

北陸新幹線の整備概要

西山 智夫*1・佐々木 圭三*2・山東 徹生*3

北陸新幹線（長野・金沢間）は整備新幹線の一線区であり、鉄道・運輸機構が2014年度末の完成を目指して建設を進めている。当線区の特徴は、世界有数の積雪地帯を通ることと、建設期間が20年以上の長期に及んだことである。本稿では路線の概要およびこれまでの建設経緯のほか、構造設計上の要点となった雪害対策、構造設計の考え方の変遷について概説する。また、最終章では2012年に新規着工した金沢・敦賀間について紹介する。

キーワード：新幹線、雪害対策、構造計画、構造設計

1. はじめに

北陸新幹線は高崎から長野、富山、金沢、福井などを経て大阪に至る路線である。このうち、高崎・長野間117kmは1997（平成9）年10月に開業し、翌年2月に開催された長野冬季オリンピックの会場に至る交通手段として大いに利用された。長野・金沢間228kmは、1992（平成4）年8月の石動・金沢間の工事着手以来、徐々に着手区間を伸ばしながら20年余の長期にわたり建設を続けてきたが、2014（平成26）年2月現在、本体土木工事はすべて終了し、2014（平成26）年度末に完成の予定である。また、2012（平成24）年6月には金沢・敦賀間125kmの工事に着手した。

新幹線の整備効果としては、移動の所要時間が東京～金沢間で整備前の3時間47分（越後湯沢駅で乗換）から2時間28分に、さらに敦賀までの延伸後は、東京～福井間で3時間28分（米原駅で乗換）から2時間52分に短縮される見込みである。

2. 長野・金沢間の概要

長野・金沢間の特徴は、世界有数の豪雪地帯を通ること、日本海沿岸に計画され冬季は海からの季節風の影響を受けること、それがさらに塩害の影響をもたらすことなど

である。地形的にもフォッサマグナ（中央地溝帯）内の長野・新潟県から飛騨山脈（北アルプス）北端の親不知を抜けて、富山県の扇状地群に至るというルートであり、千曲川、関川、姫川、黒部川、常願寺川、神通川、庄川など多数の大河川を横断する。

建設の規格等は以下のとおりである。

最高設計速度	260 km/h
最小曲線半径	4 000 m
最急勾配	30 %
軌道中心間隔	4.3 m
電車線の電圧	25 000 V（交流）

また、構造物の延長および構成比は以下のとおりである。

切土・盛土	3.9 km（約2 %）
橋梁	31.7 km（約14 %）
高架橋	92.4 km（約40 %）
トンネル	103.1 km（約44 %）
工事延長計	231.1 km

設置される駅は、長野、飯山、上越妙高、糸魚川、黒部宇奈月温泉、富山、新高岡、金沢である。このうち新駅としては、上越妙高駅は現在のJR信越線脇野田駅付近に設置され、信越線から転換されるえちごトキめき鉄道への乗換駅となる。また、黒部宇奈月温泉駅では富山地方鉄道本線に、新高岡駅ではJR城端線にそれぞれ乗換可能となる



*1 Tomoo NISHIYAMA

鉄道・運輸機構
新幹線部



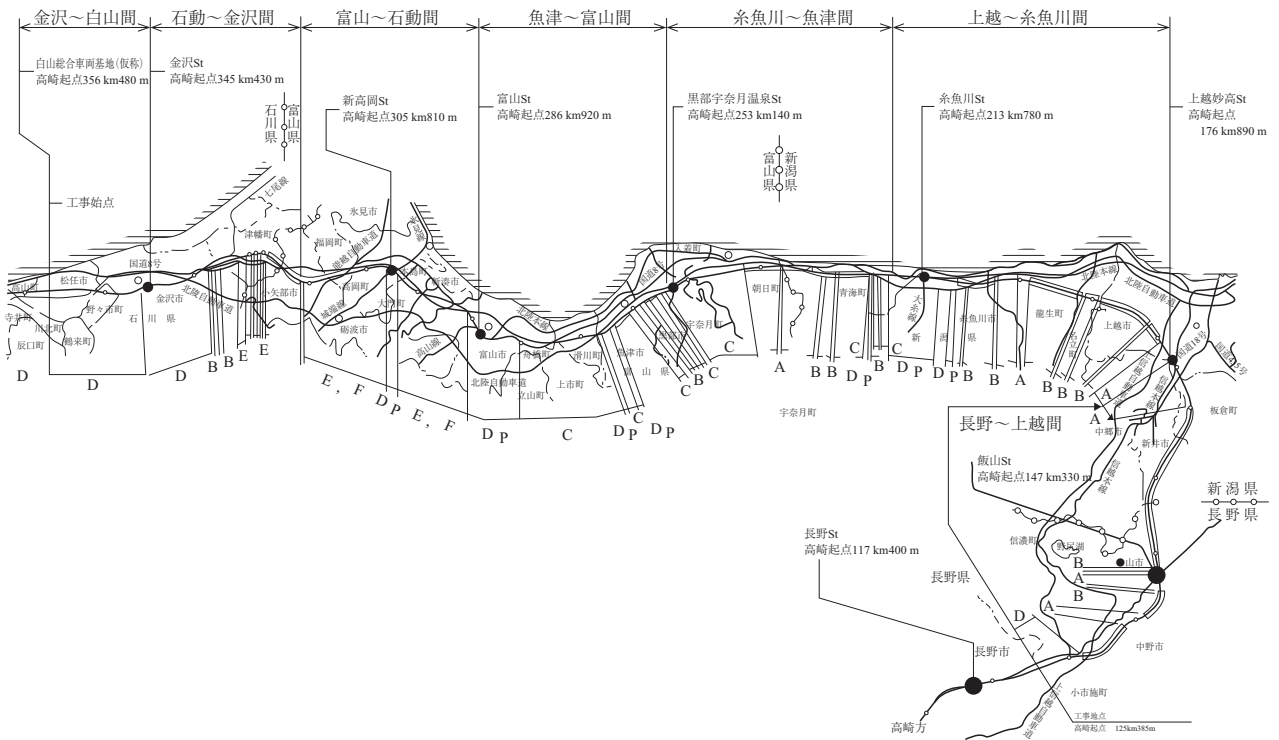
*2 Keizo SASAKI

鉄道・運輸機構
新幹線部



*3 Tetsuo SANTO

鉄道・運輸機構
設計技術部



※斜線部は本体利用した路盤鉄筋コンクリートである。
 ※表記寸法は直線区間であり、曲線区間は所定の拡幅量を考量する。

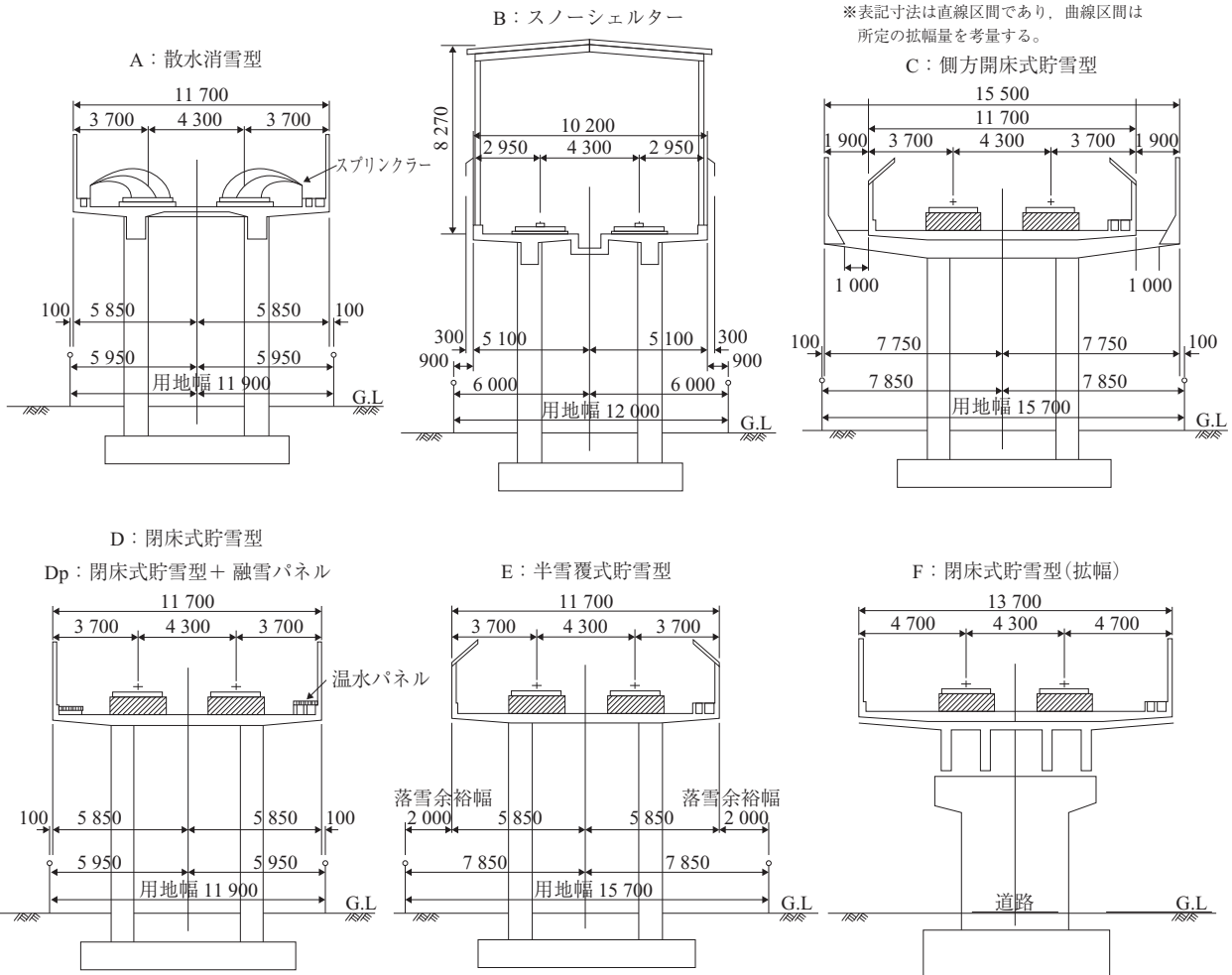


図 - 1 雪害対策と高架橋形式

予定である。ほかは現在の JR 各駅に併設される。

開業後に列車の運行を担う鉄道事業者は、整備新幹線で初めて 2 社にまたがる。すなわち、建設主体である鉄道・運輸機構が、営業主である東日本旅客鉄道(株)と西日本旅客鉄道(株)とに対して当路線を分割して貸付を行うことになっている。

3. 建設の経緯

3.1 土木工事

(1) 石動・金沢間および糸魚川・魚津間

長野・金沢間のうち、最初に着手したのは 1992 (平成 4) 年 8 月の石動・金沢間であり、次に翌年 9 月の糸魚川・魚津間である。いずれも新幹線鉄道規格新線 (いわゆる狭軌在来線の「スーパー特急区間」) としての認可であった。石動・金沢間には俱利伽羅峠、糸魚川・魚津間には親不知地区の山岳部があるが、それらにおける時間短縮効果が目的であった。両区間の特徴としては、石動・金沢間では金沢市内での 7 km にわたる北陸本線との並行区間、糸魚川・魚津間では新親不知・朝日など 4 トンネル (計 22 km) による「天嶮」親不知海岸の回避があげられる。

当時の主な PC 橋として、石動・金沢間には森本高架橋～森本駅高架橋、金腐川橋梁、浅野川橋梁、糸魚川・魚津間には田海川橋梁、小川橋梁、黒部川橋梁などがある。これらは 1997 (平成 9) 年に雪害対策が決定された後に構造設計を始め、1998～2004 年頃に施工された。

(2) 長野・上越間

1998 (平成 10) 年 3 月に長野・上越間に着手した。この区間は路線中でもとくに寒冷な気候と豪雪が特徴であり、信濃川本流である千曲川を鋼合成桁で 2 度渡り、長野・新潟県境には 22.3 km の飯山トンネルがある。

主な PC 橋として長野県側に鳥居川橋梁、中島架道橋、夜間瀬川橋梁、綱切線架道橋 (飯山駅)、新潟県側に関川橋梁、上新バイパス架道橋などがあり、2000 (平成 12) 年頃から構造設計を始め、2001～2010 年頃に施工された。

(3) 上越・富山間

2001 (平成 13) 年 4 月に着手、それに伴い糸魚川・魚津間はこの区間に吸収された。区間の特徴として、糸魚川地区では海岸から最小 200 m 以内にまで近づくため塩害の影響を、黒部～富山間では上市川、常願寺川などの扇状地の被圧地下水の影響を受けること、富山駅付近の北陸本線と富山地鉄に挟まれた区間があげられる。

主な PC 橋には糸魚川地区に桑取川橋梁、姫川橋梁、今村新田高架橋、黒部～富山間に片貝川橋梁、観音堂架道橋、常願寺川橋梁、稲荷千歳高架橋があり、2002 (平成 14) 年頃から構造設計を始め、2003～2011 年頃に施工された。

(4) 富山・金沢間

2005 (平成 17) 年 4 月に着手、それに伴い石動・金沢間はこの区間に吸収された。また、工事区間としては金沢駅～白山車両基地間が含まれる。区間の特徴として、富山～石動間では散居村の広がる砺波平野、すなわち庄川扇状地の横断があげられる。また、金沢～白山間 10 km は全区

間が北陸本線と並行する区間である。

主な PC 橋として、富山～石動間では神通川橋梁、庄川橋梁、小矢部川橋梁など、金沢～白山間では加賀犀川橋梁などがある。また、富山～石動間にとくに多い構造形式として馬桁一体 2 径間連続箱桁があげられ、道路と鋭角に交差する場合にスパンと桁高を縮小し道路空頭を確保する目的で多用された。本区間は 2005 (平成 17) 年より構造設計を始め、2006～2012 年頃に施工された。

3.2 開業設備工事～開業準備

2009 (平成 21) 年 10 月、長野・金沢間の全区間で軌道、建築、機械、電気などの開業設備工事に着手した。

その後、2013 (平成 25) 年 10～11 月には機構と鉄道事業者 (JR 2 社) が協力して長野～黒部宇奈月温泉間の地上監査・検査を実施し、構造物の完成を確認した。同年 12 月からは列車を実際に走行させて総合監査・検査を行っている。今後は、黒部宇奈月温泉～金沢間についても 2014 (平成 26) 年夏頃より同様の手順を進める予定であり、最終的には鉄道事業者が国土交通省の完成検査を受けて開業を迎えることとなる。

4. 雪害対策^{1, 2)}

4.1 雪害対策の考え方

雪害の克服は過去より新幹線整備上の大きな課題であり、長野・金沢間ではついに雪害対策が桁の断面を形づくるまでに至った。当路線中の最大の豪雪地帯は、飯山・上越地区である。積雪深はそこから長野方には急激に、金沢方には徐々に減っていく分布となっている。これに応じて橋面上の雪害対策は 3 区間に大別される。

長野盆地内では、積雪深が小さく、高崎・長野間の延長と見なすことができる。このため、温暖地と同様の橋面のままで貯雪容量は十分であると考えた。

飯山・上越地区は、積雪深が最大である一方で、千曲川や関川などの並行河川からの取水が見込めるため、散水消雪を採用した。

糸魚川～金沢間は、海沿いのルートであるため安定した取水源となる並行河川が見当たらず、散水消雪用の水量の確保は困難である。このため、橋面の貯雪容量を確保する構造を基本とした。

4.2 各種雪害対策形式

各種雪害対策形式について、その概念図と使用区間とを図 - 1 に示す。以下には開発順に従って紹介する。

(1) 散水消雪 (A)

上越新幹線で開発された方法で、スプリンクラーで橋面上に温水を散水して完全に消雪する。河川から取水してポイラーで温めるための地上基地が必要となり、その運転・維持費用を要する。積雪深が大きい飯山・上越地区に採用している。

(2) スノーシェルター (B)

同じく上越新幹線で実績のある方法で、山間部のトンネル間の 300 m 程度までの短い区間に採用している。吹込み雪対策のため窓は設けない。

(3) 閉床式貯雪型高架橋 (D)

営業車、除雪車により軌道上の積雪を橋面上の貯雪スペースに排除(貯雪)する形式のうち直型防音壁の形式を指す。営業車のスノーブ라우による排雪は東北新幹線でも採用しているが、除雪車(ラッセルおよびロータリー)の併用は北陸新幹線が最初となる。金沢市以西の区間に採用している。

(4) 半雪覆式貯雪型高架橋 (E)

閉床式貯雪型(D)の見かけの貯雪能力を増やすため、防音壁の上部に幅1mの庇(雪覆い)を設けた構造である。高架橋の両側に庇からの落雪に対する幅2mの用地を確保する。富山市付近～石川県の一部で採用している。

(5) 側方開床式貯雪型高架橋 (C)

半雪覆式貯雪型(E)に投雪ガイド板を設置し、積雪深が貯雪能力を超えた場合にはロータリー車により両側の開床部から高架下に投雪する構造である。糸魚川～富山間で採用している。

(6) 閉床式貯雪型高架橋+融雪パネル (Dp)

閉床式貯雪型(D)の橋面上の左右端部に幅1mの融雪パネルを設置した構造である。営業車、除雪車により軌道上の積雪をパネル上に排除する。パネル内に不凍液を温めて循環させるため、地上基地が必要となるが、その運転・維持費用は散水消雪(A)に比べれば安価である。半雪覆式(E)や側方開床式(C)の区間のうち、高架外への落雪や投雪が不可能な市街地や道路交差点部に採用している。

以上の(D)(E)(C)(Dp)の4形式は1998(平成10)年より採用している。

(7) 閉床式貯雪型(拡幅)桁 (F)

閉床式貯雪型(D)の貯雪スペースを拡げることにより、より大きな積雪深への対応を可能としたもので、2008(平成20)年より採用している。当初、富山～金沢間の半雪覆式(E)の区間内の道路交差点部は融雪パネル(Dp)を採用していたが、富山～石動間ではこれらを拡幅桁(F)に変更することにより、工事費の低減とともに保守管理の軽減を実現した。

4.3 構造物設計への反映

(1) 雪 荷 重

鉄道構造物の設計においては、開業後の運行計画や利用形態を想定し、それを基に限界状態や性能照査の検討ケースごとの荷重条件を設定する。北陸新幹線の雪荷重の場合、確率年ごとに以下の4種類の積雪深、雪荷重を設定している。区間ごとの数値は図-1の中の表に示す。

- 2年確率：永久荷重と同様に扱う積雪深で、使用限界状態や地震時の照査に考慮する
- 20年確率：列車が走行する最大の積雪深で、列車荷重と組み合わせて終局限界状態の照査に用いる
- 30年確率：異常時で列車が不通の状態であり、雪単独で終局限界状態の照査に用いる
- 100年確率：シェルター区間の終局限界状態に用いる

(2) 路盤鉄筋コンクリートの本体利用

上記の(D)(E)(C)(Dp)(F)の5形式においては、貯雪容量の確保のため、路盤鉄筋コンクリートの厚さを

75cmとしている。路盤鉄筋コンクリートの本来の機能はスラブ軌道を支持する土台であり(図-2)、通常は10～30cmのため桁設計時には付加死荷重として扱われる。しかし、当区間の路盤鉄筋コンクリートは大断面であり、複線分で8.9t/mにもなった。このため、スパン35mまでの比較的桁高の小さい構造物であるラーメン高架橋、RCT桁、PPCT桁(4主桁)において、上記の5形式を採用する場合には、路盤鉄筋コンクリートの断面を本体として有効利用することとした。

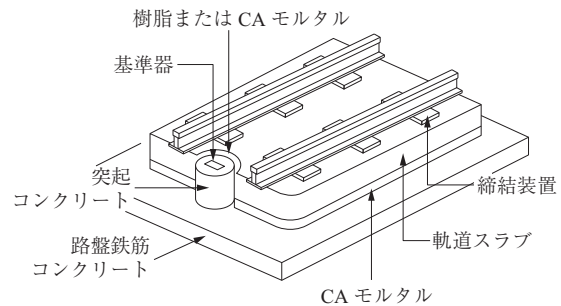


図-2 新幹線軌道の構成(スラブ軌道)

5. 構造物設計の変遷

長野・金沢間では着手時期と雪害対策の違いにより構造物の設計は多様化した。

桁の形式としては、下路桁は落雪のおそれがあるため除外したが、例外的にシェルター一体型のみ採用した。上路桁は温暖地と同形式を採用した。すなわち、単純桁ではRCT桁、PPCT桁、PPC箱桁、PPCホロー桁を、連続桁ではPC箱桁を、また複合構造では鋼合成箱桁、H鋼埋込桁を用いた。その他の特殊なPC橋は本号資料編による。このうちスパン45m以下のRCT桁とPPCT桁とに標準設計を採用して設計作業の合理化を図り、その他は橋梁ごとの個別設計としたが、標準設計だけでも区間ごとの6種類に及んだ(表-1)。以下には区間と雪害対策と設計の変遷との対応関係を記す。

(1) 石動・金沢間および糸魚川・魚津間

雪害対策の(D)(E)(C)(Dp)に対応し、路盤鉄筋コンクリートの本体利用を図るとともに縦小梁を設けた。スーパー特急車両は在来特急型と想定されたため、桁設計にはその列車荷重(M-18, 200km/h)と将来のフル規格化に向けて新幹線車両の荷重(P-16, 260km/h)との両方を考慮した。(表-1中の③)。

(2) 長野・上越間

飯山・上越地区の散水消雪(A)の区間では水漏れを防ぐため場所打ち防音壁を採用した(①)。長野盆地では軽井沢・長野間の桁を基に改良した(②)。

(3) 上越・富山間

上越地区の散水消雪(A)の区間では①を準用した。黒部～富山間の貯雪構造(E)(C)(Dp)の区間では③から施工性を改善するため、縦小梁を廃止し、本体利用路盤鉄筋コンクリートの打設ロットを合理化した(④)。

表 - 1 構造物設計の比較表

区間	雪害対策	防音壁 荷重 (kN/m)	設計の特徴	標準設計の種類			PPCT 桁 共通の設計条件				PPCT 桁の例 L = 30 m 4 主桁 (曲線)		
				年	RCT 桁	PPCT 桁	路盤 コンクリート	かぶり (mm)	床版厚 (mm)	桁高 (mm)	コンクリート (m ²)	PC 鋼材 (1 主桁)	鉄筋量 (t)
① 長野・上越	散水消雪 (A)	15.0	• 場所打ち防音壁	H13	2 主桁 : 10, 15, 20	4 主桁 : 25, 30, 35, 6 主桁 : 40, 45	非合成	50	260	2 000	209	6 × 12S12.7	36.6
② 長野・上越	(高崎・長野と 同様の貯雪)	10.0	• パネル防音壁	H14	2 主桁 : 10, 15, 20	4 主桁 : 25, 30, 35 6 主桁 : 40, 45	非合成	50	260	2 300	225	5 × 12S12.7	36.3
③ 石動・金沢 糸魚川・魚津	閉床式貯雪型 半雪覆式貯雪型 閉床式貯雪型 + 温水パネル	10.0	• 路盤コンクリート本体利用 ただし 2 回打設 • スーパー特急考慮 • 縦小梁	H11	2 主桁 : 10, 12, 15, 20	4 主桁 : 25, 30, 35 6 主桁 : 40, 45	合成	40	250	2 400 + 450	319	5 × 12S12.7	47.6
	側方開床式貯雪型 (C)	10.0	(上記に加えて) • 投雪ガイド版	H11	2 主桁 : 10, 12, 15, 20	-	-	-	-	-	-	-	-
④ 上越・富山	半雪覆式貯雪型 閉床式貯雪型 + 温水パネル	8.1	• 縦小梁の廃止 • 路盤コンクリート 1 回打設 • 勾配別ゴム沓	H14	2 主桁 : 10, 12, 15, 20	4 主桁 : 25, 30, 35 6 主桁 : 40, 45	合成	50	260	2 400 + 500	338	4 × 12S12.7	47.5
	側方開床式貯雪型 (C)	8.1	(上記に加えて) • 投雪ガイド版	H14	2 主桁 : 10, 12, 15, 20	-	-	-	-	-	-	-	-
⑤ 上越・富山 富山・金沢	閉床式貯雪型 半雪覆式貯雪型 閉床式貯雪型 + 温水パネル	10.7	• 耐久性の照査 • 衝撃係数に共振考慮 • クリープ算出式見直し • 3.5 m 防音壁対応	H17	2 主桁 : 10, 12, 15, 20	4 主桁 : 25, 30, 35 6 主桁 : 40, 45	合成	50	300	2 400 + 500	349	5 × 12S12.7	50.3
⑥ 富山・金沢	閉床式貯雪型 (拡幅) (F)	9.4	• 貯雪容量増 • 防振小梁 • 排水勾配コンクリートの一 体化	H20	2 主桁 : 10, 12, 15, 20	4 主桁 : 25, 30, 35 6 主桁 : 40, 45	合成	50	300	2 500 + 400	410	7 × 12S12.7	56.8

2004（平成16）年には「鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造）」が改定され、黒部～富山間の貯雪構造（E）（Dp）用に標準設計を再度行った（⑤）。

（4）富山・金沢間

標準設計（⑤）を雪荷重の小さい富山～石動間（E）（Dp）、金沢～白山間（D）にも準用した。2008（平成20）年には富山～石動間の道路交差点で拡幅桁（F）を採用した（⑥）。

6. 金沢・敦賀間の概要

6.1 路線の概要

金沢・敦賀間 125 km は 2012（平成24）年6月に工事着手したが、そのうちすでに工事を進めていた金沢～白山総合車両基地間を除く 114 km が工事延長となる。

地理的な特徴としては引続き日本海沿岸を走り、手取川の扇状地などを通る点は金沢までの区間に似るが、福井県内では徐々に内陸に入り、敦賀の手前では伊吹山地の北端、鉢伏山の下を 20 km の新北陸トンネルで通過して敦賀に至る。

構造物の延長および構成比は以下のとおりである。

切土・盛土	3.2 km（約 3 %）
橋梁	16.8 km（約 15 %）
高架橋	57.9 km（約 50 %）
トンネル	36.5 km（約 32 %）
工事延長計	114.4 km

設置される駅は、金沢、小松、加賀温泉、芦原温泉、福井、南越（仮称）、敦賀である。このうち新駅は越前市内に設置する南越（仮称）駅のみで、他は現在の JR 各駅に併設される。また、敦賀車両基地を設置予定である。

6.2 主な橋梁・高架橋区間

金沢・敦賀間の工事としては、すでに新北陸トンネル（奥野々）工区を 2013（平成25）年3月に発注済であるが、橋梁・高架橋は今後、雪害対策を決定した後に構造設計に着手していく予定である。

（1）手取川橋梁

手取川は白山を源流とする石川県を代表する大河川であり、北陸新幹線は川北町朝日付近（写真 - 1）に橋梁を架設してこれを渡る計画である。この付近は扇状地の下流域に位置し、地質は良好な砂礫であると想定される。橋長 550 m を超える大橋梁となる予定である。

（2）九頭竜川橋梁

九頭竜川は福井平野をすべて流域にもつ大川であり古来氾濫を繰り返してきたことでも知られるが、北陸新幹線はこれを福井市上野本町付近にて渡河する計画である。新幹線橋梁の両側に並行して県道が計画されており、橋長は 410 m となる予定である。

（3）福井駅周辺

福井駅とその北方 1.7 km の区間は、西側の JR 北陸線が高架化済み、東側のえちぜん鉄道勝山永平寺線も福井・福井口間で高架化工事に着手している区間である。このうち、新幹線福井駅を含む 0.7 km の区間（写真 - 2）は 2005（平成17）年に緊急整備事業として着手、2009（平成21）年までに本体構造物の施工を終了しており、勝山



写真 - 1 手取川橋梁予定地



写真 - 2 福井駅付近の高架橋

永平寺線の工事中は仮線としても利用される計画である。残る 1 km は両側を高架橋に挟まれた狭隘な箇所での施工となる。

7. おわりに

本稿は編集委員会より「整備概要」との依頼を受けて執筆したが、次稿「PC 橋の設計について」との分担調整の結果、かなり構造設計に踏み込んだ内容となった。その結果、路線計画、ルート選定などの話題が本特集から欠落するが、それらは 20 年以上も前の議論であり、この度はご容赦願いたい。それより、具体的な経済効果などについては各県のご担当者が現在の取組みを詳しく述べられている。その熱い思いに答えるべく、長野・金沢間の 2014（平成26）年度末の完成を目指して、引続き監査・検査工程を円滑に進められるよう関係者一同で努力してまいりたい。

参考文献

- 1) 山東徹生, 中村 信, 倉川哲志, 難波 至: 小特集 / 2014 年度末に開業を迎える北陸新幹線の全貌, セメント・コンクリート, No.791, 2013.1
- 2) 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, Vol.49, No.1, 2011.1

【2014 年 1 月 7 日受付】