

地域特性を考慮した北陸新幹線 長野・金沢間雪害対策

牧山 重友¹・長谷川 武利²・佐々木 養一³・浅見 均⁴

¹正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 富山工事事務所 (〒930-0856 富山県富山市牛島新町5番5号)

E-mail:sig.makiyama@jrtr.go.jp

²鉄道・運輸機構 富山工事事務所

E-mail:tak.hasegawa@jrtr.go.jp

³鉄道・運輸機構 富山工事事務所

E-mail:you.sasaki@jrtr.go.jp

⁴正会員 博士 (工学) 鉄道・運輸機構 富山工事事務所

E-mail: hit.asami @jrtr.go.jp

本論文は、平成27年3月14日に開業した北陸新幹線において採用された、沿線地域の特性に配慮した雪害対策の検討経緯及び対策内容を報告する。更に、北陸新幹線の雪害対策とエネルギー効率及び環境共生についての考察を述べる。

Key Words : Snow Disasters Countermeasures

1. はじめに

昭和39 (1964) 年に開業した東海道新幹線 (東京ー新大阪間) は、当初雪害対策を考慮していなかったところ、関ヶ原地区の降雪による雪害が顕在化した。東海道新幹線における雪害対策は、在来線での事例とは異なるもので、スプリンクラー散水により雪を濡らし、線路上積雪の舞い上がりを防ぐ対策が採られた (林¹⁾)。

昭和57 (1982) 年の東北・上越新幹線開業時には、長距離に渡り寒冷降雪地域を経由することから、東北新幹線では貯雪、上越新幹線では散水消雪を基本とする雪害対策が採られた (林¹⁾、田村ら²⁾)。

上越新幹線での雪害対策は、河川から取水した水を加熱し、散水した消雪水を回収して再利用する、加熱循環式の散水消雪を採用している (高薄³⁾)。同方式は、豪雪地帯の新潟県下においてもきわめて安定した効能を発揮しており、上越新幹線においては雪害が原因となる列車運休はほぼ皆無のまま現在に至っている。

新幹線における個別具体の雪害対策に関する既存の研究は、比較的短距離で地域特性が類似する対象を取り上げたものが多い (例えば野口ら⁴⁾、飯倉ら⁵⁾)。

ここで北陸新幹線長野・金沢間 (以下“北陸新幹線”

と略す) は、工事延長約231kmと長距離の建設工事となるうえ、内陸部の長野県、日本海沿岸の新潟・富山・石川県と4県に跨り、それぞれの降雪・積雪に関する地域特性は異なっている。

本研究は、個別具体の雪害対策にのみ着目するのではなく、北陸新幹線全体の雪害対策を俯瞰する初めての研究となる。すなわち、北陸新幹線における雪害対策は降雪・積雪の地域特性に良く対応しており、エネルギー効率に優れ、かつ冬季の安定輸送に寄与するものであることを示すものである。

2. 北陸新幹線の概要

北陸新幹線は、新幹線開業による国民経済の発展及び国民生活領域の拡大並びに地域の振興に資する目的である全国新幹線鉄道整備法 (昭和 45 年 5 月 18 日法律第 71 号) により、上信越・北陸地方を経由して東京都と大阪市とを結ぶ新幹線鉄道であり、地域の発展に大きく寄与する重要路線である。(図-1)

このうち、高崎・長野間 (東京・大宮間は東北新幹線、大宮・高崎間は上越新幹線と兼用) は長野五輪に

合わせて平成9年10月に開業している。

今回開業となる長野・金沢間については、まず平成4年8月に石動・金沢間、翌5年9月に糸魚川・魚津間をそれぞれ新幹線鉄道規格新線（スーパー特急）にて認可を受け、着工した。

その後、平成10年3月に長野・上越間、平成13年4月に上越・富山間、平成17年4月に富山・金沢間、平成18年4月に白山総合車両基地と、段階的に新幹線鉄道（フル規格）での認可を受け、着工した。

長野・金沢間は、工事延長約231kmで、長野県、新潟県、富山県、石川県の15市6町を通過する。

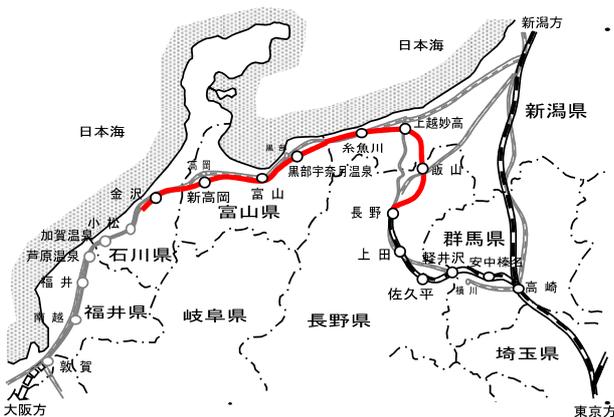


図-1 北陸新幹線路線図

3. 沿線地域の特性

(1) 冬季降雪を引き起こす気象状況

日本海側の冬季降雪のメカニズムを概説する。

寒冷な大陸上でシベリア高気圧が発達し、同時に、寒冷なシベリア気団が形成される。日本の東方海上で低気圧が発達すると、シベリア高気圧との間に大きな気圧差が生じ、シベリア気団から寒気が冬季季節風として流れ出る。温暖な日本海から大気中に大量の顕熱と水蒸気が供給され、気団変質が生じる。気団変質に伴い雪雲（筋状の雲）が発生し、それが日本列島に達することで、日本海側の沿岸部に降雪をもたらす。但し、この雪雲（筋状の雲）のみで数メートルに達する積雪となる降雪が生ずることは少ない。

積雪量が多くなる主な要因として、季節風的作用と脊梁山脈の存在がある。日本海に面した北陸地方の南部には飛騨・木曾・赤石山脈等を有する地形であり、北部には三国・越後山脈や飯豊・朝日山脈等が縦断する。気団変質した空気が季節風により脊梁山脈を上昇（地形性上昇）することにより積乱雲を発生させ、山間部に降雪をもたらす山雪型と呼ばれる気象状況及び季節風が一時的に弱まり、風向きが西風となった時に沿岸の平野部に降

雪をもたらす里雪型と呼ばれる気象状況がその原因とされている。なお、これら脊梁山脈によって、日本海側の北陸地方と太平洋側の関東地方及び中部地方とが分断された地形となっており、この地形状況が、降雪となる北陸地方と、乾燥した晴れの日が続く太平洋側平野部との全く異なる気候を冬季において生む要因にもなっている。

図-2、3、4及び5に沿線地域にある気象台の過去に観測した年度毎の最大積雪深を示す。また、平均積雪深とは、1981年から2010年までの気象庁が管理する観測データである。（気象庁⁹⁾これは、長野駅近傍にある長野気象台、上越妙高駅近傍にある高田気象台、富山駅近傍にある富山気象台及び金沢駅近傍にある金沢気象台の観測データである。この表から、内陸側に位置する長野気象台の最大積雪深が60cmに満たないのに対し、日本海側の観測データでは、100cmを超過し、高田気象台では、300cmを超過する積雪深を観測した年もあり、日本海側と内陸側との冬季降雪の差異を示している。又、富山気象台と金沢気象台の観測データより、昭和38年及び昭和56年の突出した積雪深は、それぞれ38豪雪及び56豪雪と呼ばれる、主に北陸地方で甚大なる被害を発生させた降雪（以下、“18年周期豪雪”）による影響であり、平年の積雪量との違いが明確である。

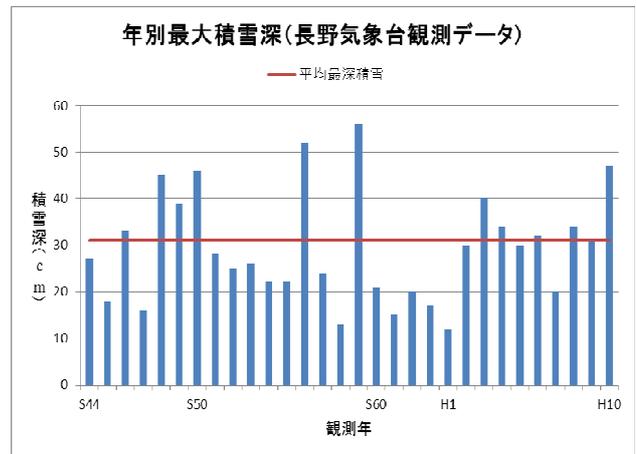


図-2 長野気象台観測データ (S44~H10)

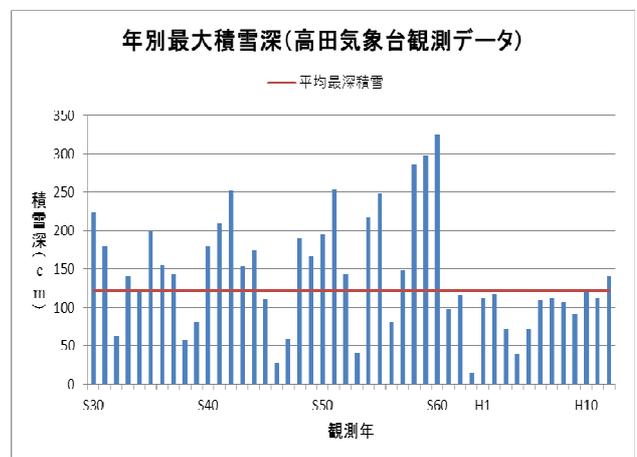


図-3 高田気象台観測データ (S30~H10)

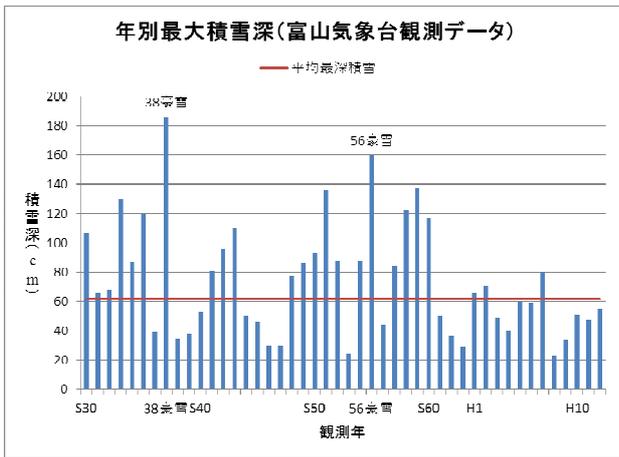


図-4 富山気象台観測データ (S30~H12)

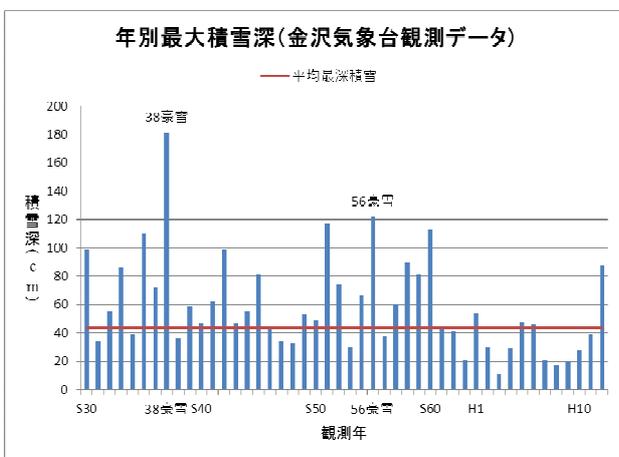


図-5 金沢気象台観測データ (S30~H12)

(2) 北陸新幹線の地域特性

北陸新幹線長野一金沢間は、区間延長228km、工事延長は231kmである。前述したとおり4県を通過し、今回開業区間では7駅が新設されている。

北陸新幹線の地域特性は、以下に述べるとおり大きく4分類に区分される。

(a) 長野一上越妙高間の地域特性

当該区間を通過する市町村は、長野県長野市、小布施町、中野市及び飯山市並びに新潟県妙高市及び上越市の山間部及び一部の市街地である。

この地域の最大の特性は、地域によって大きく異なる冬季降雪量にあり、日本海側と太平洋側との気候の違いが如実に現れる。日本海側にあたる、高田平野にある上越妙高駅付近及び長野県北部の山間部寄りである飯山駅付近は、季節風の影響による積乱雲による里雪型及び山雪型と呼ばれる気象現象により積雪量が多い。一方、それより南部の太平洋側寄りの平野部や長野盆地にある長野駅付近は、季節風の脊梁山脈越境効果により、積雪量

は比較的少ない。日本海側と太平洋側とで全く異なる気候作用が短い路線延長において顕著に現れる特性が強い。

停車場設備として、長野駅、飯山駅及び上越妙高駅があり、この区間の路線延長は約59,490mであり、構造比率は、トンネル約56%、高架橋約42%、橋りょう約2%となっており、雪害対策を実施する対象延長は約26,200mとなる。

(b) 上越妙高一黒部宇奈月温泉間の地域特性

当該区間を通過する市町村は、新潟県上越市及び糸魚川市並びに富山県朝日町、入善町及び黒部市の一部の市街地、日本海側の海岸部及び山間部である。

この地域の特性は、平野部、山間部及び海岸部と異なる地理を交互に通過するため、積雪量に大きな差があることである。山間部にある能生気象台、沿岸部に近い糸魚川気象台及び平野部にある魚津気象台の38豪雪及び56豪雪の最大積雪深によると、能生では133cm並びに207cm、糸魚川では100cm並びに90cm、魚津では130cm並びに166cmをそれぞれ観測しており、豪雪期を対象とすると山雪型の影響が里雪型に比べて強い傾向にあると考えられる。

この地域の山間部を除く土地利用状況は、糸魚川市内は宅地の占める割合が高い市街地を呈している。一方、富山県朝日町、入善町及び黒部市は、田園地帯の占める割合が高く、新幹線の通過する沿線に占める宅地の割合が低い傾向である。

停車場施設として、糸魚川駅及び黒部宇奈月温泉駅があり、この区間の路線延長は約76,250mであり、構造比率は、トンネル約49%、高架橋約49%、橋りょう約2%となっており、雪害対策を実施する対象延長は約39,000mとなる。

(c) 黒部宇奈月温泉一富山石川県境間の地域特性

当該区間を通過する市町村は、富山県黒部市、魚津市、滑川市、上市町、富山市、射水市、高岡市及び小矢部市の市街地である。

この地域は、東に標高3,000m級の飛騨山脈、南に飛騨高地、西に石川県との県境となる両白山地及び宝達丘陵に囲まれ、北は富山湾に面する富山平野にあたる。

気象状況については、富山新潟県境付近の山間部に比べ、積雪量は少ない。38豪雪及び56豪雪での最大積雪深は、それぞれ186cm及び160cmを富山気象台にて観測している。この地域は、18年周期豪雪の被害経験から公共施設及び公共交通機関における雪害対策として、散水消雪の比率が高く、その水源として、地下水への依存が高い傾向にある。

冬季の積雪量の分布は、黒部宇奈月温泉駅から富山石川県境にかけて、低下する傾向を示す。

この地域の土地利用状況は、黒部宇奈月温泉駅から新幹線を横断する河川のひとつである、一級河川常願寺川までは田園地帯の占める割合が比較的高く、常願寺川から富山石川県境までは、商業施設や宅地の占める割合が高い市街地を呈している。

停車場施設として、富山駅及び新高岡駅があり、この区間の路線延長は約71,720mであり、構造比率は、トンネル約8%、高架橋約89%、橋りょう約3%となっており、雪害対策を実施する対象延長は約66,000mとなる。

(d) 富山石川県境一金沢(白山総合車両所)間の地域特性

当該区間を通過する市町村は、石川県津幡町、金沢市、野々市市及び白山市である。

この地域は、犀川等の河川により形成された合流扇状地の広がる金沢平野にあたる。冬季の気候として、山間部と平野部とでは積雪量に差が見られるものの、新幹線の通過する平野部の積雪量は少ない。38豪雪にて181cm及び56豪雪にて122cmの年最大積雪深を、金沢气象台にて観測している。しかし、これらの年以外の年最大積雪深は、平均して100cmを下回る状況である。

この地域の土地利用状況は、北陸本線、高速道路及び国道等の主要な交通網及び商業施設等の整備割合が高い市街地を呈している。

停車場施設として、金沢駅があり、この区間の路線延長は約32,500mであり、構造比率は、トンネル約22%、高架橋約76%、橋りょう約2%となっており、雪害対策を実施する対象延長は約25,350mとなる。

4. 雪害対策の検討経緯について

北陸新幹線の雪害対策の検討は、高崎・小松間の工事実施計画を認可申請した昭和60年12月から開始された。検討方法は、開業していた東海道新幹線、東北新幹線及び上越新幹線での雪害対策の状況等を勘案し、北陸新幹線の雪害対策として望ましい方策の検証が行われ、地域特性からみた積雪深を考慮し、内陸側は散水、日本海側は貯雪とする雪害対策の基本方針が定められた。特に、貯雪に関しては、富山県内に実寸大模型の貯雪式高架橋を施工し、冬期間の貯雪現象を調査し、貯雪式高架橋の基礎資料の収集が行われた。

北陸新幹線の建設工事は、平成4年8月及び平成5年9月の新幹線鉄道規格新線(スーパー特急)の認可による暫定整備計画に基づき進められた。認可区間である糸魚川市・魚津市間及び小矢部市・金沢市間のそれぞれの地域は、東北新幹線の通過する沿線地域と比較すると降雪量が多く、上越新幹線沿線と比較すると魚野川や信濃川に匹敵するような安定した供給水源が存在しないとい

う地理的状況にある。

このような状況下において当時、糸魚川市・魚津市間及び小矢部市・金沢市間は建設工事を進めるにあたり、具体的な雪害対策を早急に策定する必要に迫られていた。そのため、平成8年6月から平成10年3月にかけて学識者、鉄道運輸機構及び西日本旅客鉄道株式会社(以下、「JR西日本」)の関係者で組織する「北陸新幹線雪害対策委員会」を設置し、北陸新幹線の雪害対策の基本方針と同区間の具体的な雪害対策の検討が行われた。

その後、平成13年4月上越・富山間が新幹線鉄道(フル規格)により実施計画が認可となったことを受け、北陸新幹線雪害対策委員会での検討経緯を踏まえつつ、平成13年12月から平成15年3月にかけて「北陸新幹線雪害対策委員会(Ⅱ)」を設置し、上越・白山総合車両基地間について具体的な雪害対策の深度化が図られた。これにより、雪害対策の基本的な考え方、地域毎のサービスレベル(年最大積雪深)、設計年最大積雪深並びに設計日最大降雪量、貯雪式高架橋形式及び雪害対策高架橋貯雪量の雪害対策方針が定まった。

平成10年3月には、長野・上越間が新幹線規格(フル規格)の認可を受けた。この区間においても学識者、鉄道運輸機構及び東日本旅客鉄道株式会社(以下、「JR東日本」)の関係者で組織する「長野・上越間雪害対策委員会」を設置し、雪害対策の検討が行われた。これにより、同区間の雪害対策の基本方針が定まった。

平成17年4月には、富山・金沢間が新幹線鉄道(フル規格)の認可を受けた。北陸新幹線雪害対策委員会(Ⅱ)で定めた雪害対策方針のうち、既に整備が進む上越・富山間での事例を踏まえ、貯雪型高架橋形式の一部見直しを図った。具体的には、鉄道・道路交差部の貯雪型高架橋の許容貯雪量を更に増加させるため、貯雪型高架橋の構造設計の見直しを実施した。その結果、富山駅から富山石川県境までの区間にある鉄道・道路交差部について、新たな雪害対策方針が確立した。

5. 雪害対策の機能確認試験

北陸新幹線の雪害対策は、雪害対策委員会にて沿線地域毎に雪害対策方針が定められ、その検証を各雪害機能確認試験にて立証を得た後、整備が進められた。

その主な機能確認試験を以下の通りである。

- ・貯雪式高架橋機能確認試験(平成8年1月)
- ・機械式除雪車機能確認試験(平成8年2月)
- ・パネル融雪機能確認試験(平成8年12月)
- ・側方開床式高架橋投雪試験(平成9年2月)
- ・貯雪・除雪機能確認試験(平成22年3月)
- ・除雪試験(平成24年2月)

貯雪式高架橋貯雪機能確認試験（平成22年3月）では、JR西日本所管のJR高山本線猪谷駅構内において、試験線（軌道）を敷設し、実高架橋の模型（閉床式貯雪型高架橋、半雪覆式貯雪型高架橋、閉床式貯雪拡幅型高架橋及び側方開床式貯雪型高架橋）を設置し、雪害対策の機能確認試験を実施している。（写-1及び2）この試験により、糸魚川駅から金沢駅間の雪害対策の基本となる貯雪式高架橋の貯雪機能及び車両前方にラッセル設備、後方にロータリー設備を有するラッセル機能とロータリー機能を一台に集約させた除雪車（以下、”除雪車”）による投雪の検証試験を実施した。（写-3）

平成24年2月には、除雪車を用いた除雪確認を実高架橋（側方開床式高架橋）にて実施し、除雪時の高架下への影響及び投雪による防音壁への影響について検証した。（写-4）この試験にて、投雪作業により事業用地外へ一部の雪が飛散することが判明した。そのため、構造物の一部改良及び投雪方法の見直しを実施した。また、投雪による、防音壁に作用する飛雪荷重及び投雪荷重の確認を実施した。その結果、飛雪荷重の設計値 4.5KN/m^2 に対して実測値 1.15KN/m^2 、投雪荷重の設計値 20.0KN/m^2 に対して実測値 1.23KN/m^2 の試験結果から、設計値以内である確認も実施した。（図-6）



写-3 機械式除雪車



写-4 除雪試験状況（側方開床式高架橋）



写-1 雪害機能確認試験状況



写-2 貯雪機能確認試験状況

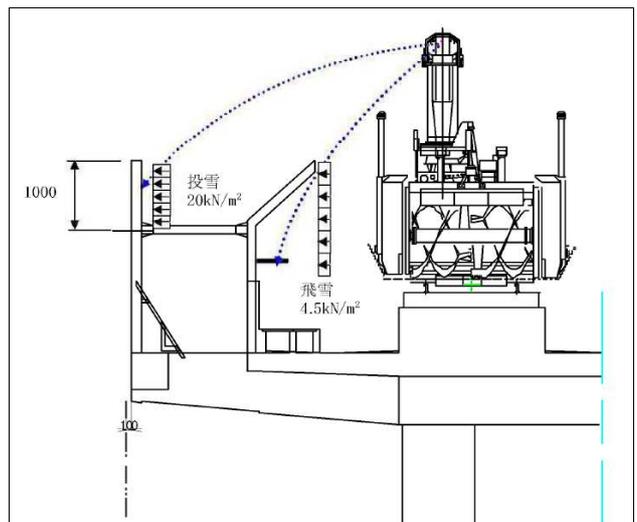


図-6 飛雪・投雪図（側方開床式高架橋）

6. 雪害対策の基本方針

(1) 雪害対策の基本方針

北陸新幹線では、季節の影響を受けない安定した安全輸送の確保により、鉄道的高速化、輸送力の拡大、定時制の確保及び利便性の向上が期待される。

沿線地域は、気象状況、地理的状況及び自然環境が一律でなく、かつ上越妙高駅を境としてJR東日本、JR西日本と営業主体が異なる運行体制である。

そのため、長野駅から金沢駅まで一律な雪害対策の実施は、地域特性と必ずしも合致せず、雪害対策の効率性から得策とは言い難い状況が生ずる懸念があった。

これらを踏まえ、北陸新幹線の雪害対策は、主に沿線地域の気象条件、土地利用状況及び水資源利活用状況を考慮し、雪害対策の根幹である散水消雪又は貯雪の選別を行う。更に、選別した雪害対策が効率的に機能し、かつ最大限の効果を発揮することを目的に多様な対策を適宜選定することとした。

(2) 基本的な考え方

雪害対策は、長野駅から上越妙高駅及び上越妙高駅から金沢間に分け、沿線地域の気象条件及び土地利用状況等を考慮して雪害対策の適宜選定を行った。

(a) 長野ー上越妙高間 (JR東日本管内)

豪雪地帯を通過する上越新幹線での実績を踏まえ、散水消雪によることとした。(写-4) なお、山間部におけるトンネル間の明り区間(以下、“瞬き区間”)のうち、積雪量が多く、かつその延長が短い区間については、スノーシェルターによる雪害対策とした。

(写-5)



写-4 散水消雪



写-5 スノーシェルター

(b) 上越妙高ー金沢間 (JR西日本管内)

この区間のうち、上越妙高駅から糸魚川駅までは、散水消雪及びスノーシェルターによる雪害対策とした。糸魚川駅から金沢間については、安定した散水消雪の水源が見当たらず、水源の確保が期待できないことから、原則として、高架橋上に雪を貯める貯雪によることとした。

(写-6)

貯雪の採用にあたり、貯雪容量を確保するため、路盤鉄筋コンクリートを通常 25cm の高さから 75cm へ嵩上げた貯雪式高架橋(東北新幹線 八戸ー新青森間で採用した貯雪式高架橋では 60.5cm)を開発した。

高架橋上に貯めることができる雪(以下、“許容貯雪容量”)を上回る積雪が予想される地域に対しては、除雪車にて高架橋外へ投雪させる機械式除雪にて補うこととした。なお、現地の状況等から高架橋外への投雪が不可能な場所については、融雪パネルを用いた融雪により補うこととした。(写-7)



写-6 貯雪状況(東北新幹線より)



写-7 パネル融雪による消雪状況

(c) 長野一金沢間の共通事項

軌道分岐器については、散水消雪及び高圧の温水噴射を利用した急速除雪設備による雪害対策と定めた。

軌道分岐器の可動レールへの貯雪は、転換不良の原因となるため、散水消雪とした。また、列車に付着した雪の落雪による転換不良の際、散水消雪のみでは対処できないため、急速除雪設備の併用とした。なお、長野から上越妙高間は、河川を水源とし、上越妙高から金沢間については、地下水を散水消雪の水源とした。(写-8)



写-8 分岐器雪害対策（散水消雪・急速除雪設備）

(3) サービスレベルについて

雪害対策委員会において、想定した設計積雪深（以下、「設計年最大積雪深」）において、安定した平常の列車輸送が確保できることをサービスレベルと定義した。

(a) 長野一上越妙高駅（JR東日本管内）

各沿線地域における10年確率最大積雪深において、平常の列車運行が確保できることをサービスレベルに定めた。

(b) 上越妙高一金沢間（JR西日本管内）

各沿線地域における10年確率最大積雪深において、平常の列車運行が確保できることをサービスレベルに定めた。なお、18年周期豪雪を想定している20年確率最大積雪深となる異常時においても機械式除雪及びパネル融雪による雪害対策の補完により、列車運行が確保できることをもサービスレベルに定めた。なお、異常時の時間降雪量によっては一部運転規制を考慮した。

(4) 設計年最大積雪深

気象台、地方公共団体、JR 東日本及び JR 西日本の管理する過去の冬季積雪深観測データを基に、ガンベル分布と呼ばれる極限分布により、10年若しくは20年確率の再現期待値を計算し、その値から沿線ごとの設計年最大積雪深を定めた。

(a) 長野一上越妙高間（JR 東日本管内）

この区間の設計年最大積雪深（10年確率）は、以下の通りである。

- ・長野市内 50cm
- ・中野市内 150cm
- ・飯山市内 230cm
- ・上越市 290cm

(b) 上越妙高一金沢間（JR 西日本管内）

この区間の設計年最大積雪深（20年確率）は、以下の通りである。

- ・上越市 335cm（平野部）、405cm（山間部）
- ・能生町 350cm（山間部）
- ・糸魚川市 220cm（平野部）、250cm（山間部）
- ・新潟富山県境 340cm（山間部）
- ・黒部市 195cm（平野部）、245cm（山間部）
- ・滑川市 205cm（平野部）
- ・富山市及び高岡市 175cm（平野部）
- ・津幡町及び金沢市 155cm（平野部）
- ・松任市 135cm（平野部）

(5) 貯雪式高架橋について

貯雪による雪害対策を選定した糸魚川から金沢間の高架橋内の許容貯雪容量の考え方を図-7、8及び9に示す。

許容貯雪容量は、閉床式貯雪型（図-7）では、平常時130cmの積雪深、異常時158cmの積雪深、側方開床式及び半雪覆式貯雪型（図-8）は、平常時160cmの積雪深、異常時192cmの積雪深、閉床式貯雪型（拡幅）（図-9）は、平常時150cmの積雪深、異常時175cmの積雪深である。

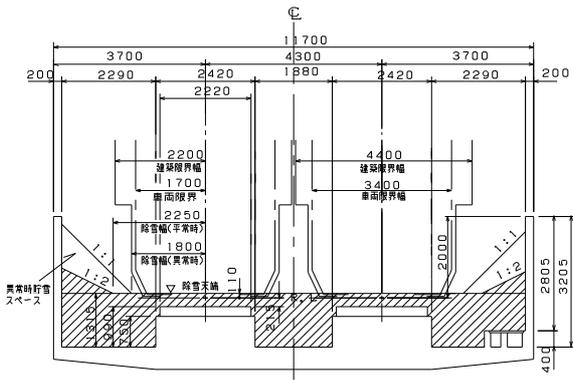


図-7 貯雪量の考え方 (閉床式貯雪型)

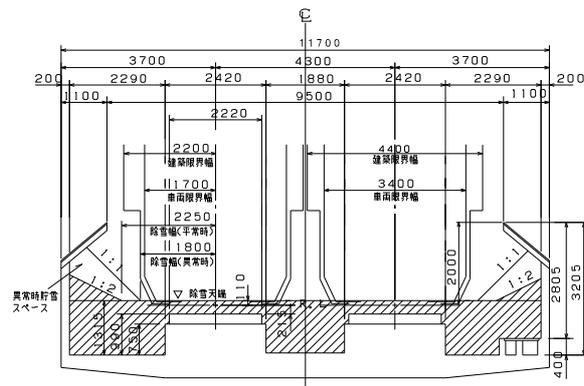


図-8 貯雪量の考え方 (側方開床式・半雪覆式貯雪型)

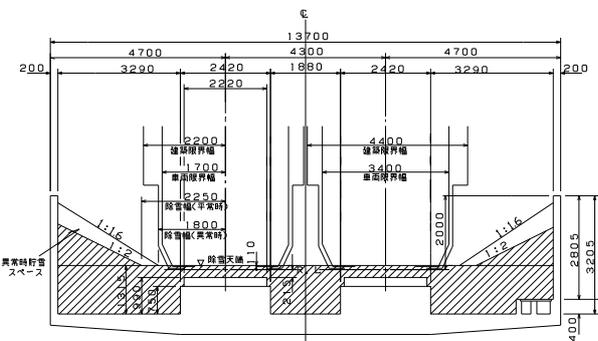


図-9 貯雪量の考え方 (閉床式貯雪型 (拡幅))

(a) 路盤鉄筋コンクリートの形状

貯雪式高架橋形式である、側方開床式貯雪型高架橋、閉床式貯雪型高架橋、半雪覆式貯雪型高架橋及び閉床式貯雪型高架橋 (拡幅) は、軌道設備等の保守点検作業が可能な高さである75cmとし、貯雪容量の拡大を図った。(図-10) なお、従来の構造設計において付加死荷重として扱ってきた路盤鉄筋コンクリートを、本体構造物の縦梁そのものとして有効利用した高架橋を新幹線で初めて採用し、橋梁全体での経済化に寄与している(山東⁷⁾。

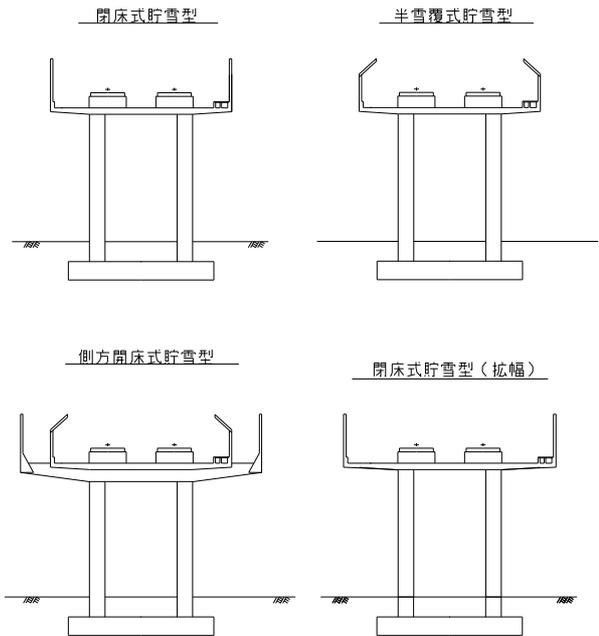


図-10 貯雪量の考え方 (閉床式貯雪型 (拡幅))

(b) 貯雪形状

平常時は、機械式除雪車の除雪幅を4.5mとし、除雪幅側方の貯雪スペースに雪面勾配1:2で堆雪し、異常時は、除雪幅を3.6mと定め、雪面勾配1:1で堆雪するものと定めた。(図-7及び8) なお、閉床式貯雪型高架橋 (拡幅) (図-9) については、平常時は除雪幅側方の貯雪スペースに雪面勾配1:2で堆雪し、異常時は雪面勾配1:1.6で堆雪するものと定めた。

貯雪高さは、レールレベルより11.0cmとし、それを上回る積雪に対しては、営業列車のスノーブラウにより排雪され、両サイドに貯雪させるものとした。

7. 北陸新幹線の雪害対策内容

(1) 雪害対策高架橋

長野駅から金沢駅までの雪害対策に関する高架橋形式及びその内容を、図-11及び12に示す。

雪害対策の割合は、散水消雪(A)が約15%、スノーシェルター(B)が約2%、側方開床式貯雪型(C)が約14%、閉床式貯雪(D)が約21%、閉床式貯雪+パネル融雪(Dp)が約22%、半雪覆式貯雪型(E)が約19%及び閉床式貯雪型(F)が約7%となっている。このうち、散水消雪の割合が約15%、スノーシェルターの割合が約2%、残りの約83%は貯雪による雪害対策の構成となった。

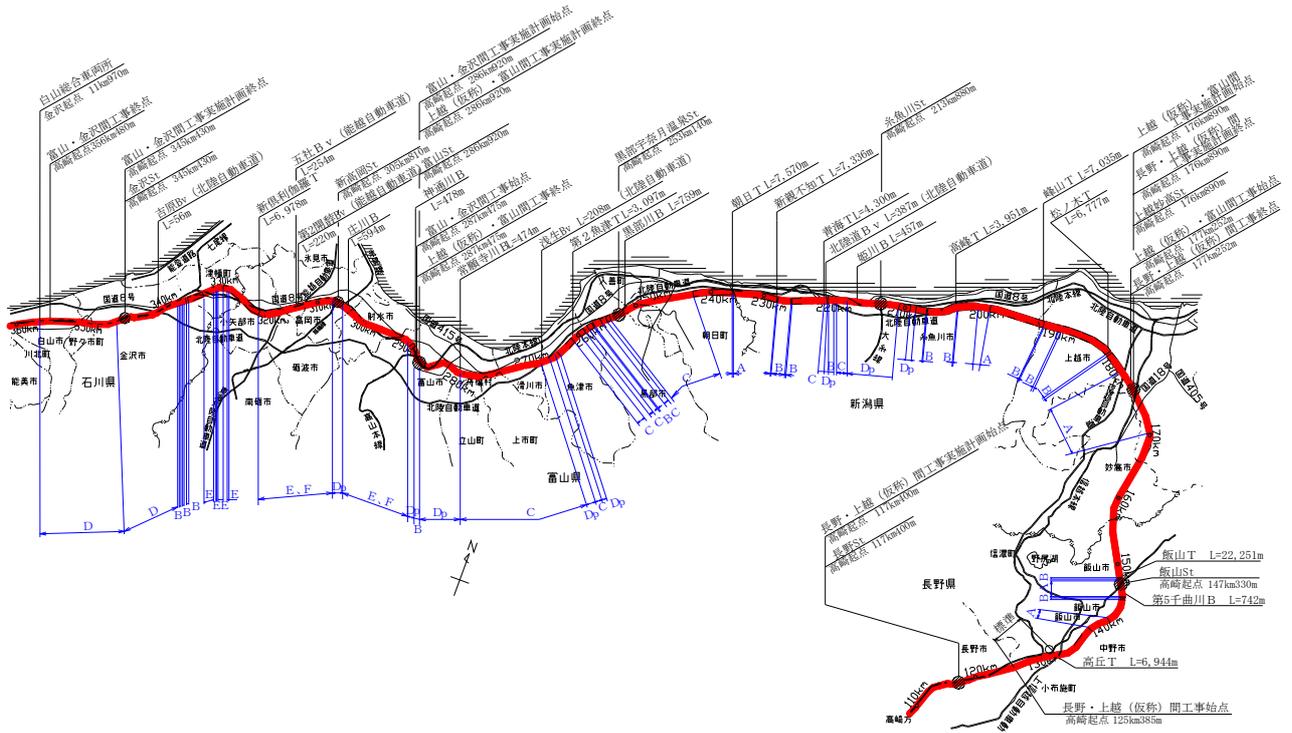


図-11 雪害対策全体図

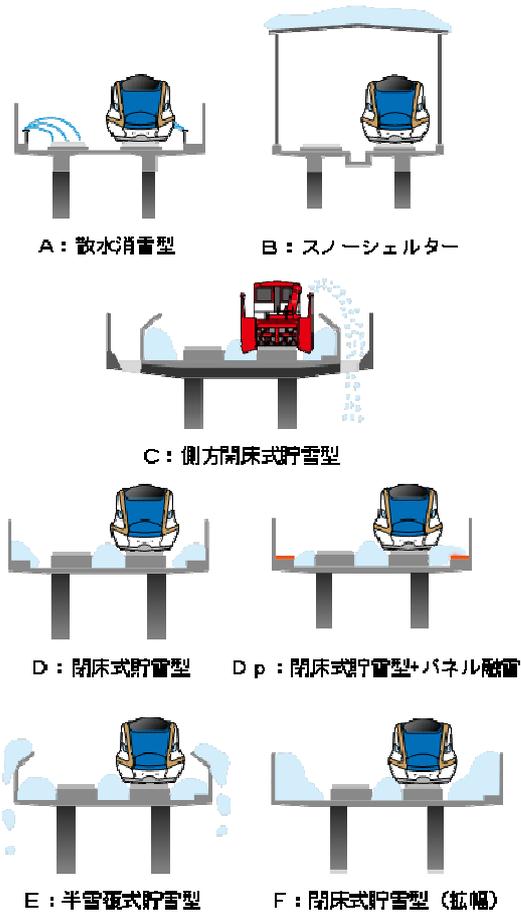


図-12 貯雪式高架橋一覧

(2) 長野駅－上越妙高駅間

長野県長野市から小布施町間は、年設計最大積雪深が長野市内で50cmであり、積雪量が少ないため、標準高架橋による貯雪とした。長野県中野市並びに飯山市から新潟県上越市間については、散水消雪型(A)とした。なお、瞬き区間についてはスノーシェルター(B)とした。

豪雪地帯に類似する降雪量である山間部及び日本海側の平野部（上越市）は、その気候特性及び新幹線に併行する千曲川及び大熊川からの水源確保が可能な地理特性から散水消雪を基本とするも、脊梁山脈を境に日本海側と太平洋側との気温差から散水量を使い分けた。つまり、比較的温暖な日本海側の散水量は、上越新幹線を通る沿線地域と気候特性が類似することから $0.7\frac{\text{mm}}{\text{分}}$ と定め、寒冷な気候となる長野盆地の散水消雪量は、東北新幹線の通過する沿線地域と気候特性が類似することから $1.0\frac{\text{mm}}{\text{分}}$ とし、消雪効率の最適化を図った。又、散水消雪水は再利用し加熱を行い、漏水や蒸発による損失分のみを河川から補充する方法（加熱循環方式）の採用により、水循環及び水収支バランスへの配慮も徹底した。

(3) 上越妙高駅・黒部宇奈月温泉駅間

雪害対策は、積雪量が地域により異なるため、上越妙高駅から糸魚川駅間及び糸魚川駅から黒部宇奈月温泉駅間の2ブロックに分けた。

上越妙高駅から糸魚川駅までの新潟県内については、降雪量が多い地域であり、年設計最大積雪深が能生町にて350cmであることから、上越新幹線での実績を踏まえ、散水消雪型(A)びスノーシェルター(B)を適宜選定した。

散水消雪の水源は、沿線の能生川とし、散水後、回収のうえ再使用することから、消雪に必要な熱エネルギー(水温)による消雪効果を得るため、加熱循環方式とした。

糸魚川駅から黒部宇奈月温泉駅までの新潟県糸魚川市及び富山県黒部市については、里雪型による降雪作用により、降雪量が多い傾向にある。散水消雪のための水源確保が容易でない状況である一方、隣接する在来線鉄道ではラッセル車やロータリー車を用いた機械式除雪による方法にて冬季輸送を確保している。そのため、貯雪式高架橋である側方開床式貯雪型(C)及び閉床式貯雪型+パネル融雪(Dp)を採用した。

許容貯雪量を超過する積雪に対しては、新幹線で初採用となる機械式除雪により貯雪能力の補完を図った。なお、それにより難しい箇所については、パネル融雪を用いて貯雪式高架橋の貯雪能力を補った。

機械式除雪は、除雪延長が長野方面及び金沢方面の片側で約14kmとなるよう除雪基地を計画した。

当該区間の除雪基地は、糸魚川保守基地及び新黒部保守基地の2箇所である。

糸魚川駅付近の軌道分岐器については、地下水を水源とし、地下水のもつ熱エネルギーを利用した非加熱方式での散水消雪とした。黒部宇奈月温泉駅付近の軌道分岐器については、散水消雪に必要な水量の確保ができないため、水回収のうえ再利用する加熱循環方式による散水消雪とした。

(4) 黒部宇奈月温泉駅・富山石川県境間

雪害対策は、地域により降雪量が異なり、かつ新幹線沿線の土地利用状況が異なるため、黒部宇奈月温泉駅から常願寺川間、常願寺川から富山駅間及び富山駅から富山石川県境間の3ブロックに分けた。

黒部宇奈月温泉駅から常願寺川までの地域は、年設計最大積雪深が黒部市220cm、滑川市205cmである。糸魚川地区と同様、貯雪式高架橋である側方開床式貯雪型(C)及び閉床式貯雪型+パネル融雪(Dp)を適宜選定した。

常願寺川から富山駅までの地域は、年設計最大積雪深が175cmである。但し、土地利用状況として、新幹線の沿線には商業施設や宅地の占める割合が高く、市街地であることから、高架外への投雪が不可能な環境である。

また、事業用地を拡大し雪害対策の更なる拡充を図ることが困難であるため、閉床式貯雪型+パネル融雪(Dp)を採用した。

富山駅から富山石川県境までの地域は、年設計最大積雪深が175cmである。土地利用状況は、市街地であるため商業施設及び宅地の占める割合が高い状況にあるが、新幹線の沿線については、雪害対策に必要な事業用地の確保が可能であったため、半雪覆式貯雪型(E)を採用した。また、鉄道・道路交差部には、閉床式貯雪型(D)に比べて貯雪能力が更に高い、閉床式貯雪型(拡幅)(F)を開発し採用した。

当該箇所の除雪基地は、富山保守基地及び高岡除雪基地の2箇所である。

富山駅及び金沢駅付近の軌道分岐器については、地下水を水源とした、非加熱方式による散水消雪とした。

(4) 富山石川県境—金沢(白山総合車両所)

富山石川県境から金沢(白山総合車両所)までの石川県内は、北陸新幹線の沿線地域のうち、年最大設計積雪深が135cmと最も小さい。そのため、貯雪式高架橋の許容積雪量で対処可能であることから、半雪覆式貯雪型高架橋(E)及び閉床式貯雪型高架橋(D)を適宜選定した。

当該箇所の除雪基地は、梅田除雪基地及び白山総合車両所の2箇所である。

8. 北陸新幹線の雪害対策と環境に関する考察

雪害対策は、長野駅から糸魚川駅までが散水、糸魚川駅から金沢駅までが貯雪と分類することができる。このうち、貯雪で対応した明り区間割合は、約83%となり、冬季における列車輸送を阻害する雪害対策を低エネルギーで実現させた。これは、地域の積雪量に見合った貯雪式高架橋の開発及び貯雪を補完する手法の開発が可能とさせた。環境面においては、水収支バランスを考慮した河川水及び地下水の利活用による散水消雪の実施により、環境負荷の低減を図った。また、地下水の持つ熱エネルギーを利用した消雪は、低エネルギー化に寄与した。

気象状況や地理的状況が異なるため、一概な比較はできないが、貯雪は、他の方法に比べ、電気エネルギー及び熱エネルギー並びに燃料消費量が小さい。これは、低エネルギーによる列車輸送の確保の実現の一方、その副次的効果として、地球温暖化防止及び化石燃料の枯渇防止に貢献する。

その事例として、富山駅から県境までの雪害対策に関して概説する。

富山駅から県境までの雪害対策は、貯雪を基本とし、

許容貯雪容量を超過する積雪のうち、高架橋外への排雪（落雪）が不可能な鉄道・道路等の交差部については、パネル融雪による貯雪効果の補完が従来の計画内容であった。その規模は、高架橋の線路延長約9,400m、桁数約280連となり、パネル融雪の延長としては上下線合わせて約18,800mとなる。これを貯雪型高架橋へ変更したことにより、必要としていた電気及び燃料の一次エネルギー使用量を抑えることとなった。これは、温室効果ガス（主として、二酸化炭素排出量）の排出量低減並びに化石燃料の燃焼により生ずる温室効果ガスの排出量低減による地球温暖化の防止に寄与するとともに、化石燃料の枯渇低減という効果がある。

北陸新幹線の訓練運転期間中であった今冬（平成26年12月から平成27年3月）のパネル融雪の稼働実績（富山市内）と富山気象台の降積雪量の公表値から、平年値における電気使用量は約8.6kwh/m程度、使用燃料（灯油）は約11.9ℓ/m程度と想定され、これに基づいて平年における二酸化炭素排出量を電気使用量及び燃料（灯油）使用量別に計算する。試算方法は、環境省⁸⁾から公表されている代替値0.000551t-co₂/kwh及び燃料別二酸化炭素排出量を参考とした。その結果、使用電力量約162,000kwhに対して約83t-co₂、使用燃料223,000ℓに対して550t-co₂となり、低減された二酸化炭素排出量は、約630t-co₂となる。40年生前後のスギの二酸化炭素年間吸収量は、2.4kg/本と推定されている。（林野庁⁹⁾）これによると、今回の低減量は、スギの約271,000本分の二酸化炭素吸収量に相当する。

北陸新幹線で整備した雪害対策を俯瞰すると、沿線地域により異なる降雪の影響度合い及び水資源の既存状況を考慮して散水消雪と貯雪に区分けされている。

散水消雪は脊梁山脈を貫く山岳トンネル区間に多く分布している。新幹線に併行する河川が存在する地理的状況である中、貴重な自然資源の浪費を防ぐため、冬季気温に着目しての散水消雪量の使い分けがされている。また、地下水に依存する散水消雪については、水収支バランスに配慮した内容となっている。

一方、貯雪については、明り区間の割合が高い日本海側に多く分布している。高架橋内に雪を貯めるというシンプルかつ単純な思想のもと、地域により異なる積雪量に着目した5種類の貯雪式高架橋の適宜採用した。なお、許容貯雪容量を超える地域には、機械式除雪及びパネル融雪による貯雪補助を施すことにより、路線延長の約8割を占める構成となっている。

雪害対策に要するエネルギーが実質ゼロである貯雪が大部分を占める北陸新幹線は、冬季輸送の安定的な確保による地域経済等の更なる発展に寄与すると共に、低エネルギー化の実現による環境負荷の低減に寄与する。

すなわち、北陸新幹線は、環境共生という考え方を、雪害対策において実現した公共交通機関と考察しうる。

9. おわりに

日本の経済成長率の指標である国内総生産(GDP)に占める割合としてサービス業が高い今日において、北陸新幹線の開業から得られる経済効果は、主に観光客等の増加による消費拡大及び産業の活性化により、日本経済の更なる成長、北陸地方の更なる経済発展に繋がるとともに、時間短縮効果により、首都圏をはじめとした他地域との交流人口の増加が期待される。

平成27年3月14日に開業した北陸新幹線は、今年初めて冬季を迎えることとなる。長野駅から金沢駅まで整備した雪害対策がその機能を十分に発揮し、冬季における列車輸送を確保し、かつ北陸地方の18年周期豪雪においても列車輸送を可能とする雪に強い新幹線として未来永劫活躍することを期待したい。

本論文が降雪に強い鉄道ネットワークの構築の礎となれば幸いである。

参考文献

- 1) 林健：上越新幹線の雪害対策，雪害研究発表会 No.4, pp14-15, 防災科学技術研究所, 1979.
- 2) 田村暉, 塩田雄三：東北新幹線における雪対策，雪氷（日本雪氷学会誌）44 巻 3 号, pp153-158, 1982.9.
- 3) 高薄和雄：上越新幹線の雪対策（設備と試験），鉄道線路.30 巻 7 号, 1982.
- 4) 野口守, 小林等, 藤井俊茂, 河島克久, 飯倉茂弘：東北新幹線八戸・新青森間における雪害対策の研究(1)——年最大積雪深の再現期待値からみた対策検討区間，雪氷研究大会講演要旨集（2009・札幌），日本雪氷学会・日本雪工学会, 2009.9-10.
- 5) 飯倉茂弘, 野口守, 小林等, 菊池哲雄, 河島克久, 藤井俊茂：スプリンクラー散水消雪方式の東北新幹線八戸・新青森間への適用，鉄道総研報告 26 巻 9 号, 2012.9.
- 6) 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 7) 山東徹生：北陸新幹線における貯雪型高架橋—路盤鉄筋コンクリートの本体利用，コンクリート工学 49 巻 1 号 PP100-105,2011.1
- 8) 環境省 <https://www.env.go.jp/press/19006.html>
- 9) 林野庁 <http://www.ninya.maff.go.jp>

(2015. 7. 30 受付)