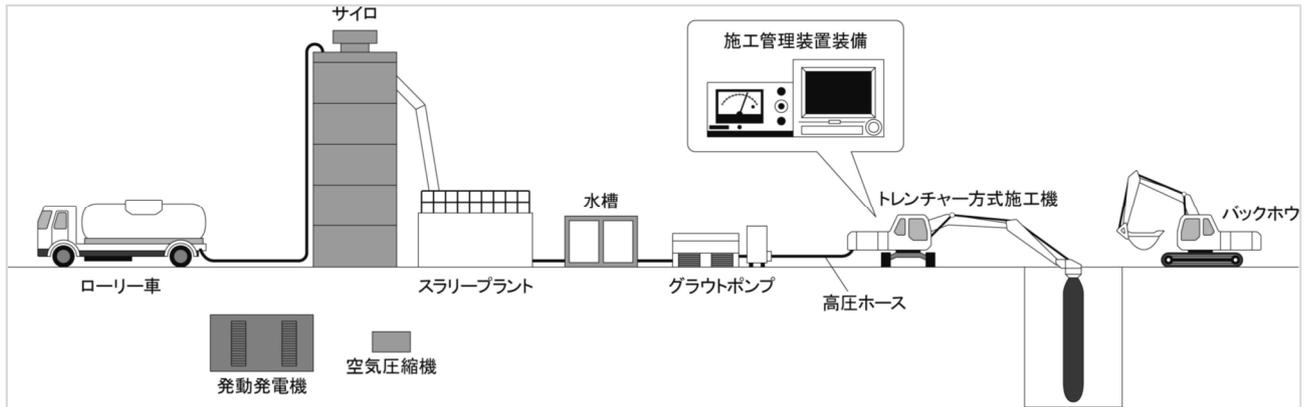


図 12 中層混合処理工法（トレンチャー方式）の施工システム

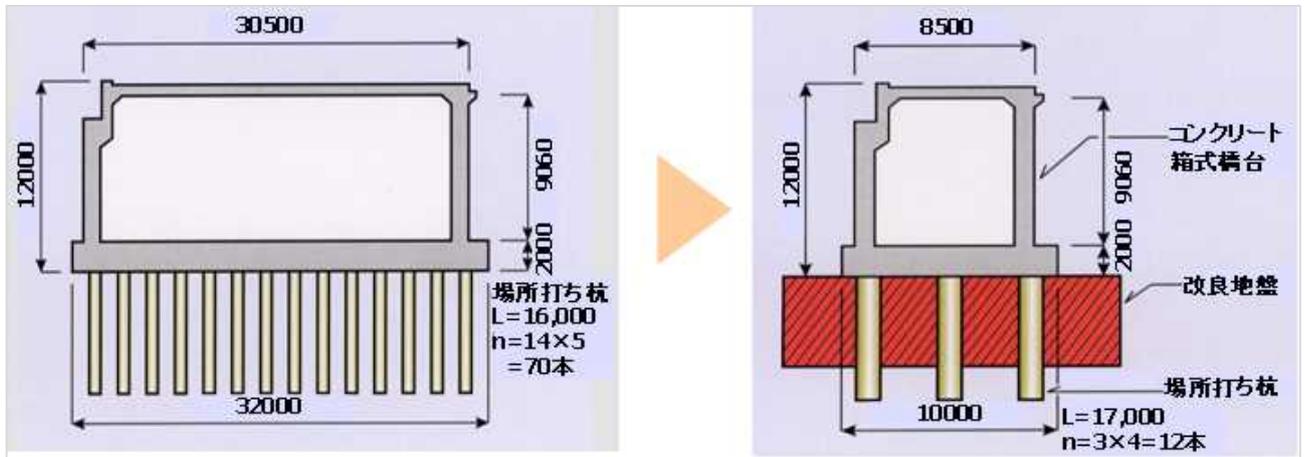


図 13 複合地盤杭基礎

グラベル基礎補強体

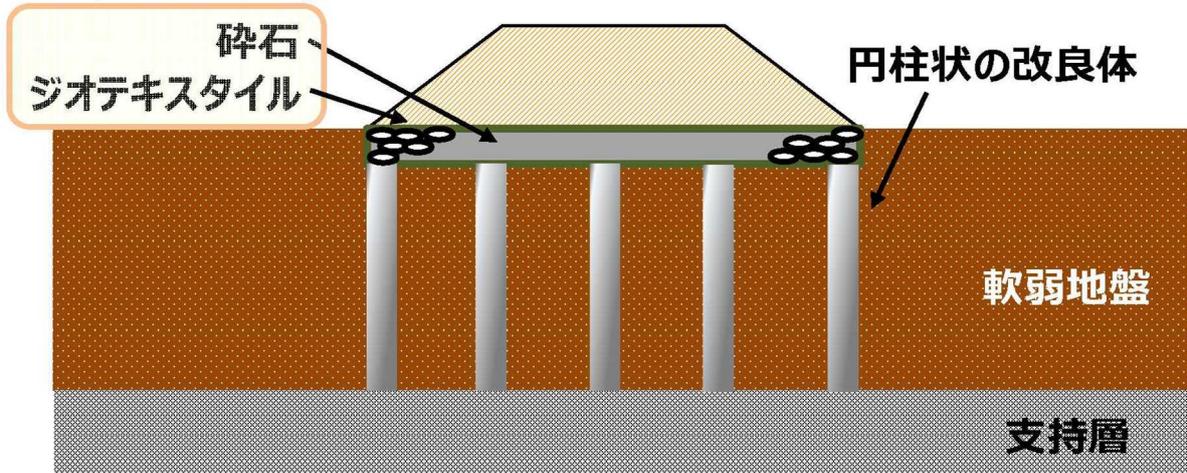


図 14 グラベル基礎補強工法（併用タイプ）

ウ 通年土工施工

(ア) これまでの経緯

我が国の中でも、北海道・東北・北陸など積雪寒冷地では、冬期間の厳しい自然条件に阻害され、この時期の建設工事量が著しく減少する。このため、これら地域の建設関連産業はもとより、地域全般の経済活動も渋滞させるなど、社会的な問題となっている。

特に土工に関しては、土の凍結や雪氷の混入対策が必要となり工事費が割高となるため、特殊な場合を除いて冬期土工は行わないのが一般的となっている。

しかし、これまでに北海道においてやむを得ず冬期間に土工工事を行っている例は少なからずあり、次のような理由による場合が多い。

- ・ 夏期に発注した工事が、様々な原因により工程が大幅に遅延し、土工の一部を冬期間に施工する場合
- ・ 用地取得や関係機関との調整に手間取り、工事の発注時期が極端に遅れたため、土工の全部又は一部が冬期間の施工となった場合
- ・ 災害などの緊急処置のため、冬期間であっても復旧工事を実施する場合
- ・ 軟弱地盤などのため、盛土箇所又は工事用運搬路において、施工機械や車両が夏期には走行困難になることが予想される場合、冬期間の寒冷気温により、軟弱な地盤地表面の凍結による地耐力増加を待って、1月中頃から土工の冬期施工を計画的に実施する場合

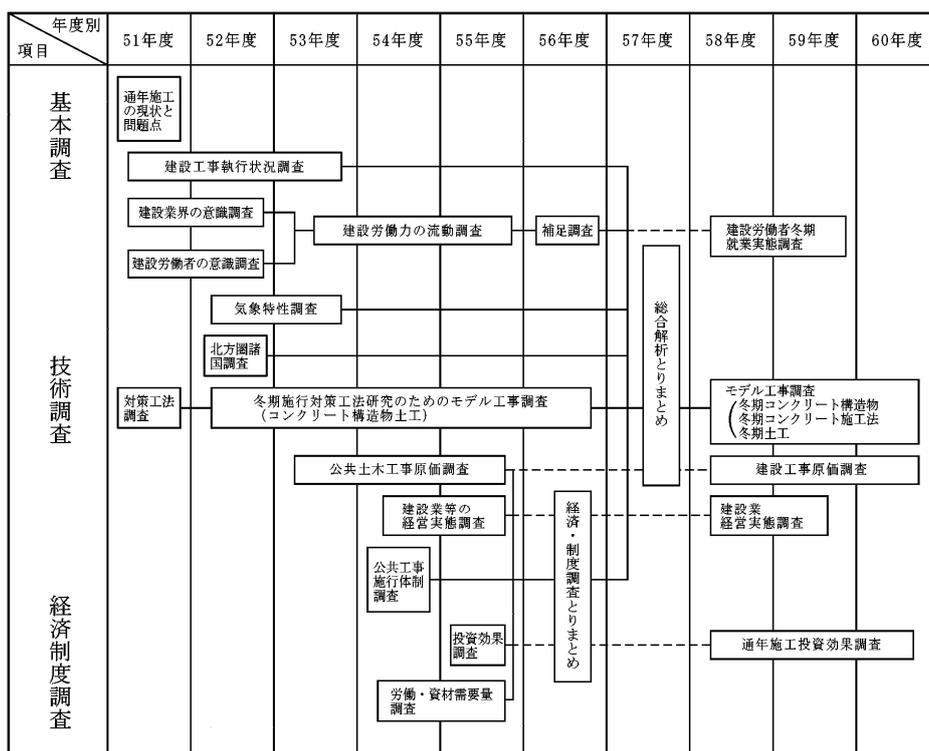
このような事情から、北海道内においても過去に相当数の冬期土工が施工されている。

これらの冬期土工を実施した中には、春先の気温の上昇に伴い、盛土のり面部分の崩壊や、盛土強度の不足から、盛土体の圧縮沈下や変形を生じ、春先に手直しを行った現場も時には見られた。しかし、多くは夏期（4月～11月）に土工を実施したものと大差ない品質の道路ができたので、そのまま道路の一部として今日まで使用されている。

このような現場における経験から、ある程度の条件さえ満たされれば冬期土工は不可能ではないという機運があった。しかし、どの程度の土質、気象、現場などの条件下でならば冬期土工が可能か否かを判定する方法は、まだ確立されていなかった。

昭和51年12月、建設省はこのような現状に対処するため、「通年施工化技術議会」を積雪寒冷地域（東北・北陸・北海道）における関係機関と共に発足させ、第1回協議会を東京において開催した。その結果、「雪積寒冷地域の冬期における厳しい自然条件を克服して建設工事を施工できる技術の研究、開発を進めるとともに、冬期工事のための諸体制の整備などに関する調査、研究の推進を図り、積雪寒冷地域における通年施工化の方途を確立すること」を目的として、活動をスタートした。また、調査研究の項目とスケジュールについても、表6に示すごとく決定され、建設省を中心に土木研究所、東北・北陸地方建設局、北海道開発局のほか、積雪寒冷地域の各県及び北海道の土木部で調査項目の分担がなされ、昭和52年1月から、調査研究が開始されたのである。

表6 通年施行化調査研究の項目とスケジュール



これら一連の調査研究のうち、コンクリートと土工のモデル工事を北海道開発局でも実施することになり、昭和52年度にはコンクリート構造物の現場モデル調査を開始した。

土工に関するモデル調査は、昭和54年度から始まり、初年度は既往文献の収集、北海道各地の気象状況、土質分布などのデータを検討した中から、通年土工の調査研究のための実施計画の作成を行った。

昭和53年、外国における通年施工の動向を調査するため、北海道内の各関係機関代表からなる「通年施工調査団」が結成され、スウェーデン、デンマーク、西ドイツ、カナダ、アメリカ北部など北方圏諸国における通年施工の実状調査の中で、土工の冬期施工についての調査も行われている。

(イ) 調査研究計画の概要

まず、積雪寒冷地における土工の通年施工を困難にしている各種要因のうち、特に大きな影響を与えていると考えられる寒冷気温による土材料の凍結と、雪氷の混入による土工への影響についての調査が始められた。

北海道各地の過去30年間の月平均気温(図15)から寒冷度を基に大、小の2地区に大別し、また、これに積雪の状況

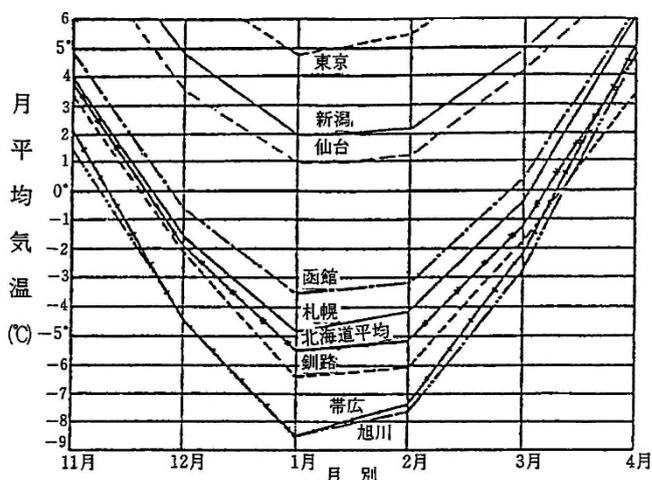


図15 30年間月平均気温(昭和26年~55年)

たる内容は、土材料に凍結土及び雪を混入して締固めたときの特性変化と、これを更に凍結した後融解した場合の土の工学的特性に関するものであった。

写真8は、昭和57年度「旭川」における盛土敷均し直前の状況である。

冬期土工で最も問題となるのは、積雪を除雪した後の残雪であり、ブルドーザの排土板により3回程度除雪しても、平均厚3cm程度の残雪層ができ、これがそのまま盛土の中に混入する現場が多く見られた。

また、敷均し、締固作業中に降雪や吹雪に遭遇することもあり、多少の雪が混入するのを防ぐことは大変困難であった。写真9は、除雪中に盛土を敷均し、転圧作業を実施したときのものである。

昭和59年度には、現場モデル工事19か所の主要データが整理・取りまとめられ、冬期間の施工条件・施工性・盛土の品質等から冬土工の現場判定が検討された。

昭和61年5月、仙台市において開催された「第11回、通年施行化技術協議会」の冬期土工施行法に関する報告書の中で、これらの判定法が提案された。

この調査研究は昭和61年度以降も引き続き実施され、室内試験などにより補足データの収集などを行っている。

平成20年代に入り、北海道開発局では、発注者、施工業者を対象とした冬期土工に関する聞き取りにより、実態把握を行った。その結果、①現地発生土ではなく購入土の使用を余儀なくされる、②雪氷混入を防止するため日々のシート養生が必要、③締め固めを確実にを行うため転圧回数が増え、手間と費用が掛かるという実態が判明した。

また、このような対策を行っても、雪解け後には盛土の沈下が見受けられる状況にあった。

このようなことから、平成22年から「冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会」を立ち上げ、これまでの経験と、検討会で実施した試験施工により得られた知見を基に、現場技術者が冬期に盛土を行う際に必要な考え方について取りまとめ、平成27年2月に「積雪寒冷地における冬期土工の手引き」【河川編】【道路編】を発行した。手引きには、新しい成果として、凍上に起因して発生する変状のメカニズムとその対策が紹介されている。なお、手引きは【河川編】【道路編】に分かれており、使用する材料、沈下の許容度、施工時期などの点で異なっている。

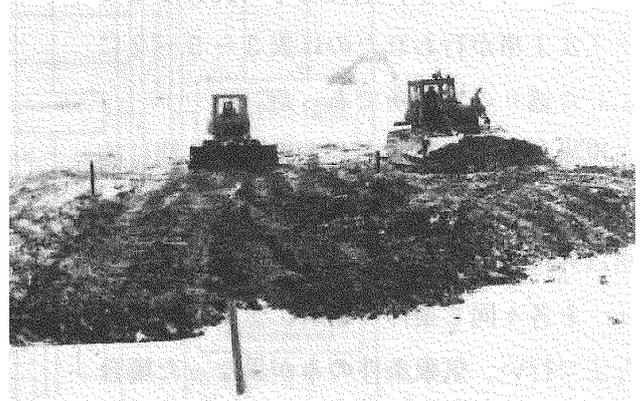


写真8 盛土材の凍結状況



写真9 除雪中の敷均転圧

昭和 48 年には、先に制定した条例を改定強化して、北海道自然環境保全条例が策定されたことにより、特定地域における開発行為の規制が新たに加えられるに至った。

このような自然保護に対する社会のニーズに対応して法面緑化がますます重要となり、昭和 40 年代後半には法面を必ず緑化をするか、何らかの対策工法を施工するようになった。

昭和 49 年には、北海道開発局が管理していた国道 5,400km の全線にわたり、切土法面長 2m 以上の全法面の調査が開始され、積雪寒冷地における法面对策工の検討に入った。

昭和 53 年までに調査を実施した、法長 2m 以上の切土法面数は 6,810 面にのぼり、その内法面に崩壊が確認されたのは 761 面で、損傷率は 11.2%であった。損傷の原因は、凍結、凍上、湧水（融雪水を含む。）、降雨、風化などが挙げられており、表 9 は、この時点で崩壊の確認された 761 面を原因別にまとめたものである。

同表によれば、北海道のような積雪寒冷地特有の現象である凍上、凍結、湧水（春先の融雪水）又はこれらの複合によると思われる崩壊箇所は 427 か所もあり、全崩壊数の約 6 割という高比率

表 9 北海道における切土のり面の原因別崩壊状況

原因別 件数	凍上・ 凍結	湧水 (融雪水)	前2者 の併合	降雨・風化・その他		計
				土砂系	岩系	
崩壊数	153	184	90	234	100	761
崩壊全体 との比率	20.1	24.2	11.8	30.8	13.1	100.0

を占め、ほとんどが春先に集中していることを示す結果となっていた。

この調査結果に基づき、各切土法面の土質、勾配、切深、背後地勾配、経過年数、方位、対策工法などに関するデータが集約され、統計的手法により解析、検討が行なわれた。この成果として、積雪寒冷地における植生工のみの切土法面勾配は、表 10 のようになった。この値は、道路土工指針に示されている標準法勾配と比較して、大部分の土質及び切深において、緩い法勾配となっている。

表 10 寒冷地における切土のり勾配の標準値（抜粋）

また、調査箇所の中で崩壊した切土法面のデータから、崩壊の原因種別による対策工法の選定フローを示したのが図 17 である。これを参考にし、現場の状況を考慮して対策工法選定の際の目安とすることもできよう。

このような調査成果を取りまとめて、昭和 56 年 3 月、「寒冷地における切土法面工便覧（案）」が北海道開発局土木試験所において作成された。

A	名称		のり面の条件		植生による安定 限界のり勾配	南・北・北西向の り面
	B	C	切深	背後地勾配		
土	火山灰土	未風化 火山灰土			1:1.0~1:1.15	1:1.2~1:1.5
		風化 火山灰度				
	れき質土	れき質土	~ 15m 15m 以上		1:1.0~1:1.2 1:1.2~1:1.5	
	砂質土 及び 砂	砂			1:1.5 以上 ※	
		土	5m 以下	-20%以下 -20~20% 20%以上	1:1.0 1:1.2 1:1.2~1:1.5	1:1.5
砂	粘性土	粘性土	5 ~ 10m	-20%以下 -20~20% 20%以上	1:1.0~1:1.2 1:1.2~1:1.5 1:1.5 以上	1:1.5 で切土し
		高含水比 粘性土	10m 以上	-20%以下 -20~20% 20%以上	1:1.0~1:1.2 1:1.2~1:1.5 1:1.5 以上 ※	植生基礎工併用
	でい炭					
岩	岩塊・ 石	岩塊・ 石			1:1.0~1:1.5	
	軟岩	I			1:0.8~1:1.2	
		II				
	硬岩	中硬岩				:0.5~1:1.0
I					1:0.3~1:0.8	
	硬岩	II				

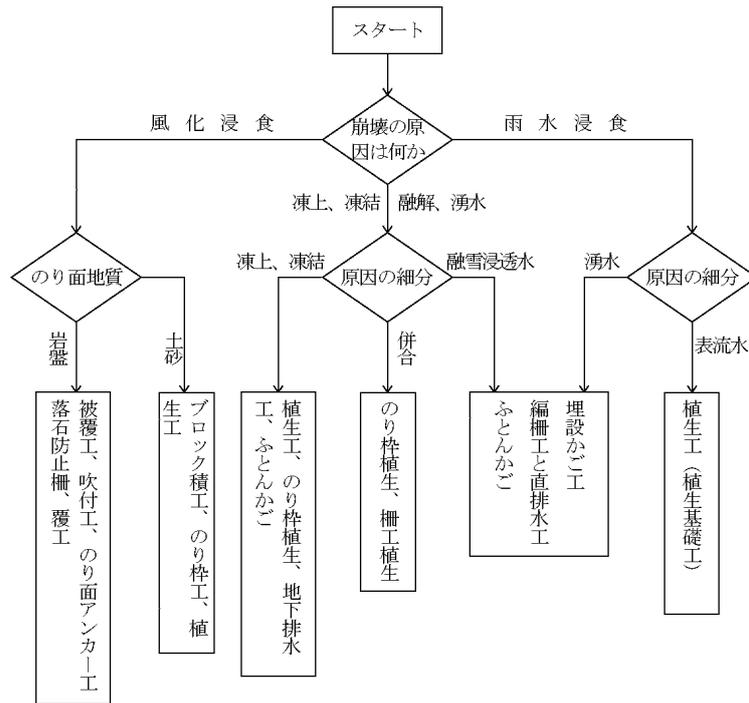


図 17 崩落原因による対策工法選定フロー

法面保護工の中でも、近年よく用いられるようになった工法に法枠工がある。この工法が出現したのは昭和 30 年代後半で、当初はコンクリートブロックの格子枠が多かったが、軽量の鋼製やプラスチック製のものが次々と開発され、また、工費比較からも経済的なものが登場したことにより、各地で様々な法枠工が採用されるようになった。

現在、法面に使用されている法枠を大別すると、図 18 に示したようなものに分類され、製品の種類は優に 100 種を超えている。このように、多数の製品が次から次へと考案・開発されるのも、法面保護の重要性と将来性が見直されたことによるものであろう。

しかし、法枠工の施工実績の増加と時間の経過により、近年、法枠工の変状や崩壊事例が増加する傾向にある。あまりにも多い法枠工製品の使用選定方法の基準などを確立し、現場技術者の悩みを軽減していくのがこれからの課題であろう。

最近、道路施設の質の向上が叫ばれるようになり、法面対策工にもこれが影響し、多少工費が高くても安全で快適な道路環境を目標とした対策工法を選定するようになった。その一つが、法枠工の中でも工費の高い現場打設枠（フリーフレーム）などであり、安全対策面からよく採用されるようになってきた。

分類	平面形状
コンクリートブロック製	
プラスチック製	
軽量型鋼製	
波付鋼板製	
その他	

図 18 のり枠の形状

最近、道路交通の安全を法面の落石から守る切り札として、図 19 のような落石覆工も高価な施設であるが、交通の安全を確保するため数多く施工されるようになった。

また、法面植生工では、平成 14 年から「新技術による法面緑化」工法も取り入れられてきた。これは、表 11 に示す

ように、発生土、伐採木（チップ）、石炭灰など工事現場で発生した材料や建設副産物をリサイクルして主材料や混合物とするものであり、植生工と緑化基盤工に分類される。大部分は切土法面に適用されるが、盛土法面への施工もある。

特に、工事で発生するすき取り物については、有機物を含んでおり低強度であることから、盛土法面の緑化技術として有効利用する方法が期待され、平成 13 年頃から検討されてきた。その後、法面が長期的に保護されることが確認され（写真 10・11）、今日では北海道開発局道路設計要領に掲載され、すき取り物による盛土法面の緑化は北海道開発局の標準工法となっている。

表 11 のり面緑化に関する新工法の分類と特徴

工法	主な基盤材料	工法の特徴
植生工	植生基材	厚層基材吹き付け工法で使用されている粘着剤や肥料などを別な材料に置き変えた工法であり、種子を混合してのり面に吹き付ける。
	生チップ	工事現場で発生する木の幹や根を施工しやすいように適当な大きさに破碎した生チップを基盤材の主材料としている。生チップのほかに土砂を混合する場合もある。
	発酵チップ	生チップに有機物を混合して発酵させて堆肥化したものを基盤材の主材料としている。生チップは分解しやすいように細かく破碎している。
	土	工事現場で発生する土砂を基盤材の主材料としている。植物の根や種を取り除いた表土も基盤材とする場合がある。
	微生物菌中和剤	のり面の土質を微生物や中和剤を用いて植物の生育に適した pH となるよう調整する工法である。この工法では他の植生工を併用する。
緑化基礎工	のり面保護工	従来はコンクリートやブロックなどによりのり面を保護していたものを長繊維や簡易のり枠などによりのり面を保護する。この工法では植生工を併用する。

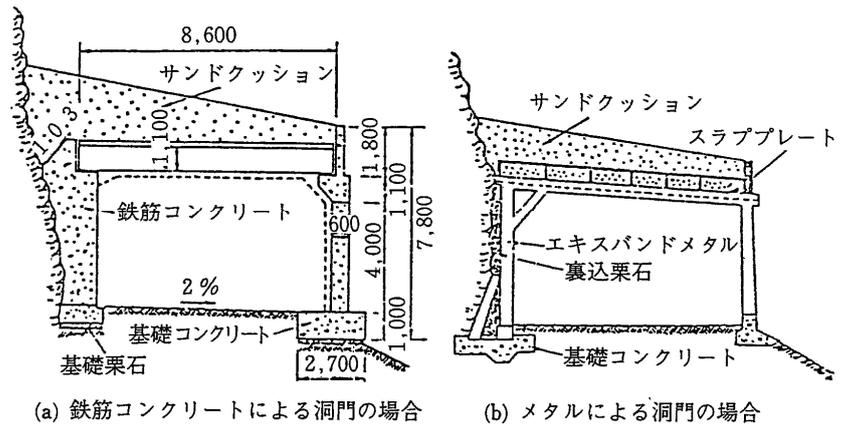


図 19 落石覆工の一例



写真 10 すき取り物を施工していない法面



写真 11 すき取り物を施工した法面

(イ) 法面対策工例

a 定山溪～中山峠法面

国道 230 号札幌市の定山溪～中山峠の新ルートにおいては、法面の地質が多種多様であった。中でも礫まじり粘土が最も多く、次いで軟岩性の変朽安山岩、更に変質して粘土化したものが多かった。また、極一部には硬岩類も分布していた。

新ルートは急峻な山腹をうねるように通るため、大半の土工は片切盛となっている。斜面表層部は保水性の高い土質で覆われているため、切土した斜面は湧水が多かった。

当初の計画では、盛土法面には筋芝、切土法面の土砂類には張芝又は人工芝、風化軟岩には SM 緑化を施工する予定であった。しかし、法面が長大であり、また、国立公園内であるため、環境の整備、地山土質の酸性による植生の適否、標高による施工適期の問題などがあり、これを解決するために、昭和 39 年に試験植生が実施された。

新ルートで採用した法面対策工は、この結果を参考にしながら選定されたものであり、植生工を中心にして、モルタル吹付工、コンクリートブロック工、P・S アンカー工、落石防護網、落石防止柵などの工法が、法面の土質などの状況により、昭和 44 年まで施工された。このうち植生工は、全体法面積の約 90%を占め、表 12 のような施工実績となっており、大半は工事の後半に集中して実施された。

かくして、昭和 44 年定山溪～中山峠の新ルートが開通したのである。

表 12 植生工年度別実績表

工 種 \ 施工年度	40	41	42	43	44	計
安定植生盤	—	6,754	6,648	17,413	50,785	81,600
SM 緑化工	—	15,309	—	21,258	61,174	97,741
簡易 SM 緑化工	—	—	6,500	29,909	85,820	122,229
張芝しがら工	—	—	—	22,099	—	22,099
張芝工	—	—	—	2,552	1,039	3,591
SM ビック緑化工	—	—	—	—	14,628	14,628
SM 平地播種工	—	—	—	—	43,323	43,323
種子吹付工	—	—	—	—	13,162	13,162
種子袋工	—	—	—	6,057	7,848	13,905
計	—	22,063	13,148	99,288	277,779	412,278

b 知床横断道法面緑化

知床峠は、国道 334 号知床横断道の標高 738m の地点にある。

この一帯は知床国立公園に指定されているため、特に環境保護には注意を払い、法面緑化と保護工の検討が入念に行われた。

地質は、火山岩を基盤に、その上には巨礫を含んだ洪積世堆積物が部分的にあり、砂礫層で覆われている。そのため、切土法面に転石が露出し、時には施工が困難となる箇所もみられた。

この地域は原始景観の保在されている森林地帯であり、自然保全の観点から、緑化に用いる植物についても周辺と同種の植物を利用する方法が検討された。結果的に、現地の表土(ササ根、草類、在来種子などの混入した土)を利用した緑化をすることになった。形状は、図 20 のようなマット状に表土を切り、これを張芝のように使用したのである。ササマットを用いた法面工は、昭和 53~55 年に施工された。コンクリート法枠や緑化ブロックの中にササマットを用いたもの、コンクリート井桁ブロック枠(写真 12) の中を植生したものが切土法面に使用された。同時に、盛土法面に対してもササブロックによる張芝が施工された。一部法面にはササが枯れた部分もあるが、全体的には良好な結果となった。

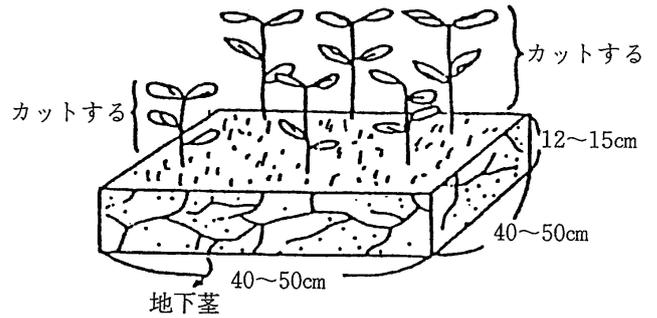


図 20 ササマットの形状

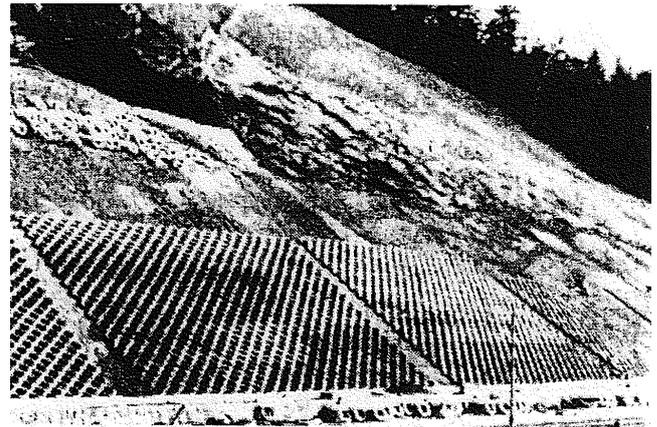


写真 12 ブロック枠工施行

平成の時代に入り、法面保護に関する様々な技術の進展があり、法面の長期安定性、施工性、経済性を考慮したすき取り物張付工(写真 13) や連続繊維補強土工による法面保護工(写真 14) などの工法が採用されている。また、地球規模における環境保全が国際的な重要課題となった今日、産業廃棄物の有効利用を積極的に採用している。



写真 13 すき取り物張付工



写真 14 連続繊維補強土工による法面保護工法

c 音威子府バイパス法面緑化

国道 40 号音威子府バイパス事業は、森林科学の研究フィールドである北海道大学中川研究林の自然林内を通過することから、早期の植生保全・景観復元が求められた。そこで、工事により消失する林床植生を表土と共にブロック状に切り取り、新たに発生した盛土法面に移植する簡易的工法を開発して、中川町琴平の盛土法面において平成 25 年に施工した。

施工は次のような順序であった。まず、1800mm×900mm×150mm の鋼製枠を利用してバックホウで深さ 15cm のブロック状に採取し（写真 15）、1800mm×900mm の型枠用コンパネをベースにした運搬用パレットに積み替えて運搬し（写真 16）、バックホウ 0.7m³(ロングアーム 18m 着装)で定置用型枠を吊り上げて法面上に滑り下ろす方法によりブロックを定置した（写真 17・18）。

施工直後と施工 6 年後の状況を写真 19 に示している。表土ブロックを施工した箇所では、翌年から植被率が 90%程度と高く、降雨の表面侵食に対する十分な抵抗性を確認できた。また、すき取り土に比べ、自生種の出現比率が高く、外来種の侵入を抑えることができ、樹木の出現本数も多く、早期の植生保全・景観復元に寄与する有効性が確認された。



写真 15 根切り作業状況



写真 16 積込運搬作業状況



写真 17 表土ブロック設置作業状況



写真 18 表土ブロック定置直後



写真 19 表土ブロック設置箇所の施工直後(左)から6年後(右)の状況

(3) 路床・路盤

ア 路床

路床とは、舗装の下約 1 m の部分をいい、舗装の厚さを決定する基礎となるものである。第二次世界大戦前の舗装設計には、路床についての特別な設計法の規定がなく、戦後になって路盤工の下の部分、すなわち、路床の重要性が分かり、土質工学の発達とともに路床に関する規定が採り入れられ、設計されるようになった。これによって、昭和 36 年にはアスファルト舗装要綱が改訂され、土の強度を CBR 法によって測定し、それによって舗装の構成が決定されるようになった。

しかし、北海道では交通荷重が比較的小さいこと、融解期の路床支持力を小さく仮定しても、置換厚さは CBR 設計曲線から求められた舗装厚より大きくなるため、CBR 法によって舗装構造が決められることはないと考えていた。したがって、従来からの経験などによって舗装の構成が決定されてきた。

昭和 42 年にアスファルト舗装要綱が再度改訂され、5 年後の大型車一日一方向当たりの交通量を推定した交通区分により、構造設計なされるようになった。そこで、国道 36 号美々試験道路の調査結果を利用して、暫定的に路床の設計 CBR を考慮することとなり、凍上抑制層の上で、一律に CBR=3 とすることとした。

積雪寒冷地における路床土の設計 CBR は、凍結した路床土が春期に融解し、その支持力が最も低下した時に求める必要がある。しかし、舗装工事を実施する箇所ごとに、春期の融解期において現地で設計 CBR を測定することは容易でない。すなわち、多くの労力と時間を必要とするばかりでなく、測定の精度についても問題がある。そこで、路床の土質や凍上抑制層の材料ごとに、あらかじめ設計 CBR を求めておけば、非常に都合が良いと考えたのである。

昭和 45～46 年の春期融解期において、路床支持力を全道的に調査し、その結果から土質区分ごとに CBR を求め、これに基づく舗装厚とその地域の置換厚の両者を比べ、大きい方の厚さを基にして構成を決定することにしたものである。

北海道では凍上対策の観点から、一般に凍上抑制層の厚さが大きく、路床を構成する在来路床土と凍上抑制層がほぼ同じ程度に凍結融解の作用を受ける。そして、その支持力は低下する。したがって、両者の最小 CBR を合成して、路床の設計 CBR とすることが最も経済的であり、かつ、現場の実態に合ったものと考え、アスファルト舗装要綱に定める次式により、設計 CBR を求めることにしたものである。

平成 13 年には「舗装の構造に関する技術基準」が定められ、舗装構造を性能規定化するとともに、施工及び管理に係る費用、施工時の道路交通及び地域への影響、路上工事等の計画等を総合的に勘案して、道路管理者が舗装の設計期間を定めることとなった。北海道においては、舗装の長寿命化やライフサイクルコストの低減を図るため、従来、10 年としてきた舗装期間を 20 年とすることとし、支持力の低下を考慮した設計 CBR の決定手法の検討を行い、凍結融解後の室内 CBR 試験の結果から直接求めることとし、路床条件を細かく舗装構成に反映した経済的な設計を行うことを可能とした。

これらの検討を踏まえて、平成 19 年度の北海道開発局道路設計要領から、設計期間 20 年の設計手法が反映され、新設の舗装の多くが 20 年の設計期間で施工されている。

イ 凍上抑制層・路盤

路盤は、交通荷重を分散させて安全に路床に伝える重要な役割を果たす部分である。したがって、耐久性に富む材料を用いて必要な厚さを確保した上で、十分に締め固めたものでなければならない。路盤は経済的に、しかも力学的に釣合いの取れたものとするために、通常、下層路盤と上層路盤に分けられている。

(ア) 凍上抑制層及び下層路盤

大正時代から第二次世界大戦の終了まで、舗装の多くは特別に凍上対策がなされず、下層路盤というべきものは特に設けられていなかった。

第二次世界大戦後の昭和 27 年に施工された札幌・千歳間道路の建設以降、凍上抑制層を含めて、難凍上性の材料である火山灰、砂、切込砕石等を用いて、路盤が路床の上に施工されるようになった。この頃は、凍上抑制層と路盤との区別はされず、主として現地で得られる安価な材料が使用されている。昭和 30 年に施工された札幌市内の舗装工事では、路床の上に砂が 20cm、切込砂利が 46cm、切込砕石が 4cm という路盤構成になっており、昭和 39 年の北海道開発局道路工事設計基準では、路盤を上部と下部とに区分し、上部路盤には最大粒径 50mm 以下の切込砂利、切込砕石等を使用し、下部路盤には砂、火山灰又は最大粒径 90mm 以下の切込砕石等を使用することとしている。

昭和 42 年にアスファルト舗装要綱が改訂になると、翌 43 年から凍上抑制層の名称が用いられるようになった。しかし、下層路盤は上部と下部に区分され、上部には 40mm 級の修正 CBR \geq 40 の切込砂利と切込砕石が、下部には 80mm 級の修正 CBR \geq 30 の切込砂利及び切込砕石等が使用され、その下に凍上抑制層が施工されている。

締固めについては、平板載荷試験により 28kg/cm³ 以上とされ、その後締固め度によって管理されるようになった。

凍上抑制層と路盤工の厚さについては、昭和 39~42 年の標準断面を図 1 に示す。しかし、昭和 43 年からは交通区分により表 1 のとおり変更された。

やがて、(TA) による設計法が舗装構造に採用されると、計算によって路盤の厚さが定まり、凍結深さから凍上抑制層の厚さが決まるようになった。すなわち、「路盤工の厚さは、凍結深さ及び路床支持力の双方をもとにして定める」こととなった。したがって、凍上抑制層の厚さは、置換厚から舗装混合物の厚さと、必要な路盤の厚さを差し引いて決定することになった。路盤の構成については、凍上抑制層と路床 CBR とを合成して求め、それから交通区分にしたがって (TA) の目標値によって厚さが決定されることになった。

		(cm)		
		A交通	B交通	C交通
下層路盤	上部	25	35	35
	下部	20	20	20
凍上抑制層		30以上	30	30

表1 下層路盤及び凍上抑制層

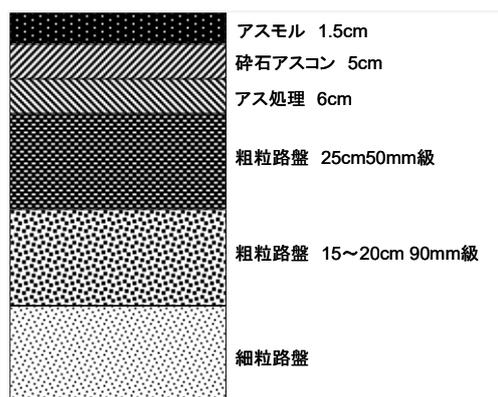


図1 昭和39～42年の構成

(イ) 上層路盤

大正時代に多く採用された路盤に、テルフォードマカダム基礎工がある。この工法は、路床の上に15～20cmの栗石の小口を下に、長手方向を縦にして一層に張り立て、十分に締固めた後、砕石や砂で目つぶしをかけて仕上げるものである。しかし、適当な栗石が入手困難なことや、作業能率が悪いことから、次第に採用されなくなってきた。このテルフォードマカダム基礎工は、函館市街や小樽市街、札幌市街などで多く施工され、昭和11年の札幌北一条通でも採用された。

また、貧配合のコンクリート、すなわち、ホワイトベースと呼ばれるものが、アスファルトの舗装における上層路盤（基層）として採用されている。

やがて昭和の初期になると、ホワイトベースに代わって砕石使用のブラックベースが採用されてきた。アスファルト量は一般に5.5%のものであり、各地で使用されたが、小樽市内では厚さ7～10cmのものが施工されている。

やがて浸透式アスファルトマカダム工が、上層路盤や簡易舗装として登場してきた。あるものはストレートアスファルトを使用し、あるものはアスファルト乳剤を使用したものである。この浸透式アスファルトマカダム工は、骨材を敷き拡げた上から、アスファルトなどの瀝青材料を散布して浸透させ、骨材の噛みあわせと瀝青材の結合によって、安定性のある層を造る優れた工法であった。

昭和28年の札幌・千歳間道路では、厚さ4cmのもので面積は140,866㎡の施工をみている。昭和30年当時のアスファルトマカダム工の単価は、札幌市内で直接工事費が259円/㎡であった。このアスファルトマカダム工は、昭和38年頃まで各地で採用、施工されてきた。

同時期に、セメント安定処理工が上層路盤として施工されている。初期の頃ではセメント量120kg/m³、厚さ15cmのものが多く施工されている。この工法は、切込砂利に現地の路盤土を添加し、セメントを加えて混合し締固めを行うもので、特に市街地での施工例が多かった。初期の頃は人力や馬力によって路上混合されたが、やがてロードスタビライザなどの混合機械が登場してきた。昭和33年になると縦軸のミキサが北海道開発局の手で導入され、セメント量100kg/m³、厚さ10cmのものが施工されるようになった。

昭和35年の北海道開発局道路設計基準には「路床の軟弱箇所、又は砕石が高価な箇所ではセメ

ント安定処理基礎工を採用する。セメント安定処理の主骨材（切込砂利）には、全体に対して 30% 以上の路盤土（又は火山灰）を混入することが望ましい。セメント量は $120\text{kg}/\text{m}^3$ 以下とし、施工厚は 15cm を標準とする。ウツドのロードミキサを使用する場合は、施工厚を 10cm まで低下することができる」と定められていた。

しかし、アスファルトマカダム工（写真 1）は、工事規模の大型化に伴って、碎石の供給が質・量共に困難となり、さらには施工速度が小さいことなどから、用いられなくなってきた。また、セメント安定処理工（写真 2）についても、寒冷地で特に問題となる収縮亀裂や、養生による交通処理等の問題があるために、次第に採用されなくなってきた。これらに代わる工法として登場したのが、加熱混合式のアスファルト安定処理工である。

昭和 32 年全国に先駆けて行われたこの工法は、昭和 35 年の北海道開発局の道路設計基準に「碎石が高価で、セメント安定処理では交通処理上障害となる箇所、及び有機不純物が多く、セメント安定処理では交通処理上障害となる箇所、及び有機不純物が多く、セメント安定処理の不安な場合はアスファルト安定処理を採用する。但し乳剤使用での常温混合は、北海道の気象条件からむずかしく、加熱混合の方が安全である」と定められていた。

本格的に北海道で施工されるようになったのは昭和 38 年からであり、この時のアスファルト量は 3~4%、石粉が 0~3%であった。

石粉を添加することについては、昭和 47 年から種々の理由から必ず使用することとなったが、できるだけ安価な混合物とするため、昭和 52 年からマーシャル試験値を満足しない場合にのみ入れることとし、アスファルト量も全ての基準値を満足する中央値の下限より設定することになっている。

この加熱混合によるアスファルト安定処理工は、昭和 38 年以降北海道における唯一の上層路盤工法として定着し、また、全国的にも採用されるようになってきた。



写真 1 アスファルトマカダムの施工状況



写真 2 セメント安定処理の施工

(ウ) 凍上防止対策の調査と対策

寒冷地の道路では、アスファルト舗装、コンクリート舗装を問わず、凍上を防止又は抑制することが極めて重要であり、多くの室内外における凍上試験工事が行われてきた。

昭和 34 年、凍上対策工法に関する技術的諸問題を解決するため、国道 36 号千歳市美々地区に試験道路の築造を計画した。その後、昭和 35～36 年にかけて試験道路が建設されて以降、継続的に調査研究が進められてきた。この調査は、大きく 3 期に区分される。

第 1 期調査は昭和 35～40 年にかけて行われたものであり、ここでは、置換工法における置換厚、置換材料の許容品質に関する調査が行われた。難凍上性材料で置換すると、その厚さが大きいほど凍上量は減少すること、凍上抑制層に細粒火山灰を使用すると、凍結深さは小さくなるが、0.074mm 以下の細粒分含有量が多くなるほど凍上が発生しやすいことが分かった。また、融解期の路盤支持力は凍結前のほぼ 50～60%に低下することなどが明らかとなり、置換工法採択の根拠を与えた。

第 2 期調査は昭和 41～47 年にかけて行われ、凍上性路床における各種安定処理層の路盤効果の確認、コンクリート舗装に断熱工法を用いた時の舗装の挙動に関するものであった。ここでは、凍上抑制層に火山灰を用いることにより、凍結指数 500～600℃days 程度の地方では、路床への凍結の侵入をほぼ防止できること、安定処理の工法、舗装のタイプによって凍結深さに差は生じないこと、上層路盤に安定処理を用いることは、融解期の支持力低下の防止に有利であることなどを明らかにしている。

第 3 期調査は、昭和 48～54 年にかけて行われた。ここでは、断熱材の埋設深さ、敷き砂厚の効果に関するもので、厚さ 30mm の断熱材を埋設することにより、凍結深さを小さくできること、埋設深さを大きくした方が路盤支持力は大きくなること、断熱材下面の敷き砂厚を大きくすることは凍上量の減少、支持力の増大に有効であることなどを明らかにし、断熱工法は、経済的バランスを考慮して置換工法と併用するのが望ましいことを指摘している。

また、歩道除雪が行われるに伴い、各地で凍上による被害が発生したため、その対策に資すべく、昭和 48 年に、国道 273 号上士幌清水谷地区において各種の試験舗装を実施した。ここでは、断熱工法及び歩道路床を車道路床にすりつける工法（図 2）が有効であることを明らかにしている。

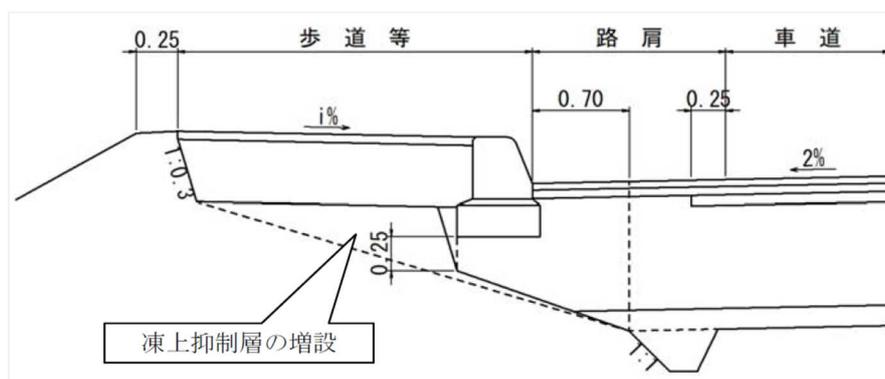


図 2 歩道凍上対策（すりつけ工法）

(4) 舗装構造

ア アスファルト舗装

(ア) 舗装の設計

戦前からの舗装設計は、ほとんどが「勘と経験」によって決められていた。その理由としては当時の交通状態を見ると、どのような工法でも、また、どのような舗装構成でも、大体満足できる結果が得られたこと、基礎研究が不十分であったことなどが挙げられる。したがって、工法、設計法については、段階的に構造強化するステージ・コンストラクション工法が採られていた。わずかに、昭和 28 年の札幌・千歳間道路の設計に当たっては、ワイオミング州の設計方法により、チェックされたのにすぎない。このワイオミング州の設計方法は、路床土の CBR を求め、設計曲線を使って舗装厚を決める手法であった。

しかし、一般的には従来からの勘と経験によって決められ、凍上対策上から決まる総厚を、函館地区が 60cm、札幌地区が 80cm、帯広地区が 90～100cm などと定め、表層アスファルトモルタルの下に粗粒式アスファルトコンクリート、上層路盤を浸透式アスファルトマカダムとし、又は細粒式アスファルトコンクリート(トペカ)の下にセメント安定処理若しくは浸透式アスファルトマカダムというものであった。路盤については、切込砂利又は切込碎石を 20～25cm 程度として、その下に砂等を路盤の下部として使用していた。図 1 に昭和 34 年の一例を示す。

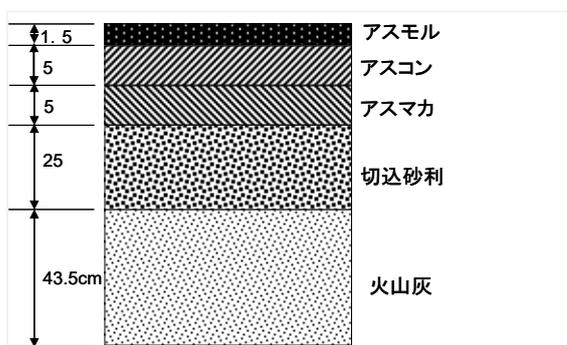


図 1 昭和 34 年の一例 (置換厚 80cm)

昭和 36 年になり、アスファルト舗装要綱が改訂され、舗装の設計は CBR 設計法になったが、北海道では CBR 曲線から求めた舗装厚よりも現在行っているものの方が大きいとして、これによらなかった。

昭和 42 年になり、アスファルト舗装要綱が再度改訂され、翌 43 年からは 5 年後の大型車交通量によって構造設計をすることとなった。すなわち、路床の設計 CBR による (TA) と合計厚の目標値と、設計荷重を大型車交通量による A、B、C、D の区分によって設計されるようになった。アスファルト舗装の構成と各層の名称を図 2 に示す。表層部の 2 cm は摩耗層として (TA) に含めないこととし、摩耗層兼表層の下に基層と路盤を設け、その下の約 1 m について凍上抑制層を含む路床としている。舗装の CBR は、この路床の上で決定するものである。

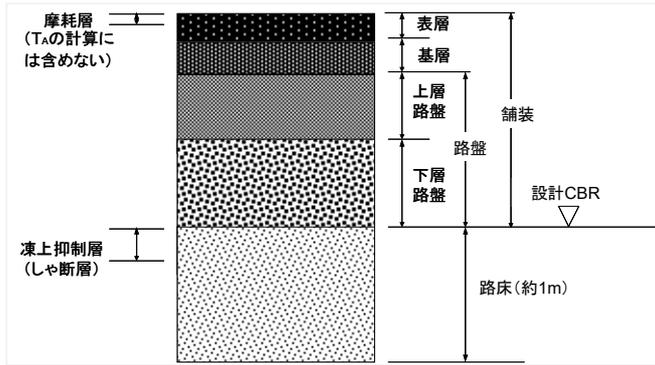


図2 アスファルト舗装の構成と各層の名称

平成13年には「舗装の構造に関する技術基準」が定められ、舗装構造を性能規定化し、施工及び管理に係る費用、施工時の道路交通及び地域への影響、路上工事等の計画等を総合的に勘案して、道路管理者が舗装の設計期間を定めることとなり、舗装の長寿命化やライフサイクルコストの低減を図るため、従来10年としてきた舗装設計期間を20年とすることとし、摩耗層、表層、基層、上層路盤の厚さについて検討し、従来の摩耗層として(TA)には含めていなかった2cmを(TA)に含めることとし、従来は路床の種類を土、火山灰、砂、粗粒材に大別して設計CBRを決定してきたが、融解期の支持力の低下を考慮した設計CBRを使用するため、凍結融解後の室内CBR試験の結果から直接求めることとするなど、大幅な設計の見直しが行われた。また、設計期間20年を考慮して、20年確立凍結指数から置換率を70%とした置換厚への見直しも行われた。また、大型車交通量によるA、B、C、Dの区分もN₄、N₅、N₆、N₇に変更となった。

北海道開発局では、平成19年度から道路設計要領に反映されている。

(イ) 基層混合物

基層混合物には通常粗粒アスファルトコンクリートが用いられている。大正時代の札幌市内舗装工事では、アスファルト量12%、石粉量15%、砂利量43%、砂量30%の配合のものが用いられていた。一般に、北海道では碎石使用のものが多かったが、豊富な河川砂利の産地では、砂利を使用した粗粒度アスファルトコンクリートが使用されていた。

北海道の古い舗装を調査した際、掘って手に持ち上げてみると、碎石を使ったものは空隙が多くぼろぼろになり、アスファルトの老化現象が見られたが、砂利を使ったものでは、持ち上げて手でたたくと、かろうじて割れたというほど密なものであった。

砂利使用の粗粒度アスファルトコンクリートは、昭和31年に国道12号美唄地区舗装工事で本格的に採用された。採用に当たっては特に理論的な裏付けはなかったが、碎石使用の場合の厚さ5cmに対して、砂利使用の場合は2割増の厚さ6cmとし、アスファルト量を0.5%減としていた。

昭和35年の北海道開発局道路工事設計基準には「粗骨材には碎石が望ましいが、碎石の高価な地方においては、砂利を使用しても良い。この場合の最大粒径は30mmとし、施工厚は6cmとする」とある。

昭和 36 年建設省基準には、「碎石の入手が高価であるのに反して、付近の河川の良質な砂利が安価に入手出来るときは、砂利を用いたアスファルト混合物の採用を考慮する」と定めている。昭和 35 年の国道 12 号江部乙地区の舗装工事では、アスファルト量 4.5%、石粉量 4.0%のものが使用され、マーシャル安定度試験の結果では、安定度の平均が 409kg (245～558kg) であり、密度も平均 2.40kg/cm³ (2.28～2.50kg/cm³) と好成績を収めていた。

(ウ) アスファルトモルタル

大正時代から高級舗装の表層用混合物として、アスファルトモルタルを使用したシートアスファルトが採用されてきた。当時の配合としては、大正 15 年の札幌市内舗装工事でアスファルト量 13%、石粉量 20%、砂量 67%というものがある。同年には、旭川市内の舗装工事でワービットタイプ(ワーレナイト・ビチュリシクの略。特許工法)のものが施工されている。さらに、昭和 11 年の札幌市北一条舗装工事でも、このワービットタイプのものが施工されている。

昭和 29 年の国道 36 号上輪厚地区試験舗装の結果から、このアスファルト量の多いワービットタイプのものは耐摩耗混合物として良好であるということで、翌 30 年に国道 5 号札幌市内でも施工された。以来、昭和 40 年代前半まで幹線国道舗装の表層混合物として採用されてきたのである。

ワービットタイプの舗装は、下層部に粗粒アスファルト混合物を用い、できる限り安定度を高め、上層部には防水性に富み、かつ、摩耗性の大きいアスファルトモルタルを用い、この上下を一体として締め固めるものである。

その後、細粒度アスファルトコンクリートに幹線道路の表層混合物の座を奪われてしまう。

(エ) 細粒度アスファルトコンクリート

細粒度アスファルトコンクリート(通称トペカ)は、古くから採用されているもので、既に大正年代に施工を見ている。この舗装工法は、大正 9 年に米国のトペカ市で初めて施工されたものであり、その後、我が国に導入されたものである。

昭和 28 年の札幌・千歳間道路では、厚さ 5 cm のものが施工され、アスファルト量 9%、石粉量 6%、碎石量 25%、砂量 60%のものであった。

やがて、タイヤチェーンによる摩耗が問題となったが、この工法は主として市街地の単独舗装に多く用いられてきた。この考え方は、市街地では交通車両のスピードが低く、多少路面に雪も残ることから、地方部よりも摩耗量が少ないものと考えたからである。骨材には、碎石を始め良質な砂利も使用されている。ここでもアスファルトモルタルと同様に、アスファルト量を多く入れるという考え方は同じである。

昭和 43 年からは異なった観点から再評価され、地方部の舗装にも用いられるようになった。これは、アスファルトモルタルの場合では、厚さが 1.5cm と薄く、特に交通量が多いと数年で摩耗してしまう。しかし、細粒度アスファルトコンクリートでは、厚さが 3～4 cm あるからであった。しかし、やがて路面のすべりという問題から対策が迫られ、幹線国道の舗装は細粒度ギャップアスファルトコンクリートに代わった。

(オ) 細粒度ギャップアスファルトコンクリート

昭和 40 年頃から、降雨時の路面のすべりに起因した交通事故が問題となってきた。

このため、すべり摩擦抵抗の大きい表層混合物が要望され、密粒式アスファルトコンクリート（細粒度ギャップアスファルトコンクリート）が登場してきた。現場試験の結果からすりへり量、施工性などが、従来から採用されてきたアスファルトモルタル、細粒度アスファルトコンクリートに比べて劣らず、かつ、すべり摩擦抵抗が優れていることが分かり、昭和 45 年から幹線国道における表層混合物として採用されたものである。

(カ) 密粒度アスファルトコンクリート

平成 2 年にスパイクタイヤ粉じんの防止に関する法律が制定され、スパイクタイヤの使用が規制されると、スパイクタイヤによる摩耗よりも、自動車交通の増加や車両の大型化によって流動性によるわだち掘れが問題となり、耐流動性の高い表層混合物への転換が必要となった。そのため、細粒度ギャップアスファルトコンクリートよりも耐流動性に優れ、かつ、すべり摩擦抵抗や施工性などが細粒度ギャップアスファルトコンクリートに劣らない密粒度アスファルトコンクリートを平成 13 年度から採用している。

(キ) 北海道型 SMA

近年は、舗装の表層に求められる性能が多様化し、走行時の安全性向上（ハイドロプレーニング、水けむり抑制、まぶしさの低減、すべり抵抗の向上）や、環境保全（騒音低減、水はねの防止）といった機能が求められるようになってきたことを背景に、北海道型 SMA の適用が拡大しつつある。北海道型 SMA とは、表面に近い部分は排水性舗装に似た粗いテクスチャ（きめ深さ、凹凸）を有しつつ、内部は骨材間隙にフィラーとアスファルトを多く含むアスファルトモルタルが満たされた密実な構造を有する混合物（図 3、写真 1）であり、表面機能と耐久性（骨材飛散抵抗性、耐摩耗性、耐流動性等）を併せ持った混合物である。平成 26 年度から高規格幹線道路における適用を開始し、平成 29 年度には開発局設計要領に記載しており、主に高規格幹線道路や交差点部などを対象に採用している。

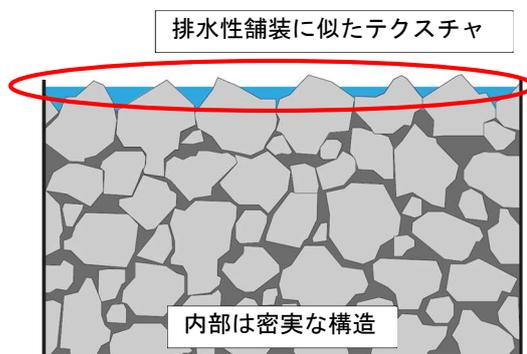


図 3 北海道型 SMA の断面図



写真 1 北海道型 SMA のテクスチャ

イ スパイクタイヤ問題

昭和 20 年代から同 30 年代前半までの冬道走行には、タイヤチェーンが用いられていた。やがて、昭和 34 年になりスノータイヤが北海道地区でも販売されるようになると、走行時の振動、騒音がなく、寿命が長いということで、タイヤチェーンに代わって急速に普及した。

その後、昭和 37 年頃からスノータイヤに鋏を付けたスノースパイクタイヤが登場し、制動効果などに優れているということで普及し始めた。このスパイクタイヤの占める割合は、昭和 45 年には 30%程度であったが、昭和 50 年では 78%を占めるようになり、昭和 55 年になると実に 92%にも達している。

昭和 50 年代に入ると、スパイクタイヤにより舗装が摩耗し、それによって発生する粉塵問題が新聞等で大きく取り上げられ、社会的に問題となってきた。舗装の摩耗による一冬の損害額は、当時の国道で約 58 億円と試算されていた（写真 2・3）。

そこで、舗装の摩耗対策として、表層混合物の改良と同時にスパイクタイヤの規制、ピンの改良などの研究が進められてきた。北海道開発局では耐摩耗表層混合物とスパイクピンの改良を目指して、昭和 55 年にスパイクラベリング試験器を導入して、これらの研究に着手したのであった（写真 4）。

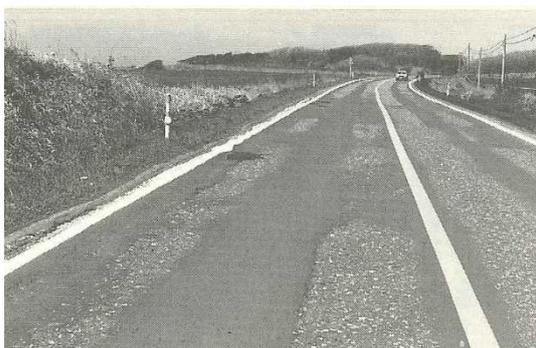


写真 2 国道 235 号門別地区の摩耗状況



写真 3 市街部の摩耗状況

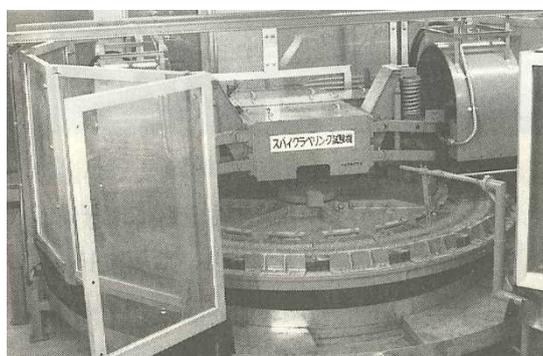


写真 4 スパイクラベリング試験機

ウ 環境に考慮した舗装（中温化舗装）

近年、地球温暖化対策について国際的な議論が活発化するとともに、国内においても CO₂ の削減や循環型社会の構築などについての国民意識が高まり、各方面において多様な取組がなされている。

舗装工事においても、アスファルト混合物の混合時の温度を低減することが可能な中温化技術の普及に取り組んでいるところである。中温化技術は、混合時の温度低減によって CO₂ の排出量を削減することが可能となること、施工直後の交通開放までの時間短縮が見込まれるなどの効果が期待される。

北海道開発局では、積雪寒冷地における寒冷期の CO₂ 削減効果や品質の確保、施工性向上に対する効果の検証と中温化技術の普及のための取組として、平成 23 年から試験施工の実施や「積雪寒冷地における舗装技術検討会」を立ち上げての検討を行い、平成 25 年 9 月に「北海道における中温化舗装技術の適用に関する指針（案）」を発行した。本指針（案）では中温化舗装技術について、品質確保及び普及に関する試験施工において得られた知見を基に、適用方法、留意事項等がまとめられている。