

移動式支保工架設による連続PC箱桁橋の設計・施工

— 北陸新幹線 ^{いまむらしんでん} 今村新田高架橋 —

Design and Construction of Continuous PC Box Girder Bridge used Transfer Timbering
—Hokuriku Shinkansen Imamurasinden Viaduct—

| | | | | | |
|------------|--------|-------------|----------|------------|---------|
| Isogai | Atsumi | Kawase | Hiyoshi | Abe | Masashi |
| 磯谷 篤 実* | | 河 瀬 日 吉** | | 阿 部 雅 史*** | |
| Goto | Koichi | Kobayashi | Kazuhiro | | |
| 後 藤 孝 一*** | | 小 林 和 弘**** | | | |

はじめに

北陸新幹線、糸魚川今村新田高架橋は、新潟県糸魚川市須沢地内、今村新田地内、田海地内に位置する延長1588mの4径間5連、5径間5連からなるPC連続箱桁橋である。位置図を図-1に示す。

架設工法は、経済性、工期等より、移動式支保工による架設工法を採用した。全45径間のうち、終点方のJR営業線近接部を含め16径間を一般的な固定式支保工、残る29径間は1基の移動式支保工により架設した。

ここでは、本高架橋の設計および施工について報告する。

1. 橋梁概要

本高架橋の構造形式は、上部構造が4径間連続PC箱桁(5連)および5径間連続PC箱桁(4連)、下部構造が壁式橋脚、基礎形式は直接基礎および杭基礎を採用している。本高架橋における特徴は次のとおりである。

- ① 等桁高多径間連続PC箱桁を採用し、連続性を強調して桁下空間の開放感を確保した。
- ② 日本海側における冬季施工を考慮し、外面を防音パネル等で囲った移動式支保工を採用し、通年施工を可能にした。
- ③ 施工済みの姫川橋りょう(フィンバック構造)との隣接桁は、移動式支保工上においてデッドアンカーを用いた緊張を併用した。

橋梁全体図を図-2, 3, 橋梁諸元は次のとおりである。

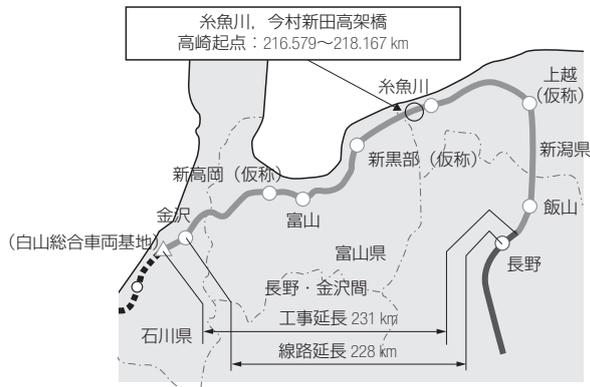


図-1 位置図

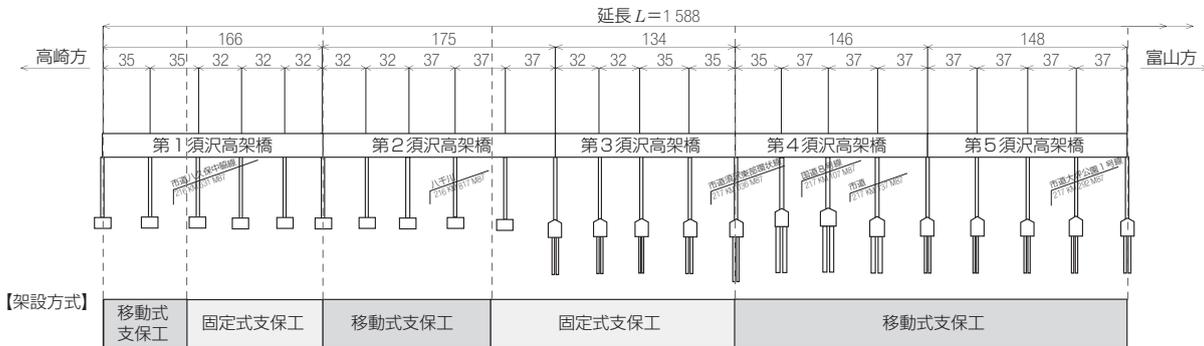
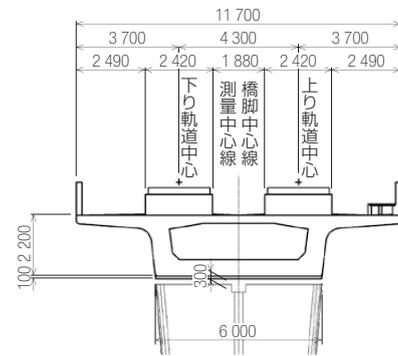


図-2 橋梁全体図 (単位:m)

* (独)鉄道・運輸機構 糸魚川鉄道建設所
 ** 八千代エンジニアリング(株) 技術推進本部 技術管理部
 *** " 総合事業本部 構造・橋梁部
 **** (株)ピーエス三菱 東京支店 土木工部

キーワード：橋梁, 移動式支保工架設

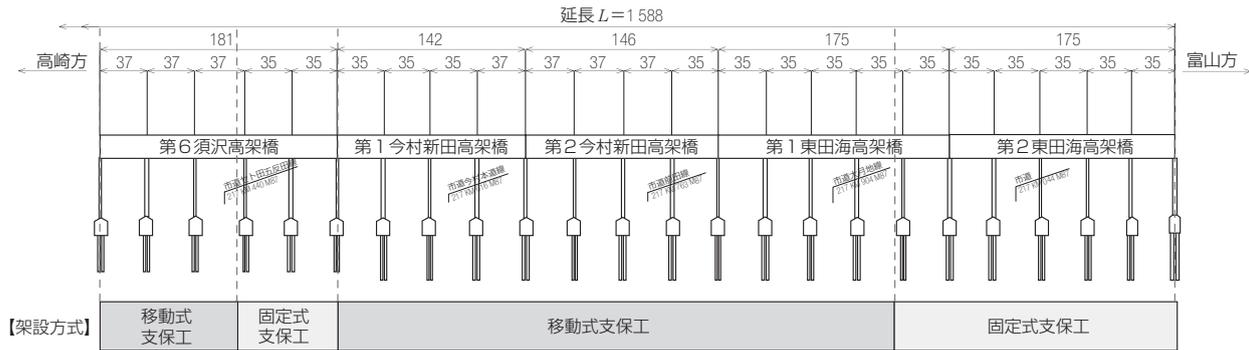


図-3 橋梁全体図 (単位 : m)

〔設計諸元〕

線 名 : 北陸新幹線 (長野・金沢間)
 橋りょう形式 : 4径間連続PC箱桁橋・5連
 5径間連続PC箱桁橋・5連
 橋 長 : 1588 m
 支 間 : 2@35+3@32, 2@32+3@37 m
 2@32+2@37, 35+3@37 m
 4@37 m, 3@37+2@35 m
 3@35+37 m, 3@37+35 m
 5@35 m, 5@35 m
 総 幅 員 : 11.7~11.8 m
 主 桁 構 造 : 箱桁断面 桁高2.20 m
 平 面 線 形 : 直線~R=6000 m
 列 車 荷 重 : 標準活荷重P-16
 設計最高速度 : V=260 km/h
 軌 道 構 造 : スラブ軌道 (貯雪式)
 支 承 構 造 : ゴム支承
 ストッパー構造 : ダンパーストッパー, 鋼角ストッパー

2. 橋梁計画

2-1 径間割の検討

コントロールポイントとなる交差条件を満足する径間割を基本に、地元との協議により周辺景観に配慮し32~37mの径間が連続する径間割とした。

2-2 上部工構造形式の検討

32~37mの径間割の場合、鉄道高架橋で標準的なラーメン高架橋ではなくPC桁による桁式高架橋となるため、単純桁と連続桁の比較検討および架設工法の比較検討を行った。

(1) 架設工法の比較

比較検討は、桁長4@37mの4径間連続桁の多連高架橋を対象に、移動式支保工架設、固定式支保工架設および押し出し架設の3工法について比較を行った。検討の結果、以下の理由により移動式支保工架設を採用した。

- ① 対象区間が約1.6kmと延長が長く、移動式支保工の転用回数が多くなるため、経済性に有利となる。
- ② 一般には桁式支保工の場合、交差道路車道部に支柱を設置する必要があり、建築限界の確保が難しい。移動式支保工架設の場合、必要支間長を確保するため桁下空間に制約されにくいため、国道8号上の施

工が可能となる。

- ③ 日本海沿岸域のため冬季は厳しい施工環境が予想され、外面を防音パネル等で囲った移動式支保工架設が有利である。
- ④ 押し出し延長が長く、仮設設備費が割高となる。

(2) 単純桁と連続桁の比較

鉄道橋ではレールが連続しているため、桁間の目地を無くすために連続桁化する必要はない。しかし、連続桁案は単純桁案に比べPC鋼材量、支承、ストッパー基数が少なく経済的に有利であり、連続化により景観性が向上し走行性も高くなる。さらに橋脚天端の施工性が良いという優位性もある。したがって、連続桁を採用した。

単純桁と連続桁の比較を表-1に示す。

表-1 単純桁と連続桁の比較表

| 項目 | 単純桁 | 連続桁 |
|------------|--|--|
| 施工性 | 支保工支持のため、橋脚上または地面に支保工支持のためのスペースを確保する必要がある。 | 中間支点上は、予め支点上横桁を施工し、支保工の反力台とすることが可能であり、橋脚上は特に配慮しなくてもよい。端支点は、単純桁に同様である。 |
| 構造的性 | 片引き緊張により施工されるため、固定側は埋込みアンカーとする。セルフアンカーの場合は、固定端側にコーンセット可能な施工空間を切欠き等で設ける。デッドアンカーを使用する場合は、PC鋼材は長時間大気中に曝されるため養生が必要である。 | 固定側は単純桁に同様であるが、緊張側は施工目地部となる。PC鋼材は緊張後カップラーにより延長する。このため、施工時にPC鋼材は長時間大気中に曝されるため、養生が必要である。 |
| 経済性 | PC定着具セット数は連続桁に対し多くなる。 | PC鋼材定着具は単純桁に対し少ないが、カップラーが必要となる。PC鋼材量が少なくなる。 |
| 景観性 | 目路遊間が多く、連続性に欠け景観的に劣る。 | 目路遊間が少なく、連続性に優れる。 |
| 維持・管理 | 支承、ストッパー数が多く、管理項目が増加する。PC鋼材緊張後埋め部の処理数が多くなる。 | 支承、ストッパー数が少なく、管理面で有利である。PC鋼材緊張後埋め部の処理数が少ない。 |
| 走行性 | たわみが大きくなりやすいため、走行安全性や乗り心地に配慮する必要がある。 | 単純桁に比べ、たわみが小さく走行安全性や乗り心地に優れる。 |
| 不等沈下に対する影響 | 影響なし | 設計時に、不等沈下5cm程度を想定し耐力を確保する。(沈下は地盤のクリープ変形とみなす) |
| 総合評価 | △ | ◎ |

2-3 基礎形式の検討

多径間PC連続桁の基礎形式は地盤条件を考慮したうえで、掛け違い橋脚の沈下の影響を小さくするために、原則一連の桁区間では同一形式とした。

① 直接基礎区間

第1須沢高架橋 P1～第2須沢高架橋 P4

② 杭基礎（場所打ち杭）区間

第2須沢高架橋 P5～第2東田海高架橋 P5

3. 高架橋（移動式支保工架設）の設計

3-1 設計上の留意点

- ① 海岸線に近く、日本海に面した厳しい塩害環境条件に位置するため、新幹線PC橋梁の標準仕様であるPPC構造は採用せず、ひび割れを極力発生させないPC構造とした。
- ② 塩害を考慮し、かぶり70 mm（通常より20 mm増）として各最小部材厚を設定した。また、地覆等鉄筋かぶりが確保できない部分についてはエポキシ被覆鉄筋で対応した。
- ③ 国道8号の交差条件として、建築限界高を完成時で5.5 m確保することが求められたため、主桁高は $H=2.2$ m（桁高/スパン=1/17程度）とした。
- ④ 主方向の打継ぎの施工目地位置は、ケーブル接続具の配置と断面力分布（モーメントが交番する0.2L付近）を考慮し、各支点から7.5 mとした。
- ⑤ 移動式支保工架設であることから1径間ごとに施工するため、主方向PCケーブルはカップリング（接続具）による連続配置を基本とした。
- ⑥ 中間支点横桁の施工は、施工性、工期短縮の観点から、現場打ち先行打設とした（図-4）。

3-2 主方向の解析

- ・主方向の解析は、棒理論による平面骨組み解析により行い移動式支保工架設による施工ステップを考慮した

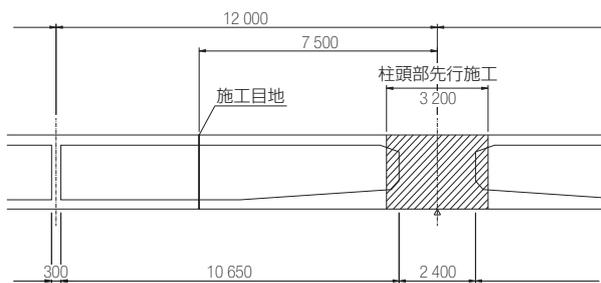


図-4 中間支点横桁および施工目地位置

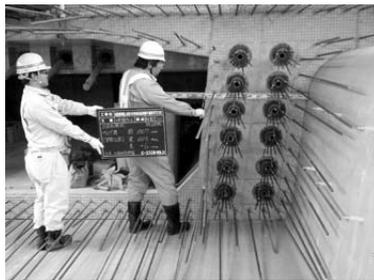


写真-1 定着状況



写真-2 カップラー接続状況



写真-3 接続完了

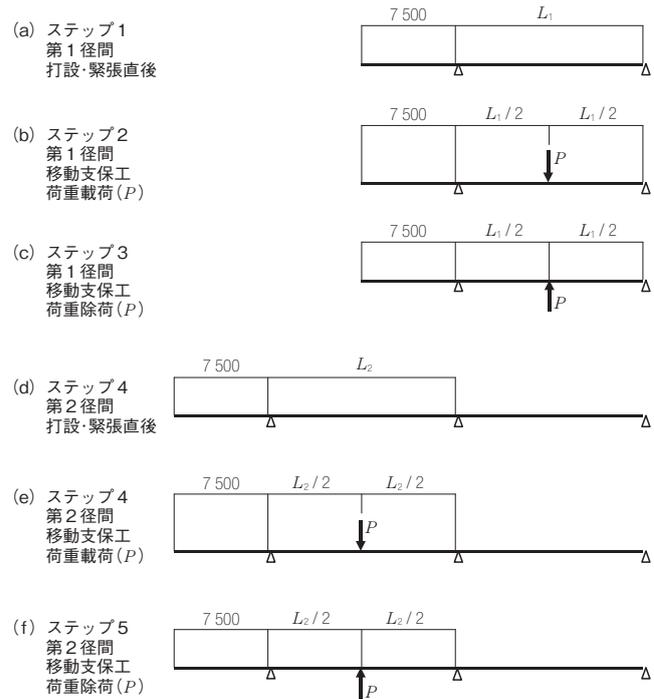


図-5 施工ステップ図

表-2 標準作業日数

| 径間長 | 標準日数(日) | 稼働効率を考慮(日) | 寒冷地等(日) |
|--------|---------|------------|---------|
| 35 m以下 | 13 | 15 | 16 |
| 37 m | 14 | 16 | 17 |

断面力を算出した。

- ・クリープ・乾燥収縮の影響は、打設部材の材齢差を考慮した。
- ・各架設ステップで、移動式支保工荷重を考慮する。移動式支保工荷重は、施工ステップごとに移動する集中荷重として考慮した。

施工ステップを図-5、標準作業日数を表-2に示す。

3-3 PC鋼材の配置

(1) カップリング部の考え方

本高架橋のケーブル接続は、モノグリッパ型カップラー(C12T13MH)を採用した。その接続手順は、写真-1（全ブロック端部への定着）、写真-2（カップラーによるケーブル接続）、写真-3（接続部カップラーシーす組立て）である。しかし、本高架橋の最終径間において以下の問題があった。

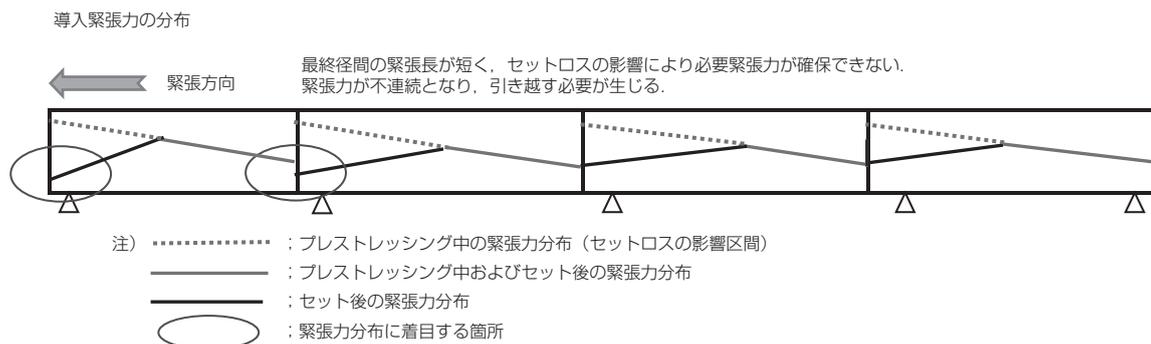


図-6 移動支保工 架設状況

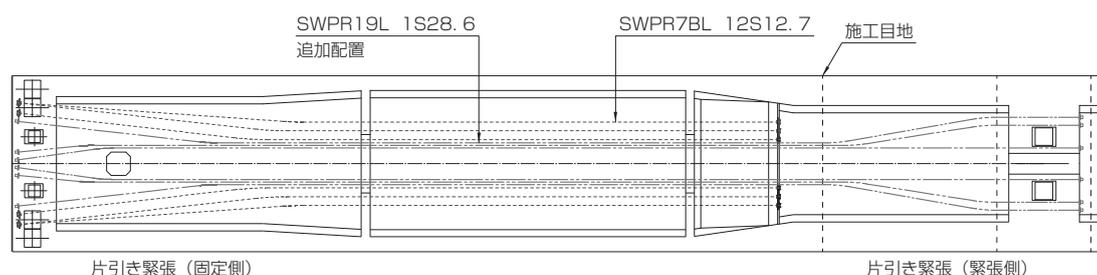


図-7 平面配置図

- ① 本橋では図-4に示すとおり、施工目地を $0.2L$ 位置としたため、最終径間では施工長が短くなり（最短長25.6m）曲げ上げ角度の小さいケーブルではセット量（12T13M220では8mm）の影響が大きく、所定の緊張力を導入するためには引き越す必要が生じる。緊張力分布パターンを図-6に示す。
- ② ここで、引き越し作業の場合、接続部が引き越されると前径間も再緊張されてPC鋼材が伸びるため、見かけの鋼材長が変化し通常の固定端から緊張端間での緊張管理が適用できない。また、緊張作業中の引き越し直前、直後および緊張完了後における接続部の状態が直接確認できない等の問題が生じる。

以上のように、引き越しを行ううえでは十分な検討が必要となってくる。設計段階から引き越しが課題であったので、最終的には引き越しを生じさせない緊張力に低減して、不足する緊張力に対してはPC鋼材を新たに追加配置することにした。

(2) PC鋼材の追加配置

PC鋼材の追加配置において

- ① ウェブへの追加配置は写真-1に示すとおりスペース的に不可能なため下床版に配置する。
- ② 死荷重を増加させないため、継目部を通過させ支点横桁に定着する。
- ③ 支点部には検査孔およびストッパーと補強筋が密に配置されており、大容量のPC鋼材を配置・定着することは困難である。

以上を考慮し、シングルストランド（1S28.6）を下床版に6本追加配置した。図-7に平面配置図を示す。

3-4 耐震設計

落橋防止システムは、一般的な鉄道PC連続桁同様、積層ゴム支承と鋼角ストッパー、ダンパーストッパーの組み合わせとした。

3-5 景観設計

市街地に計画されたため、周辺住環境との調和が図れるよう景観性に配慮した。

橋脚く体形状は、張出し梁を無くし、傾きを一定勾配とした逆台形橋脚とし、 $R=300$ mmの面取りを施した。また、橋脚中央部に設けた凹状切欠き部に角形排水管を採用して景観に配慮した。

上部工形状は、等桁高多径間連続として直線性を強調し、斜めウェブ、面取りを採用して景観性に配慮した。電柱支持梁は断面形状を台形にすることにより、圧迫感をなくした（写真-4）。

4. 高架橋の施工

4-1 移動式支保工架設の概要

(1) 概要と特徴

移動式支保工を用いた架設工法は、型枠および支保工を部分的に解体・組立てを繰り返しながら、1径間ずつ順次橋体を施工する工法であり、一定規模以上の多径間橋梁に有利な架設工法である。

特徴を以下に列記する。



写真-4 完成写真

- ① 施工時に橋体下の空間が確保されるため、桁下空間の状況に制約されにくい。
- ② 今回の施工では、橋体を上屋で覆う方式を採用したため、風雨等の気象条件に左右されずに施工でき、工程が管理しやすい。
- ③ 作業に連続性があり、作業員の熟練度が速い。機械化により省力化、急速施工が可能であり、品質も向上する。

(2) 施工要領

本橋では、桁下空間の余裕、支間割、橋脚形状等の理由によりハンガータイプの移動式支保工を採用した。ハン



写真-5 移動支保工 架設状況

表-3 移動式支保工 標準サイクル (実働)

| 工程 | 作業種別 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------------|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 型枠工 | 外型枠セット | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 内型枠セット | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 鉄筋工 | 下床鉄筋組立て ウェブ鉄筋組立て | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | 上床版鉄筋組立て | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PCI | 主ケーブル組立て (12S12.7, 12S15.2) | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| | 横網ケーブル組立て (1S28.6) | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | |
| コンクリート工 | 主桁コンクリート打設 | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| 養生工 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 緊張工 | 主ケーブル緊張 (12S12.7, 12S15.2) | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| | 横網ケーブル緊張 (1S28.6: プレグラウト) | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 脱枠・支保工開放 | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 支保工移動・据付け工 | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |

ガータイプでは、2組の架設桁より吊り下げた型枠で主桁コンクリート荷重を支持し、架設桁は前方部に手延べ桁を設け、前方R1、後方R2の支持架台に据え付けられる。表-3に移動式支保工の標準サイクルを、図-8に連続桁施工ステップを示す。

外型枠は、側型枠と底型枠が一体となっており、移動時に橋脚をかわすため左右に分割できる開閉可能な構造である(写真-5)。

4-2 国道部架設における課題

(1) 当初の施工計画

国道直上の桁架設にかかわる安全対策として、次の3項目を考慮した。

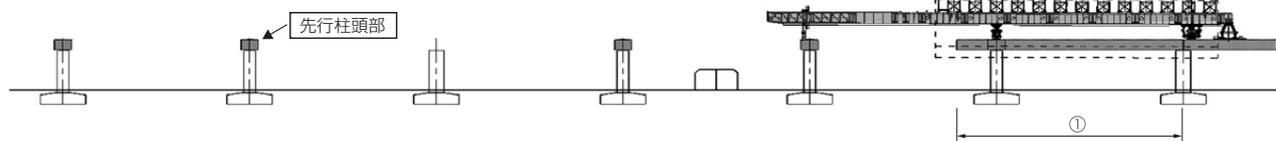
- ① 国道と高架橋に平行した市道との交差点4方向に高さ制限門構を設置し、移動式支保工への車両衝突を防止する。
- ② 国道は片側1車線を確保し、それ以外のスペースで型枠を開閉させる。閉じた型枠直下で片側交互通行規制するが、安全上移動時は全面通行止めとする。
- ③ 型枠1ユニット(L=4m)を移動の1単位とし、全面通行止めの時間を10分とする。

(2) 国土交通省との施工協議

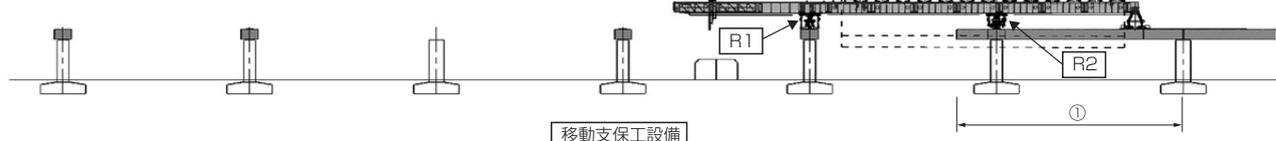
その後、国土交通省との施工協議で、施工時の安全性を確保するために以下の条件が付された。

- ① 交差点の直前だけに高さ制限門構を設置した場合、高さを超過した車両の転回スペースがないため、大

(a) ステップ-1: 第1施工区間の施工



(b) ステップ-2: 移動支保工設備 次径間へ移動



(c) ステップ-3: 第2施工区間の施工 (以降繰返し)

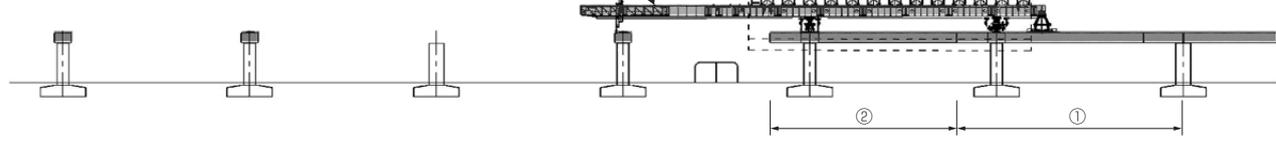
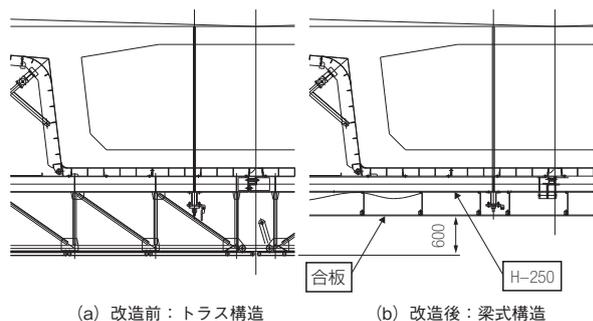


図-8 移動支保工 連続桁施工ステップ図



(a) 改造前：トラス構造 (b) 改造後：梁式構造

図-9 改造前後の断面図

型車両が迂回可能なルートを設定し、迂回を促す高さ警告装置を設置すること。

- ② 高さ制限門構を設置しない場合は、桁下クリアランス高さを4.5 m以上確保すること。
- ③ 通行規制は、安全上昼間が望ましい。

(3) 施工協議後の課題

国土交通省条件の①については、設置箇所が増加し、費用も高額となることが予想された。経済比較の結果、②の方法を採用することにした。

また、国道通過部では型枠を改造することにした。

4-3 型枠設備の改造

(1) 改造の要求条件

改造の要求条件は、下記のとおりである。

- ① 国土交通省条件である施工時高さを確保する。
- ② 落下物防護を施工する。

(2) 改造内容

これらの条件に対し、検討、協議の結果、以下のように改造した。図-9に、改造前後の断面図を示す。

- ① 型枠主梁構造を変更し、防護を含めて桁下クリアランス高さ4.5 mを確保した。
- ② 改造後も合板による全面板張り防護とした。

4-4 国道部の主桁架設

主桁架設時の規制形態は、R1支持架台が国道上を通過するときのみ全面通行止めとした。移動支保工全体の移動時は、国道1車線を確保するために、桁下に支障がない箇所においては型枠を開いたままの状態でも移動するところを、橋脚の前後で型枠を開閉させながら、国道直上では型枠を閉じ、その直下で片側交互通行規制を行い、昼間作業で移動することができた(写真-6)。

国道直上への移動式支保工進入を平成22年10月28日に、コンクリート打設を平成22年11月11日に、国道径間からの退出を平成22年11月18日に完了した。

主桁架設時に、長時間の全面通行止めをすることなく、無事施工することができた(写真-7)。

おわりに

移動式支保工による鉄道高架橋の最近の事例としては九州新幹線白水高架橋、東北新幹線第1乙茂内高架橋等いず



写真-6 国道部 移動状況



写真-7 国道部 主桁架設完了

れも単純T形桁でありPC連続桁形式鉄道高架は他に例を見ない。今回の移動式支保工による架設により、日本海側の大動脈である国道8号の通行を極力阻害することなく施工することができた。

本工事に多大な協力支援をいただいた関係各位に感謝するとともに、今後の類似施工の一助になれば幸いです。

[プロジェクトデータ]

橋名：今村新田高架橋
 所在地：新潟県糸魚川市
 橋長：1588 m
 支間長：2@35+3@32 m, 2@32+3@37 m, 2@32+2@37 m, 35+3@37 m, 4@37 m, 3@37+2@35 m, 3@35+37 m, 3@37+35 m, 5@35 m, 5@35 m
 構造形式：PC連続桁橋
 荷重：P-16, M-18
 事業主：(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 北陸新幹線第二建設局
 基本設計：八千代エンジニアリング(株)
 詳細設計：同上
 施工：ピーエス三菱・若築建設特定建設工事共同企業体
 施工協力：第一舗道(株), (株)鈴木組
 猪又建設(株), 北日本水研(株), (株)ピーエスケー
 メーカー：コンクリート (株)今井生コン, 協栄産業(株)
 PCケーブル 住友電工スチールワイヤー(株)
 定着具 極東鋼弦コンクリート振興(株)
 支承 山陽化学(株)
 ストッパ オイレス工業(株), (株)巴製作所
 工期：基本設計 平成14年 6月～平成15年 1月
 詳細設計 平成14年12月～平成15年10月
 施工 平成20年 9月～平成23年 5月