

なだれと雪害との闘い—研究開発と東北、上越新幹線の雪害対策—

荘田 幹夫*・宮本 俊光**

1. 最近の雪国

雪国では冬になると、野山も街も深さ数メートルの積雪に埋めつくされる。そして、ほとんどの生産活動を中止し、住民は冬ごもりを始める、という昔からの生活様式が続けられてきた戦前までは、鉄道がただ一つの交通機関であった。その間、徐々に拡大する表日本との較差に気づき、積雪に対する雪国住民の諦観を打破しようと

する試みも散見されるが、それらが結実するのは戦後である。

戦時中、飛行場滑走路や手稲鉾山道路の除雪にいくぶん手を染めていた北海道では、戦後進駐車の要請に答え、いち早く道路除雪を開始した。そして、「道路の除雪・防雪・凍雪害防止に関する特別措置を定めて雪国の産業振興と民生安定に寄与する」という目的で、雪寒法（積雪寒冷特別地域における道路交通確保に関する特別措置法）が公布されると、北海道での除雪実績はたちまちにして2000 kmを越えたが、本州では、昭和33年度までゼロ、36年度になっても500 kmに達していない。本州の道路除雪が本格的に開始されたのは翌37年度（6300 km）からで、図-1に示したように、46年度には2万5400 km、北海道とあわせて約3万7000 kmと報告されている。

この除雪実績延長の急増は、明らかに、再度裏日本を襲った昭和35年末および38年1月豪雪災害の結果であるが、同時に農業機械化や家庭電化・テレビ普及等に続く高度経済成長、モータリゼーション、レジャーブームの盛上がりなどと時期的に一致した事実を見逃してはなるまい。この間、除雪機械の種類・性能も、鉄道・建設省・民間の現場や研究所の手で急速に改良された。また、昭和35年末豪雪の際、一小路で効果を発揮した消雪パイプによる散水融雪方式は、その後長岡市が採用し（図-1）主要街路の無雪化を実現すると、たちまち山間部市町村にも波及し、屋根雪の捨場だった雪国街路独特の情影（写真-1）は姿を消してしまった。

自動車利用による雪国の冬期活

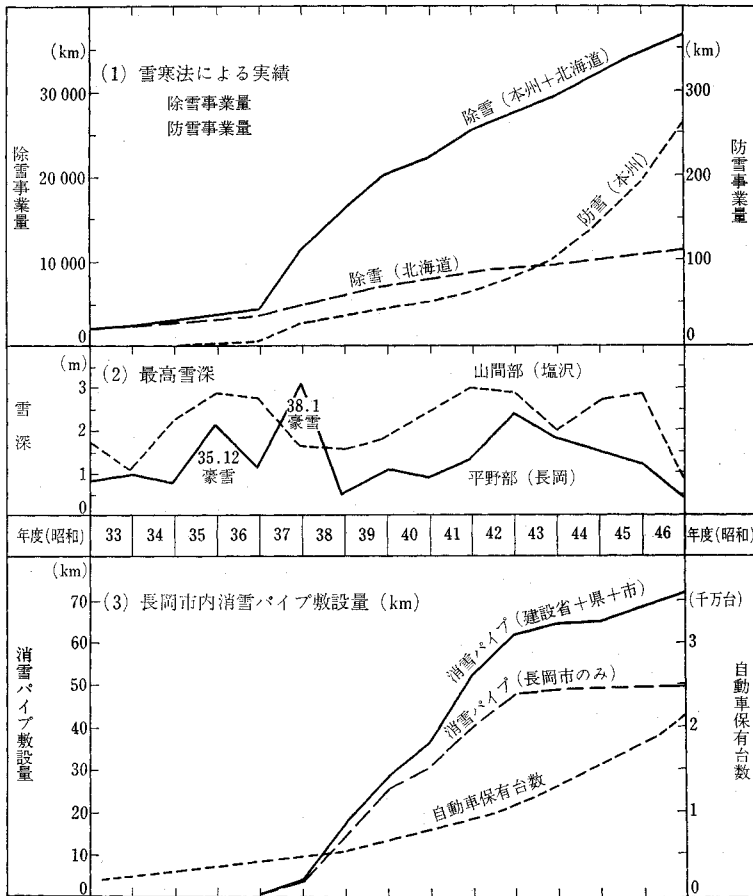


図-1 最近15年間における道路雪害対策の推移

* 理博 科学技術庁国立防災科学技術センター 雪害実験研究所長
 ** 正会員 日本国有鉄道技術開発室 計画主幹



写真一 雪に埋もれた新潟県塩沢町の街路

動の活発化と並行して住民の欲求レベルが急上昇し、かつては問題にもならなかったわずかな交通途絶や雪処理の不手際に対しても苦情が出はじめた。交通に対する雪の障害が取り除かれると、表日本の経済社会構造が侵入し、住民生活の面でも、たとえば、生活や生産必需物資貯蔵の短期化や、廃棄物・し尿処理の公共依存など、近代化・都市化が進む一方、異常豪雪に対する抵抗力は逆に低下の傾向も見られる。ここで異常豪雪というのは、数日間に2m近い新雪が積るとか、ふだんあまり降らぬ北陸地方平野部のような地域が突然1m余の積雪に埋まるような場合をさす。鉄道や通信網の耐雪性も、これら豪雪災害を契機として大いに強化された。とくに鉄道では、除雪機械の質と量、その運用法、列車運転規制等において抜本的な改善がなしとげられた。と同時に、雪国は鉄道の線状交通一本に頼っていた昭和20年代からわずかに数十年間に、縦横に走る網目状道路をフルに活用し、人や物の移動が冬期間でも広範囲かつ迅速に行なわれる時代に移行し、その結果、さまざまな面で、著しい変化が起こりつつある事実注目する必要がある。

たとえば、雪国のこの精神的、構造的成長に伴い、雪害の概念ないしは形態にも変化が現われてきた。街路は冬中雪に埋まるものとして自動車使用など夢にも考えなかった同じ住民が、最近では数時間の交通途絶を雪害として意識し、市街地末端小路の無雪化要求を当然と考えるようになった。冬期交通確保のための除雪機械も、雪寒法助成などにより10年前とは桁違いの数量に達し、十分とはいえなくても、よほどの豪雪時以外その機能まひは起こらないが、住民の欲求レベル上昇はこれを上回り、さらに強力かつ迅速な除雪サービスを要求している。他方、消雪パイプは相当な降雪強度に対してもその効力を失なわない。ところが長岡市の例にみられるように、無計画な増設のため、肝心なときに地下水位低下による消雪不能という事態に直面し、昭和44年度以後新設中止を余儀なくされた。今後の対策には、科学的調査・研究

に裏づけられた緻密な計画性が必要である。

雪国の冬期交通確保の拡大は、レジャーブームに伴うスキー・登山人口増加やモーターゼーションとあいまって、なだれ災害危険を急増しつつある。なだれは有史以来、雪国山岳地域で無数に発生し続けてきた自然現象であるが、人間や人がつくった物がこれに遭遇せぬ限り災害とはならない。歴史的にみても、鉱業・林業・電源開発工事、あるいは登山者らによる山地人口に比例して、なだれ災害は増減した。図一に示したように、過去10年間に冬期交通可能な道路延長も自動車保有台数も激増し、わずか数年前までまったく雪に埋もれて使用不能だった山間部道路に四六時中車列が連なり、スキー場に多数滞留する人々や自動車とともに、見方によっては、なだれに襲われる機会待ちの状態にあるといっても過言ではあるまい。しかも、この傾向は年々強まるすう勢を示し、ヨーロッパでも数年前、犠牲者数百余のなだれ惨事が続き、ユネスコがこの自然災害調査に乗り出した。そこで、予防・防護施設の完備と並行して、より確実な、なだれ予知による交通規制と危険除去技術などの開発が要望されている。

さらに、新幹線や高速道路など交通機関の高速化に伴い、新たに台頭する未経験の氷雪害が憂慮されている。かつて、鉄道や電源開発が雪国に進出し初めた頃、さまざまな雪害を体験し、そのつど耐雪性が強化されてきた。なだれに襲われて列車が転落し90余名の犠牲者を出した勝山トンネルの事故、工事飯場被災ごとに数十名の死者を出した黒部川電源開発工事、数メートルの積雪に埋まった脚部部材弯曲のため20余基の送電鉄塔が倒壊した高石山の沈降力雪害など、未知のための雪に対する無防備が原因で多くの大災害が発生した。ところで積雪やその構成材料である氷の諸性質についての研究の歴史はまだ日が浅く、積雪の変形や破壊については低速領域での研究さえごく最近はじめてられたばかりである。したがって、新幹線なみの高速排雪技術、排雪抵抗、その際の積雪の応答や飛雪特性、とくに衝撃力などに関するわれわれの知識は、ほとんどゼロに等しい。この種の問題解明には、上越・東北両新幹線計画に関連して、2年前から鉄道技術研究所が乗りだしている。

2. なだれの研究

1949年以来、雪国鉄道電化の雪害対策を目的として結成された鉄道電化協会・電線路雪害対策研究委員会(中谷宇吉郎委員長)の下に、おもに塩沢雪実験所において冬期間、筆者は電線着雪、スリットジャンプ、冠雪、平地積雪層と沈降力、斜面積雪の変形・流動と雪圧、雪塊衝撃力、という順序で積雪の諸現象について観測を積

み上げてきた。その後半では、予知・予防・防護等なだれ対策の手がかりとなる研究にも手をつけたが、当時まだ未開の分野に属していた、なだれ現象全般については問題が大きすぎるという理由で、委員会の項目からはずされた。したがって、本格的な研究は枝折峠の人工なだれ実験（1957年）以後である。

その頃、わが国のなだれ観測記録は、運動状態はもちろんのこと、なだれ跡など静的状態に関するものもごくわずかで、しかも客観性にとぼしく、なだれの実態認識でさえ不十分であった。また、近代積雪およびなだれ学の端緒となった、チューリッヒ工科大学一派のダボスにおける業績（1930年代）はほとんど紹介されず、登山関係文献に現われた諸外国のなだれ知識も、それ以前の古いものばかりであった。要は、なだれ現象に関するわれわれの知識を正確かつ豊富にすることであり、とにかく多くの人達にその実態を認識してもらうため、なだれに關係する雪の諸現象を実際に観察・測定し、それをできるだけ客観的手法で記録することからはじめる必要があった。その観測や実験に立合わなかった人達が、いつ、どこでもなだれ現象そのものを実感しうようにするためには、写真・映画・録音といった記録方法がすぐれている。

なだれを研究するなどという、そんな基礎的なことより、もっと実用に直結した研究をやれといわれた時代だから最初から大々的に観測をやるわけにはいかない。

なだれ運動には、土石流のように斜面そいに流下するものばかりでなく、大雪煙を伴うものも存在することは欧米文献中、証拠写真で知ってはいたが、わが国の低標高地域で身近な全層なだれの大部分は前者（流れ形）で

あることを考慮し、その構成要素である雪塊の衝撃力の研究からはじめることにした。3個の動的磁歪式雪圧計で支持した鋼製受圧板に、雪質と長さ（45～120cm）の異なる雪塊（断面積 $45 \times 45 \text{ cm}^2$ ）を、雪樋の滑り台で速度5～20 m/secの範囲に加速して衝突させ、そのときの衝撃力オッシログラムをとると同時に、雪塊の衝突・飛散状況（写真-2）を16ミリ映画（64コマ/sec）に記録した。この実験は、越後川口駅構内の斜面で新潟鉄道局雪害対策委員会（古川巖）らと協同行なされた。その結果、衝撃力オッシログラムは、衝突中おおむね一定値を保つ後続衝撃力と、最初の2/100 sec間に現われるピークとからなり、前者は雪塊の断面積・密度・速度2乗の積に比例する、単位時間内運動量変化に等しいことを実証した。ピーク値のほうはその数倍で雪塊の破壊強度に關係するが、この程度の粗雑な実験では解析不能であった。しかし、この成果を使ってなだれ衝撃力を推算する場合、雪塊群流であっても、流速が既知であることが前提である。また、前述のとおり、大雪煙を伴うなだれ運動もあり、その速度も破壊力も非常に大きいとされている。そこで、異種類のなだれ、とくに高標高地域に多い大規模な表層なだれ等を多数観察する必要があるが、これを自然なだれに期待することは無理である。なだれが自然発生する場所と時刻を適確に予測できるなら、いままさら研究する必要はない。しかし、まったく不可能というわけではなく、多量降雪時とか異常高温時とか、大体起こりそうなきを予想することはできる。そこで、自然発生危険度の高まっていそうな急斜面上積雪に爆発など人的刺戟を与え、予定時刻になだれを起動できれば、発生機構や運動形態・速度・衝撃力などの測定が初めて可能になるし、またその起否による発生危険度の検査法も確立されよう。

以上のような目的で、1957年と1958年の冬、奥只見発電所工事に着手した電源開発（株）と、なだれ音集録を計画中のNHKとの協力を得て、海拔1200mの枝折峠付近における人工なだれ実験を開始した。すでに積雪に対する火薬爆発の威力、たとえば切断効果等を知るため、11回の子備爆破試験で、薬量と爆破孔直径との關係を求めた。次に、塩沢の気象・積雪観測値から条件にあう実験日を予測し、当日早朝小出駅に集合、電発のジープとスキーを乗りついで枝折峠に登り、風下急斜面を対象としてその上部稜線沿いに張り出している雪庇を爆破切断するため風上背面に装薬する。観測班は向い斜面上の安全な場所に陣どり、合図を送って爆破させ、その後の経過を観測・記録したのち、発生点付近の積雪断面も調査する、という一連の作業をいくつかの斜面で行ない、夕方スキーで下山する。このような日帰り実験を2月中数回繰り返した。最後に3月上旬、奥只見地域で約



（雪の飛散状況を示す）

写真-2 雪塊衝撃実験



写真—3 人工なだれ破断面上で貫入抵抗を測定する

2 m の新積雪を見た機会に約 1 週間のとまり込み実験を行なった。予想どおり、わずかな火薬量で最大崩落量 10 万 m³、全長 1 km という大規模な面発生乾雪表層なだれ(写真—3)の誘発に成功し、従来猟師や登山家以外の一般にはなじみの薄かったこの種のなだれの実態を初めて 16 ミリ映画に記録することもできた。枝折峠における人工なだれ実験回数は 16 回である。

翌冬(1959 年)はまれにみる異常寡雪で、約 70 m²の低温実験室を備えた塩沢雪実験所の新築工事が完了した。その次の冬から 4 冬期間、新潟鉄道局らの協力を得て土樽の清水トンネル出口に向い左側の全長 500 m、勾配 35° の高平という三角斜面において、毎冬 3 回の人工なだれ実験を展開した。頂上の雪庇または急斜面上積雪を爆破して人工的に雪の流れをつくり、その後のなだれ運動の消長・形態・速度・衝撃力と、走路面の雪質との関係を測定した。そのため、計 50 名の測定・作業各職員や、距離標識・杭・柵・Snow shed の模型屋根・形態測定用カメラ等を試験斜面上に、また実験本部や速度測定用定速回転 16 ミリ撮影機は対岸の台地上にそれぞれ配置し、厳正な指揮系統の下に作業をすすめ、なだれ運動の実態につき多くの知識が得られた。たとえば、走路面が軽い新雪やぬれざらめ雪の場合、なだれ運動は助

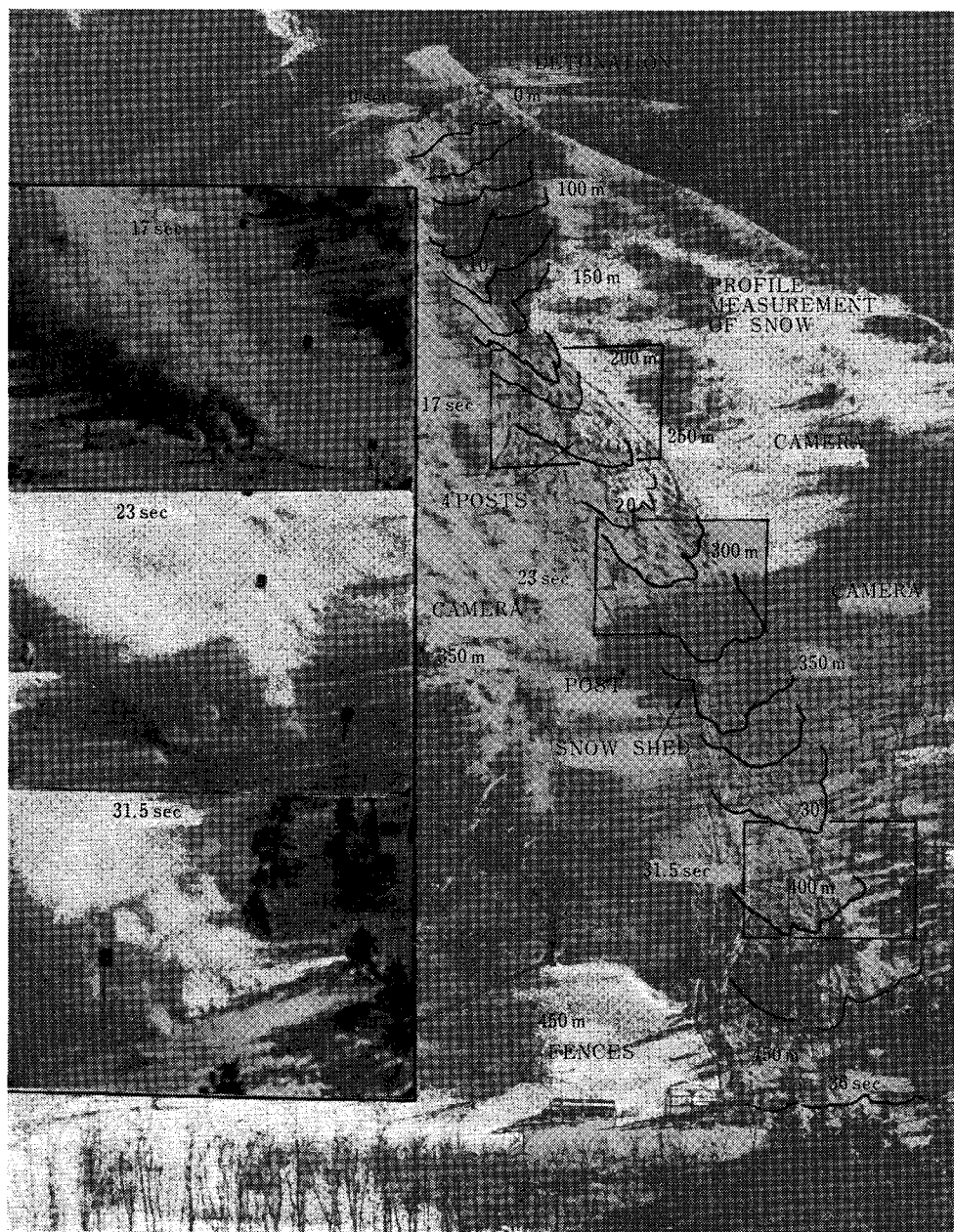


写真—4 走路表面が軽い新雪の場合に起こる煙り形運動

長され、その形態はおのおの煙り形(写真—4)と流れ形で、この斜面で実測された先端速度はおのおの 20, 16 m/sec 以下、また最初の 100 m 以内で終速度に達している。しまり雪の場合はエネルギー吸収が過大で雪流は分散消滅した。東京や新潟の観測者たちを実験日前に現地に集合させるため、事前に好条件の日を予測して連絡しなければならない。とくに軽い新雪走路面を対象とする場合は、相当量の新雪が変質せずに保たれ、しかも実験時刻には鮮明な写真測定に必要な斜め半逆光照射というきびしい条件にしばられるから、土樽では前夜まで降雪、当日早朝から晴天という日の朝 10 時までには実験爆破しなければならない。このような実験日を 3 日前に予測するため、毎日の気象や天気図を監視しつづけることは、かなりの苦勞である。幸い、1 冬目は爆破時刻が遅れて変質したが、2, 3 冬目はうまく実験日を選ぶことに成功した(写真—5)。

なだれのようなほとんど未知の自然現象の解明には、相当長期にわたり研究成果を積み上げなければならないが、鉄道技術研究所も他の大学以外の研究機関と同様、長期研究を嫌う傾向がある。幸い、雪寒法などで道路のなだれ対策が切実になった建設省では、土樽 4 冬目の実験引継ぎ以後、国道 17 号沿いの三俣と 18 号沿いの妙高とに試験斜面を設定し、より工学的立場から人工なだれ実験を継続してくれることになった。三俣では幅広杭や壁体に作用する衝撃力や、なだれ流の厚さの測定を、妙高ではデブリ分布の写真測量や、なだれ砲開発など新しい試みを加え、建設省北陸地方建設局や同土木研究所の手で毎冬、研究の積み上げが続けられてきた。また、この長期研究の間に育成された雪害となだれ対策専門家グループは、スイスなだれ対策仕方書の翻訳や防雪工学ハンドブック(日本建設機械化協会)の編さんを遂行し最近では空中写真による危険率評価法も含め、高速道路のなだれ対策計画などにも貢献している。

土樽実験 4 冬目は昭和 38 年豪雪の年である。1 月下旬裏日本平野部を襲った異常豪雪は、あらゆる交通機関を大混乱におとし入れた。沿線のなだれ災害防止のため国鉄本社では秋田から米子に至る積雪地全域に配置したヘリコプターによるなだれ監視法の確立とその組織づくりを筆者に命令した。そこで 2 月一杯、新潟局を振り出しに全国 17 危険線区を乗継ぎ飛行して各局や現場の指導にあたりると同時に、過去の有名災害地点を空中斜写真に記録収集することもできた。ひき続き科学技術庁の依頼を受け、3 月一杯は塩沢雪実験所構内に常駐させたヘリコプターを用いて、おもに全層なだれ発生過程と気象経過との関係を調べ、たとえば気温の曇雨天型日変化の場合、雪割れ目開口運動が激しくなり発生危険が高まることなどを実証した(写真—6)。この受託研究はさら



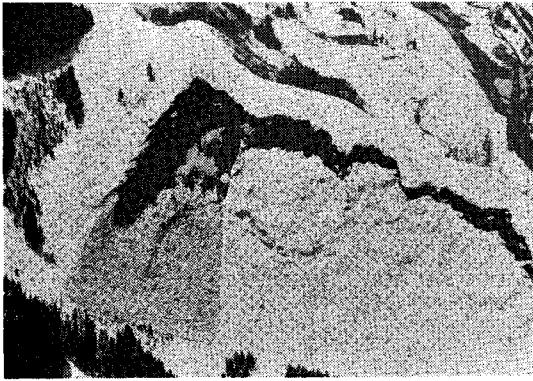
(第1回目の煙形運動形態と速度の測定結果。爆破後2秒ごとのなだれ流先端位置と、17、23、31.5秒目に記録した運動形態)

写真-5 土樽における人工なだれ実験

に2冬継続し、海拔2000mの利根川源流域において、いろいろな種類と規模の新雪系表層なだれ跡を多数写真採集記録する一方、手頃な面発生表層なだれ跡に近い稜線上に着陸してすべり面積雪を切りとり(写真-7)、低温室に持ち帰ってその氷網構造を薄片調査記録する方法を確立した(写真-8)。なだれの巣のようなこの観測地域は塩沢から数十分の飛行距離にあり、ヘリコプターの行動の迅速性・自在性と写真記録の客観性を最大限に生かし、雪が降り止んだ直後の晴天日には必ず観測飛行を

行ない、従来の地上調査とは桁違いに豊富かつ確実ななだれ知識を収集し得た。すなわち、ヘリコプターは、なだれ研究に欠かし得ぬ観測機具であり、その後も電力会社などの好意により、毎冬観測記録の蓄積を続けている。

人工なだれやヘリコプター観測の研究成果は日本雪氷学会のなだれ新分類とともに、1965年春ダボスにおける国際なだれシンポジウムに発表、翌年札幌で開催された国際雪氷会議で R. Haefeli, L. Krasser, K. Lossev, L. Gold, A. Judson ら欧米の専門家が来日すると、と



(長い斜面ほど早く崩落している)
写真-6 全層なだれの発生過程

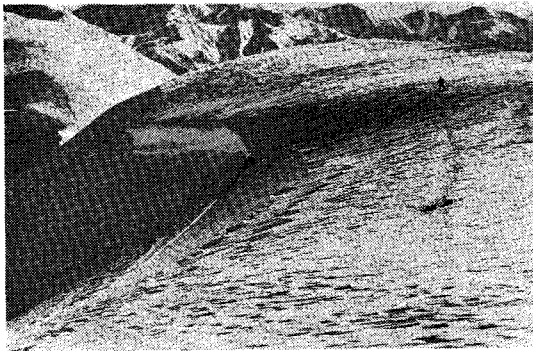
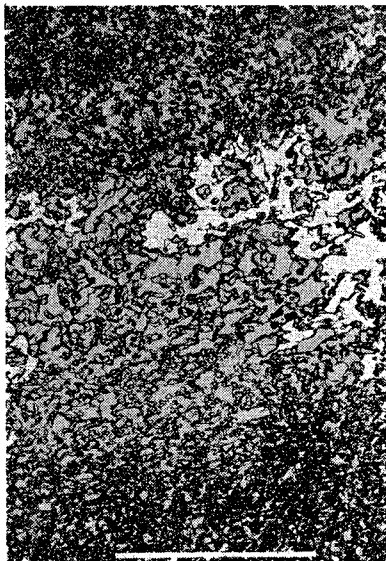


写真-7 面発生表層なだれの跡付近でザイルによるすべり面積雪採集作業をしている所



(中央の厚さ 1cm ほどの粗なる部分が、日射により大粒化した典型的なすべり面。下端の白線が長さ 1cm である)

写真-8 ヘリコプターで採集した表層なだれすべり面の積雪氷網組織

きを切ったように国際交流が盛んになり、スイス国立なだれ研究所の M. de Quervain 所長、B. Salm 室長、ア

メリカ合衆国の E. LaChapelle 教授ら、この道の第一人者が隔年ごとに来日、わが国の研究者も渡航するようになった。その間、国際雪氷委員会なだれ分類作業部会が結成され、筆者もその一員として協力している。1969年と1970年の冬、ヨーロッパでなだれ大惨事があいつぎ同作業部会がパリで会合した結果、世界中のなだれ災害調査をユネスコが行なうこととなり、科学技術庁・雪害実験研究所が、わが国のそして将来は東洋地区の情報センターに指定された。

なだれ地形の写真測量は最初なだれ実験計画に際して試験斜面に適用されたが、積雪撮影の垂直写真に記録されたなだれ跡の地形解析は、道路の雪害対策につき建設省の研究助成を受けた日本鋼管(株)が東洋航空に撮影・図画させた国道17号線沿い空中写真にはじまる。1月末から降雪継続中約10日間の待機後、初の晴天日(1962年2月5日)に撮影飛行させた結果、予想どおり煙り形運動の痕跡を伴うなだれ跡も記録され、うち典型的なものを図化・公表した。翌冬の昭和38年豪雪で各機関の積雪期空中写真撮影が行なわれると、この方法は、各大学・官公庁・民間で採用され、写真測量専門家の手で改良が加えられた。

科学技術庁は北陸全域を垂直撮影し、さらに2冬魚野川・破間川流域を空撮したが、その判読・解析を担当した国土地理院では、全層なだれ跡を記入した大野地方の勾配別色分け地図など数種類のなだれ分布図を発表した。この方法は、その後の北陸・東北高速道路計画のための写真調査にも利用されている。本州の積雪線区全域を独自で空撮した国鉄でも委員会を結成し、東大生産技術研究所などの指導で、2年間、なだれの写真判読法の研究が続けられた。国道17号線の改修と雪害対策をすすめていた北陸地方建設局では、国道沿いの積雪期空中写真撮影を数冬期間継続し、対策計画への利用方法の開発に尽力した。最近では関越高速道路の防雪計画をより完全なものとするため、電算機を利用して空中写真による、なだれ発生・到達危険率評価方法の改良が強力にすすめられている。他方、1968年2月、表層なだれによる東京電力超高压送電鉄塔倒壊事故の機会に、地形解析によるなだれ被害判定の大倍率空中写真利用による改良も試みられた。

なだれ理論は、発生論と運動論とに大別できるが、地形・積雪・気象条件中の数多い並立因子に支配される複雑な自然現象であるから、近似理論を骨組みとし、実験観測結果と照合しながら逐次改良と拡張をすすめるより仕方がない。なだれの起否は、直接的には積雪層内部各点における強度と応力との大小関係で決まり、気象条件は大体において積雪の変質をととして影響するから、地

形と積雪の両条件が主体である。筆者は枝折峠で観測し得た面発生表層なだれの発生過程を参考に、Haefeli 雪圧論を修正した応力分布の近似理論を組立て(1958年)、その後年々蓄積される実験や観測結果を取り入れながら数回改良と拡張を行ってきた。また、Voellmy や Salm の運動理論と空中写真解析から導びかれた到達危険率評価法(坊城)は、未完成ではあるが実測値と比較検討すべき段階に達している。

昭和 38 年豪雪を契機に、下記の研究施設も続々と誕生した。林業試験場山形分場(釜淵)に治山工法試験斜面ができ、同年 4 月に北大低温科学研究所の雪害部門が新設され、3 年後には問寒別のなだれ観測実験所を完成、日高や札内川の災害なだれ調査や積雪内部変形の精密測定、最近では人工なだれ実験も試みられた。防災科学会議を通じ、北陸地方でもこの分野の研究がはじめられた。1965 年頃から若林は北海道のなだれ跡の観測記録を続け、その実態を明らかにした。他方、科学技術庁の雪害実験研究所が 1964 年末長岡市に開設され、2 年後に地下観測室付試験斜面が完成し、現在その発生機構の研究がすすめられている。前年の釜淵に続き、先冬長岡と東電の大島の両試験斜面で成功した茅張斜面上グライド実験は、全層なだれの解明に大きな一歩を踏み出したといえよう。(荘田)

3. 東北、上越新幹線の雪害対策

(1) はじめに

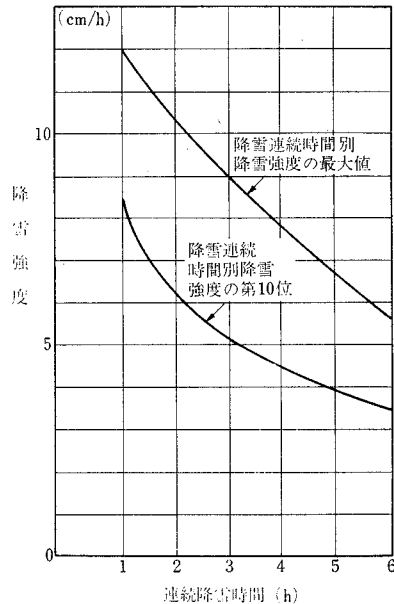
東北、上越新幹線は昭和 46 年 10 月 14 日に工事実施計画の運輸大臣認可を受け、同年 11 月 28 日同時に着工、昭和 51 年度中の完成を旨として鋭意工事中である。この東北、上越新幹線は東海道新幹線とは異なり、本格的な寒冷・降雪地方を通過するので、抜本的な雪害対策が重要な課題である。そこで国鉄ではとくに委員会を設け、広い範囲にわたって組織的に各種の調査・研究開発を進めてきている。これは、東海道新幹線が開業以来、関ヶ原付近のわずかに数十 km の降雪地帯で、しかも数十 cm 以下の雪にさんざん悩まされ、「雪に弱い新幹線」といわれた経験から、今後の新幹線においては高速運転に伴う雪害対策が、いかに重要であるかが認識されている証拠である。

(2) 降積雪等の気象条件

盛岡までの東北新幹線沿線の降積雪は北上、盛岡付近が最も多く、東海道新幹線の多雪区間である米原付近とはほぼ同じで、最大積雪深が 50 cm 程度、降雪日数が年 30 日程度である。福島付近がこれに次いでおり、他の

区間はさらにこれ以下である。気温は冬期 4 か月の平均気温が北上以北では 0°C 以下であり、その他の区間でも東海道新幹線沿線よりは低い。新白河以南については降雪は少なく、問題はないものと考えられる。

上越新幹線沿線の降積雪は上毛高原より北では相当に多く、最大積雪深が 50~300 cm、降雪日数が 30~60 日である。そのうち、上毛高原一長岡間の山間部が降積雪は多いが大半はトンネルであり、問題となるのは越後湯沢、浦佐およびその他数箇所である。したがって、長岡一新潟間が主たる雪害対策を要する区間である。しかし山間部に比べると降積雪は少なく、新潟へ向ってさらに少なくなっている。最大積雪深は長岡で 150 cm、新潟で 50 cm 程度である。なお、塩沢での観測(荘田博士による)によれば 10 cm/h 以上の降雪強度は 2 時間程度、5 cm/h 強の降雪強度は数時間程度しか続かないことが確かめられており、雪は断続して降るのが実情といえる(図一2)。



- (1) 1時間ごとの観測による。
- (2) 国鉄塩沢雪害実験所において 1952~1953 年の間に測定した。

図一2 連続降雪時間と降雪強度

(3) 高速運転に伴う雪害対策の考え方

鉄道における高速運転の場合、東海道新幹線の経験によってわかったことは、200 km/h という高速で走行した場合には列車風(約 60 m/sec)によって舞上がった雪が車両機器内に侵入することのほか、とくに床下機器等に付着してこれが比較的暖い区間に入ったとき融けて落下し道床砂利をはね飛ばし車両等を破損するという現象が起こることであった。原因がわかってからは

表-1

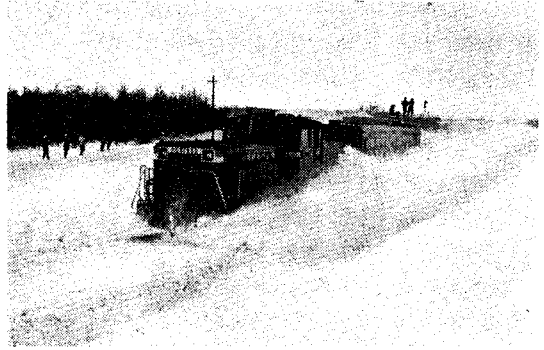
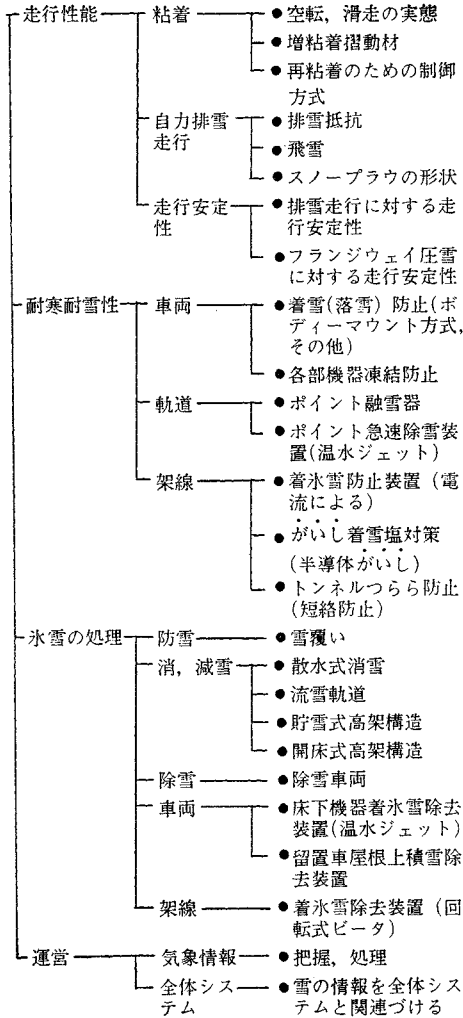


写真-9 実車による排雪走行試験

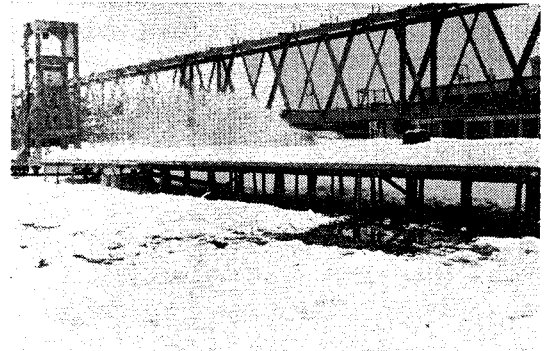


写真-10 模型による排雪走行試験

項目について概略を述べる(表-1 参照)。

a) 走行性能

まず、車両の走行性能の面では、降積雪区間を走行する場合、車輪とレールの間の粘着がどのくらいまで期待できるかの問題、営業電車にスノーブラウ(排雪器)を取付け、どのくらいの雪まで排除しながら高速走行できるかの問題、またそれに伴う走行上の安定性の問題がおもな解決すべき点である。これらに関連した実車試験(写真-9)および模型試験(写真-10)を実施しているが、排雪抵抗、飛ばした雪が周囲に及ぼす影響(飛雪圧)等、過去に例をみない試験でもあり、重点的に研究を進めている。

b) 耐寒耐雪性

次に、車両の面からも地上設備の面からも本格的な耐寒耐雪性についての検討が重要である。

東海道新幹線では、前述のとおり降積雪区間を高速で走ると、車両の床下機器に付着した雪が線路に落下し、道床砂利をはね上げ車両を破損するという事故が起これりその対策として散水によって雪を湿らし、舞い上がらないようにして車両に雪が付着するのを防止するという策を講じた。しかし、これからのきびしい寒冷、多降雪地に対しては、おのずからこの対策にも限界があることは明らかである。

このため、本格的耐寒耐雪車両として雪があまり床下

各種の試験研究を行ない、スプリンクラー等によって雪を湿らし、舞い上がりにくくすることを主体に、速度を制限して舞い上がりを少なくする、もよりの停車駅で雪を落とす等の処置をとることによって一応対処できるようになったが、この間の経験は今後の新幹線計画にとって、きわめて貴重なものとなった。

今度の全国新幹線網の雪害対策の基本的な考え方を決めるにあたっては、

- ① 既往の具体的雪害事象の要因分析、
- ② 将来の新幹線網における雪害上の問題点の抽出、
- ③ 想定されるこれらの問題点に対する対策、

というように、段階的に検討をすすめて、問題点の整理をしてきた。全世界的にみても本格的降積雪区間を常時高速運転している例は非常に少ないので、あらゆる角度から分析・検討し、それらの結果を総合的にまとめなくてはならない。次に現在まで調査研究をすすめてきたおもな

に付着しないボディマウント方式を研究している。そのほか、車両構造上ドアの凍結防止や各種機器冷却風取入方式等についても対策研究を進めている。

一方、地上設備としては、いままで開発してきたスラブ軌道をさらに耐寒耐雪性を考慮したものとするべく研究中である。

既設線における雪害の中で大きな要素となっている分岐器については、分岐器上の雪を最も効果的に融雪し、また車両からの落雪を急速に除去して分岐器の転換をスムーズにするため、各地の気象条件に最もマッチした分岐器融雪装置を設けるべく検討中である。

架線については、冬期寒冷地方でトロリー線への着氷雪の問題がある。ソビエトなど外国ではしばしば問題となり種々対策が研究されているが、わが国でも近年ときどき経験させられている。この問題に対する最も積極的な対策は、着氷雪が予想されるとき、トロリー線に動力電流は別に着氷雪防止電流を流し、そのジュール熱を利用してそれを防止しようとする方式であり、ソビエト等で実用化されている。一方、一度着氷雪の生じた場合のために、機械式着氷雪除去装置も開発されており、軽度の場合が一番先頭のパンタグラフは無集電とし、これで機械的にこすりながら着氷雪を落としてゆく方式もヨーロッパなどで用いられている。

c) 氷雪の処理

地上設備として完全防雪の立場だけからいうと、雪おおいを設けるのが一番望ましいが、種々の条件を考えれば、雪おおいが雪害対策として常に最良の方法とはいえないと思われる。しかし、既設線の雪害を考えてみると切取りを中心とした吹だまりによるものが、かなりの割合を占めている。このことを考えると、トンネルの前後とか切取りで吹だまりあるいは、なだれのおそれのある箇所は、相当部分雪おおい構造を採用することになると考えられるので、その設計荷重・構造等を研究(写真11, 12)している。また、東北新幹線程度の積雪に対しては、場所により切取幅を大きくとり、線路から排除さ



写真11 雪おおいの試験

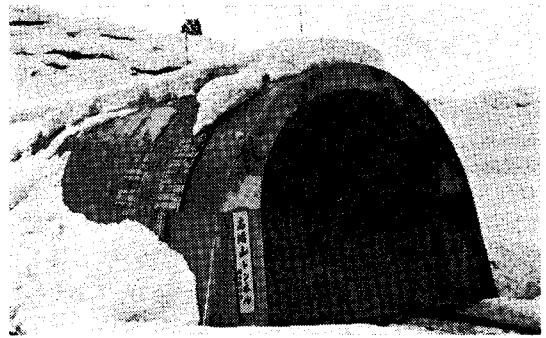


写真12 スノーシェッドにかかる雪圧の測定

れる雪とのり面から崩落する雪をためるための空間を確保することで対処できる箇所もあろう。

とくに駅部については東北新幹線の北部の若干の駅、上越新幹線の上毛高原以北の全駅に、旅客のサービスも考えて雪おおいを設ける計画である。その場合、とくに多雪地方では、市街地でもあるので雪おおい上の雪の処理は大切で、各種の消雪方式を研究中である。

また、降った雪がなるべく軌道付近にたまらない構造にして、車両が走行しながら排雪してゆく量を少なくしたほうが望ましいので、この目的のため貯雪式高架構造とか散水式消雪軌道等を研究中である。

貯雪式高架構造は、軌道スラブの下に積雪深に応じて必要な高さのコンクリートの台を設けることによってできる線路わきの空間を利用して、軌道上より排除した雪をためることができようにしたものである(図3)。東北新幹線の平年の最大積雪深が50cm程度の区間については、この構造が主体となろう。

散水式消雪軌道は、道路において長岡等ですでに利用され、効果をあげているのと同じ方式のもので、鉄道でも長岡に若干の実例がある。上越新幹線の多雪区間には主として散水式消雪を計画しており、水源としてはトンネル湧水のほか河川水および循環(いずれも加熱を要する)を考えているが、今後相当の延長にわたり経済的に使用できるよう研究開発をすすめていく必要があり、水利権に関する調査検討をも、あわせてすすめていく考えである。次に、架線がおもに被害を受ける対象であるがつらら発生防止も重要である。建設時に極力つららの原因である漏水防止につとめるとしても、漏水は止むを得

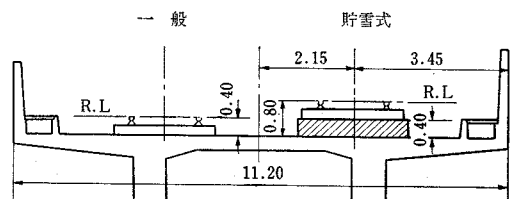


図3 貯雪式と一般方式の比較

ないものと思われるので、漏水がつらら発生に至らないような対策を種々研究している。

以上のように、車両、地上設備あいまって雪に強くする方法を種々考えたとすれば、日本の豪雪地帯であっても降雪強度というものは、前述したとおり通常1時間に十数 cm 程度が最大であるというのが過去の統計による実績であるから、主として吹きだまり箇所に対する対策を十分に考えれば、完全な耐寒耐雪車両が1時間ぐらゐの間隔で高速走行することは十分可能であると考え、それを目標としている。

東北、上越新幹線とも、前記のような対策を施すことによって、通常は除雪車による除雪は必要がないものと考えている。夜間運転休止時にある程度降雪があることが考えられるが、これについては地域別の雪処理の問題もあり、フランジウェイ部の踏み固められた雪の除去とあわせて研究中である。装置の故障や異常豪雪に対しても対策が必要であり、地域別の具体的な除雪方法は今後さらに検討する予定である。

d) 運営保守

東海道新幹線においては、風速、雨量、地震の情報を全体の運営システムの中に組み入れているが、東北、上越新幹線については、以上のほかにとくに雪に関する情

報をも加えて、いかに総合化して全体運営システムと関連づけるかが今後の研究課題である。とくに降積雪の信頼度の高い検知方式の研究をすすめている。

(4) おわりに

以上が現在までに検討をすすめているおもな雪害対策である。今後は計画された路線について、それらの結果に基づいて設備等の諸対策を具体的に、いかに組み合わせ適用していくかが問題である。

この場合、地上設備としてなるべく除雪量を少なくすることと、車両として雪の中における列車の走行性能の向上をはかって、サービス度と投資額との関連を考えながら、将来の列車運行の全体システムとして最も適切な雪害対策を決めてゆかなければならないと考えている。

(宮本)

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会：防雪工学ハンドブック，p. 268，1968.
- 2) 日本建設機械化協会：道路除雪ハンドブック，改訂版，p. 219，1971.
- 3) 荘田幹夫：なだれ研究の傾向，雪氷，30-6，p. 20～27，1968.
- 4) 荘田幹夫：雪と鉄道，鉄道技術研究資料，27-2，p. 82～85，1970.

現場実務に役立つ工事設計便覧!! 発売中

現場技術者のための
土木構造物設計計算マニュアル

高田武雄著
B 6 判
230 頁
定価 780円
《内容見本呈》

1. 土工／機械土工計画・軟弱地盤盛土の圧密沈下他 2. 土止め壁と排水工／展開図法の要点他 3. 基礎工／鋼欠板一重締切り工・工事用仮橋他 4. トンネル／覆工断面の設計他 5. 図表によるコンクリートの配合設計図と品質管理／配合設計の基礎・配合設計法ほか

改訂増補 **河川管理の理論と実際** 西川 喬編 1800円

クレーン 移動式クレーン 運転マニュアル 江村勇祐著 880円

土地区画整理測量の実際 高橋忠藏著 1800円
別冊：数表ならびに計算書

地すべり・斜面崩壊の実態と対策 山田剛二 渡正亮著 小橋澄治 3000円

●広範囲にわたる土木用語を系統的に解説した最新版!!
解説 土木用語集 測量・材料・土質・施工機械・施工・道路・橋りょう・鉄道・トンネル・河川・港湾・ダム・下水道ほか
土木施工編集委員会編 1300円

山海堂 東京都新宿区細工町15(☎162) 振替東京194982 ☎269-4151

鉄道70年
鉄路の闘い100年

鉄道防災物語 ■ 国鉄防災一〇〇年史編纂会編

：死と直面した災害警備
体力の限界を超えた応急作業
未開の技術に対する挑戦
仲間たちの涙と感動：
線路を守り築いてきた
人々の一世紀間の記念碑

《推せん者》
八十島義之助(東大教授)
平岩 弓枝(作家)
中村 武志(作家)
磯崎 勲(国鉄総裁)

B 6 判 330頁 500円
絶賛発売中!!