

施工空間と施工工程に配慮した波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計・施工

— 東海北陸自動車道 ^{うわみばし} 上見橋(II期線) —

東京土木支店	土木工事部 (名古屋支店駐在)	服部義教
東京土木支店	土木工事部 (名古屋支店駐在)	富山峰行
東京土木支店	土木工事部 (名古屋支店駐在)	佐藤純也
東京土木支店	土木技術部	古村豊

概要：上見橋(II期線)は、東海北陸自動車道の4車線化事業の一環として、富山県南砺市の山間部に架橋されたPRC3径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋は、固定支間長に対して橋脚高が低く、加えてP1、P2橋脚高さや断面剛性が著しく異なる構造的特徴を有しており、ラーメン構造への設計的配慮が必要とされた。本橋の架橋場所は豪雪地域であり、天候不良に伴う施工工程遅延リスクが想定されたことから、施工工程の短縮を目的とした構造変更や施工対策を講じた。さらに、A1～P1径間は仮栈橋とI期線橋梁の間に位置することに加えて桁下空間が狭い狭隘な施工環境であり、張出し架設の可否が不明確であったことかCIMモデルによる施工干渉確認と事前の対策検討を行うことで狭隘空間での張出し架設を実現した。本報告は本橋の構造的特徴と工程短縮および狭隘空間施工に配慮した設計、施工について報告する。

Key Words：工程短縮、狭隘空間、波形鋼板、埋設型枠、CIM、低橋脚

1. はじめに

東海北陸自動車道は名神高速道路と北陸自動車道を相互に連結する延長185kmの高速道路であり、2008年7月に全線が開通した。現在は4車線化が進められており、富山県内においては小矢部砺波JCTから白川郷ICまでの42.6km区間の4車線化を推進している。本橋は、城端SAから五箇山IC間にII期線橋梁として建設されたPRC3径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋の構造的な特徴として、P1、P2橋脚相互の橋脚高さおよび断面剛性が大きく異なるため、設計段階においてラーメン構造としての成立性を検証する必要があった。また、本橋の架橋場所は豪雪地域であり、天候不良に伴う施工工程遅延リスクが想定されたことから、施工工程の短縮を目的とした構造変更や施工時の対策が求められた。さらに、A1～P1径間は仮栈橋とI期線橋梁の間に位置することに加えて桁下空間が狭い狭隘な施工環境であり、張出し架設の可否が不明確であったことから、地盤形状を含めた支障物位置の詳細な計測、それを踏まえた架設計画の立案が必要とされた。本報告は工程短縮、狭隘空間での施工に対する解決策について述べる。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

本工事の工事概要を表-1、本橋の橋梁諸元を表-2、上部工および下部工の使用材料を表-3、4、橋梁一般図を図-1に示す。



服部義教



富山峰行



佐藤純也



古村豊

表-1 工事概要

工 事 名	東海北陸自動車道 上見橋(上・下部工)工事
路 線 名	東海北陸自動車道
工 事 場 所	自)富山県南砺市徳成 至)富山県南砺市上原
発 注 者	中日本高速道路株式会社 金沢支社
施 工 者	株式会社ピーエス三菱・名工建設株式会社 特定建設工事共同企業体
工 期	2019年3月19日～2022年7月20日

表-2 橋梁諸元

構 造 形 式	PRC3 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋
橋 長	257.0m
支 間 割	66.3+122.0+66.3m
有 効 幅 員	9.010m
施 工 方 法	張出し架設工法, 固定支保工架設工法 (側径間部)
地 盤 種 別	I種地盤

表-3 上部工使用材料

			材料仕様	単位	数 量
コンクリート			40N/mm ²	m ³	2418
鉄 筋			SD345, SD490	t	421.3
PC 鋼 材	縦締め	内ケーブル	12S15.2	t	58.0
			12S15.7ECF	t	9.6
		外ケーブル	19S15.2ECF	t	32.7
	横締め内ケーブル		1S19.3, 1S21.8, 1S28.6	t	10.6
波 形 鋼 板			SM400, SM490Y	t	264.2

表-4 下部工使用材料

			材料仕様	単位	数 量
コンクリート			30N/mm ²	m ³	740
鉄 筋			SD345	t	363.8

2.2 本橋の施工方法の概要

本橋の施工ステップを図-2に示す。張出し架設はP2橋脚側を先行して施工し、移動作業車解体後、A2側径間の施工を行った。P1橋脚側においては張出し架設完了後、A1側の移動作業車は張出し先端部で解体、P2側の移動作業車は柱頭部まで後退したのちA1側径間を施工し、A1側径間施工完了後、移動作業車を張出し先端まで前進し中央閉合部を施工した。

2.3 本橋の構造的特徴

本橋の主要な構造的特徴を以下に示す。

- ①固定支間長に対してP1橋脚の高さが極端に低い構造的特徴を有している。
- ②P1, P2橋脚相互の橋脚高さが極端に異なる。
- ③P1橋脚が充実断面, P2橋脚が中空断面であり, 両橋脚の断面剛性が著しく異なる。

2.4 本工事における課題

本工事における課題を以下に示す。

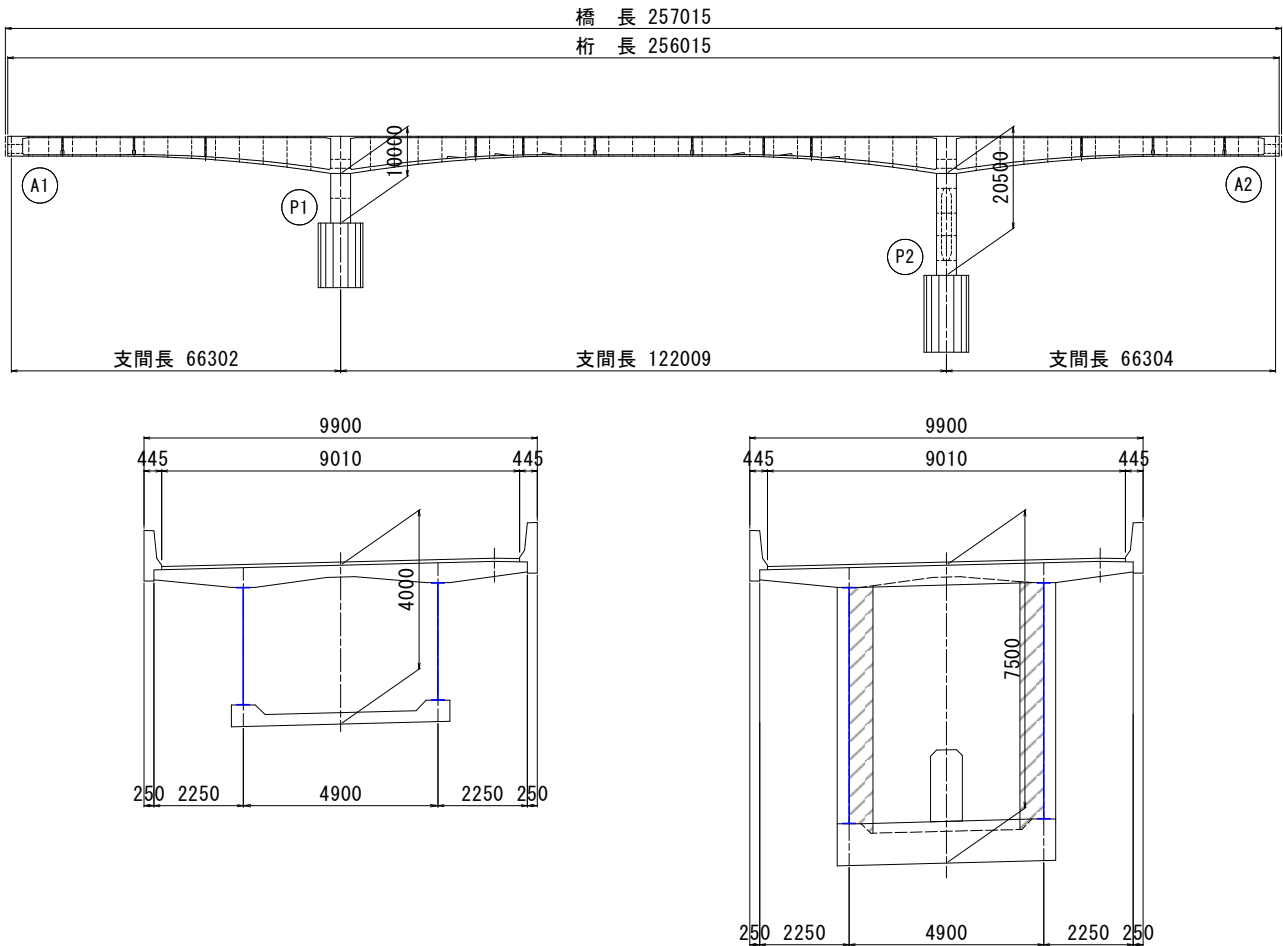


図-1 橋梁一般図

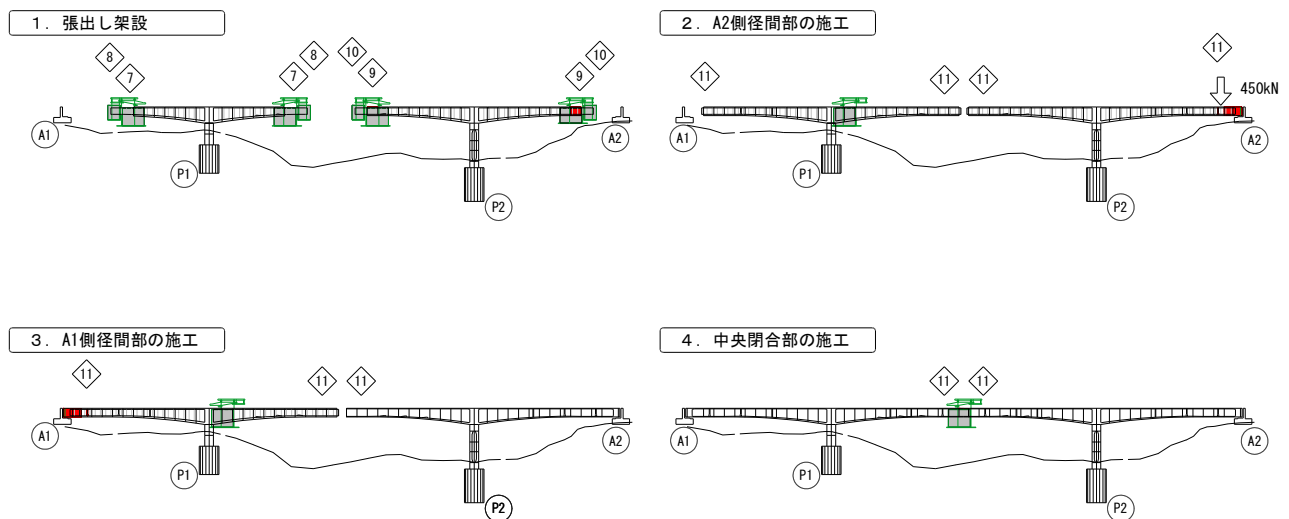


図-2 施工ステップ図

- ①固定支間長に対して P1 橋脚高が低い構造的特徴を有することから、ラーメン構造の成立性に対して設計計画段階における検証が必要となる。
- ②P1, P2 橋脚相互の高さや断面性能が異なる。P2 橋脚は P1 橋脚に比べて曲げ剛性が低いため、構造系完成後の上部構造の不静定力に対する影響が大きくなり、構造成立性において支配的となる。

- ③工程遅延リスクに伴う工程短縮に配慮した張出し架設の設計計画が必要となる。
- ④本橋の架橋地は北陸地方特有の豪雪地域であり、天候不良に伴う工程遅延リスクが想定されたことから、工程維持を目的とした施工工程の短縮が必要となる。
- ⑤A1～P1 径間は仮栈橋と I 期線橋梁の間に位置することに加えて、桁下空間が狭い狭隘な施工環境であることから、張出し架設時における移動作業車の干渉等による施工可否が不明確であった。
- ⑥本橋と I 期線橋梁の離隔が非常に狭いため、型枠の組立・解体を有する通常の壁高欄施工が困難である。

3. 設計における課題と対策

3.1 設計的な課題

本橋の設計的な課題は以下のとおりである。

- ①固定支間長に対して P1 橋脚高が低い構造的特徴を有することから、ラーメン構造の成立性に対して設計計画段階における検証が必要となる。
- ②P1, P2 橋脚相互の高さや断面性能が異なる。P2 橋脚は P1 橋脚に比べて曲げ剛性が低いため、構造系完成後の上部構造の不静定力に対する影響が大きくなり、構造成立性において支配的となる。
- ③工程遅延リスクに伴う工程短縮に配慮した張出し架設の設計計画が必要となる。

3.2 低橋脚ラーメン構造の成立性

本橋は図-1 に示すように、中央支間長に対して P1 橋脚の高さが極端に低い構造スタイルを有する PC ラーメン橋である。文献¹⁾によれば、連続ラーメン橋の構造成立性には固定支間長と橋脚高さの相関があり、固定支間長を L_F とすると、ラーメン構造が成立する端部橋脚高さ Y は、 $Y = -5.4 + 0.3 \times (1/2 L_F)$ 以上とすることを目安としている。ここで、固定支間長の $1/2$ とは図-3 に示すように端部橋脚から上部工の変形の不動点までの距離を示されているものの、それぞれの端部橋脚の高さや断面性能が異なる場合には、図-4 のように不動点の位置は支間長の $1/2$ とはならない。本橋は、P1, P2 橋脚相互の高さや断面性能が大きくことなっており、その不動点位置は P1 から 32m に位置する。図-5 は、本橋の端部橋脚から不動点までの距離と橋脚高さとの関係をプロットした結果である。P1 橋脚高さはラーメン限界線以上の橋脚高さを有し、P2 橋脚高さは同限界線にあることが分かる。このため、固定支間長内の不動点を考慮することにより低橋脚ラーメン構造の成立性を検証した。

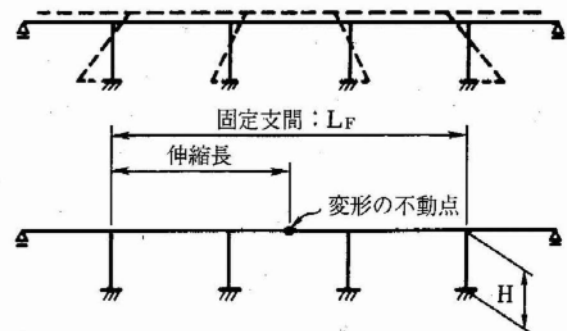


図-3 変形の不動点¹⁾

3.3 P2 橋脚の不静定曲げモーメントの改善

一般に連続ラーメン橋の橋脚は、構造系完成後に進行する上部構造のクリープおよび乾燥収縮に伴い不静定曲げモーメントが作用する。ここで、本橋の P2 橋脚は P1 橋脚に比べて曲げ剛性が低いため、この不静定曲げモーメントは P1 橋脚に比べて P2 橋脚が顕著となる傾向にある。さらに、上部構造の温度変化に伴う橋脚の曲げモーメントも同様に P2 橋脚が顕著となる。このため、P2 橋脚の張出し架設における最大張出し時に、A2 側の張出し架設先端部付近に約 45t のカウンターウェイトを載荷、閉合後に撤去することで、完成時における P2 橋脚の不静定曲げモーメントを低減した。なお、カウンターウェイト載荷以降の各架設ステップの P2 橋脚の曲げ応力度を算出し、ひび割れ発生限界以下となることを照査した。

3.4 工程短縮を目的とした張出し架設方法の変更

工程遅延リスクに伴う張出し架設時の工程短縮を目的として、張出し架設ブロックを削減することとした。基本設計では図-5 に示すように 250tm の標準移動作業車により全 14 ブロックの張出し架設ブロック分割とされていたが、詳細設計では 350tm の中型移動作業車を用いることで全 11 ブロックの張出し架設ブロック分割に変更した。これにより、表-5 に示すように張出し架設の施工工程を 39 日間短縮する計画とした。

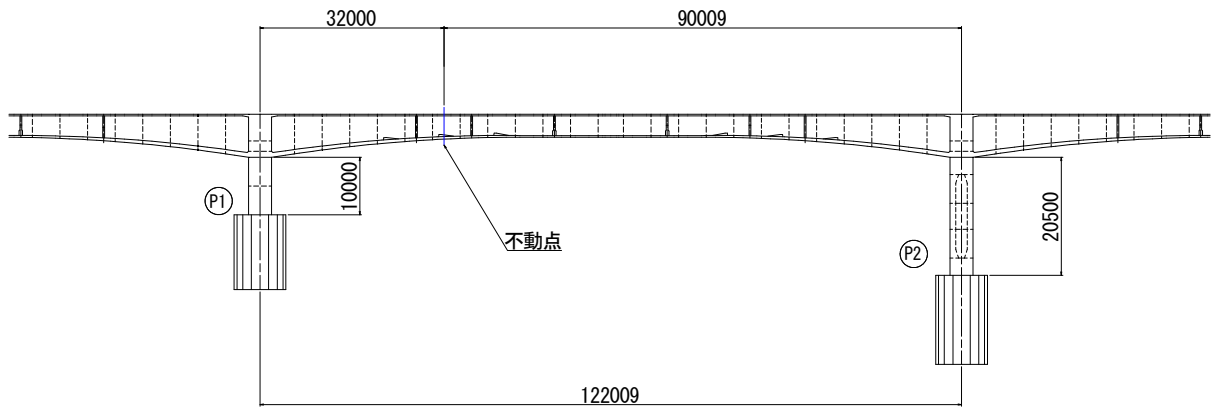


図-4 橋脚高さと固定支間長の関係

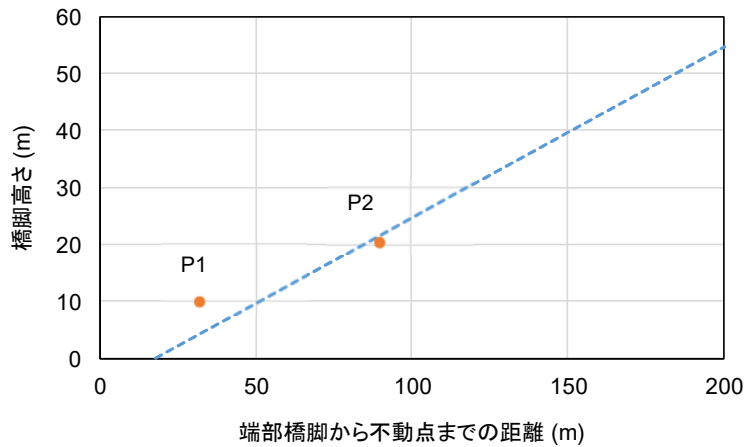


図-5 橋脚から不動点までの距離と橋脚高さの関係

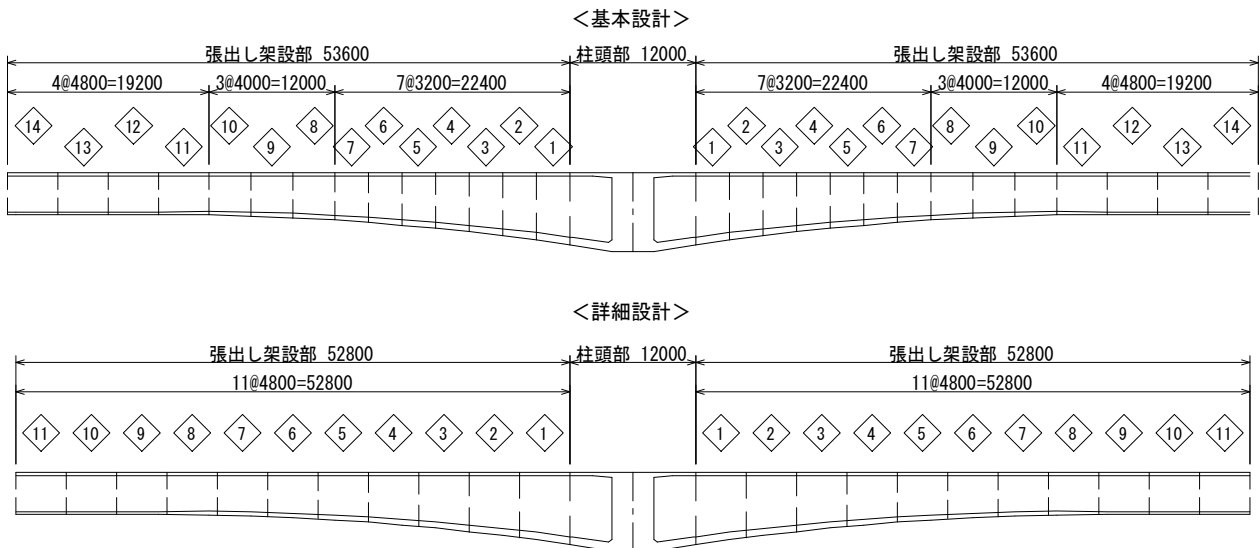


図-6 張出し架設ブロック割付の変更

表-5 張出し架設の施工工程短縮

	張出し架設 BL 数	サイクル日数	施工日数	短縮日数
基本設計	14BL	13日	182日	39日
詳細設計	11BL	13日	143日	

4. 施工における課題と対策

4.1 施工における課題

本橋の施工的な課題は以下のとおりである。

- ①架設地が豪雪地域であり天候不良に伴う工程遅延リスクが想定されたことから、施工工程の短縮が必要となる。
- ②A1-P1 径間は仮栈橋と I 期線橋梁の間に位置することに加えて、桁下空間が狭い狭隘な施工環境であることから、張出し架設時における移動作業車の干渉等による施工可否が不明確である。
- ③本橋と I 期線橋梁の離隔が非常に狭いため、型枠の組立・解体を有する壁高欄の施工が困難である。

4.2 工程短縮を目的とした波形鋼板の先行架設

本橋は架橋地が豪雪地域であり計画時点で天候不良に伴う工程遅延リスクが想定されていたが、その中で張出し施工サイクルにおける波形鋼板接合部の塗装工程は、天候不良を伴う冬季施工期間において特にクリティカルになることが懸念された。そこで本工事においては、前項 3.4 で示した張出し架設ブロックの削減に加え、波形鋼板を次施工ブロック分まで先行架設することで工期遅延リスクの低減を図った(写真-1)。波形鋼板先行架設を踏まえて移動作業車には前方作業台を増設し、モノレール設備により高さ調整を行った(図-7)。波形鋼板を先行架設することにより移動作業車移動後、直ちに当該ブロックの鉄筋・型枠組立作業が開始できた。その間に波形鋼板架設を並行して行うことで、各専門業者の手待ちを減らすことができ、1 サイクル当たり 0.5 日の工程短縮を実現した。



写真-1 波形鋼板の架設状況

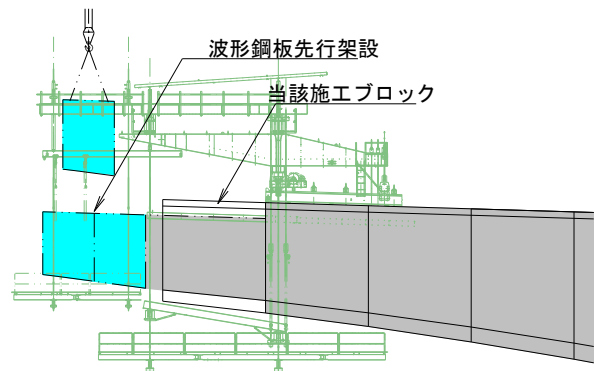


図-7 先行架設設備計画

4.3 狭隘空間における移動作業車の計画

本橋の A1-P1 径間は写真-2 に示すように高速道路 I 期線と仮栈橋の間に位置する。このため下段作業台の幅に制約が生じ、限られたスペースで外周足場を組み立て、施工を進める必要があった。また桁下空間にも余裕が無く地盤掘削の必要があったが、掘削により仮栈橋杭の根入れ長不足が懸念された。これら現場条件の課題に対し、CIM モデルによる施工干渉確認と、事前の対策検討を行った。具体的には現状地形を 3D モデル化し、移動作業車との取り合いを確認し(図-8)、干渉に伴う地盤掘削形状の決定(図-9)、仮栈橋の追加根入れ長の決定および移動作業車のクライミング計画(図-10)を実施した。



写真-2 A1 橋台より望む

移動作業車の側方離隔に対しては、下段作業台の吊り鋼棒の位置を下床版受梁と同一位置にすることで解決した。桁下空間については、CIMモデルを参考に杭根入れ長を確保した上で地盤の掘削を行い、併せて移動作業車のクライミングを行うことで、最小限の施工で課題を解決した。

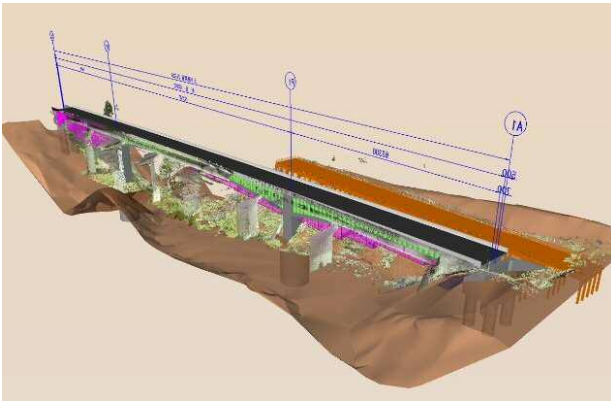


図-8 3Dモデル

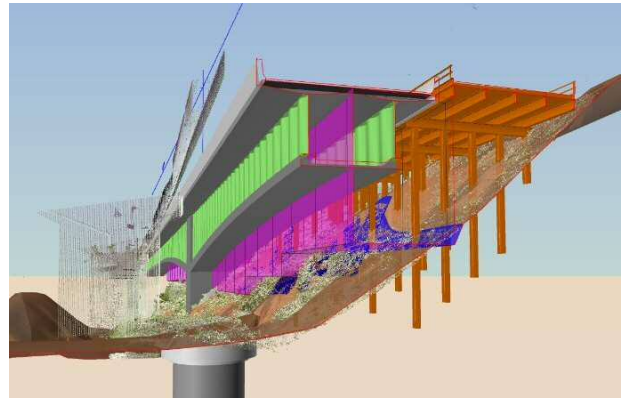


図-9 掘削形状の選定

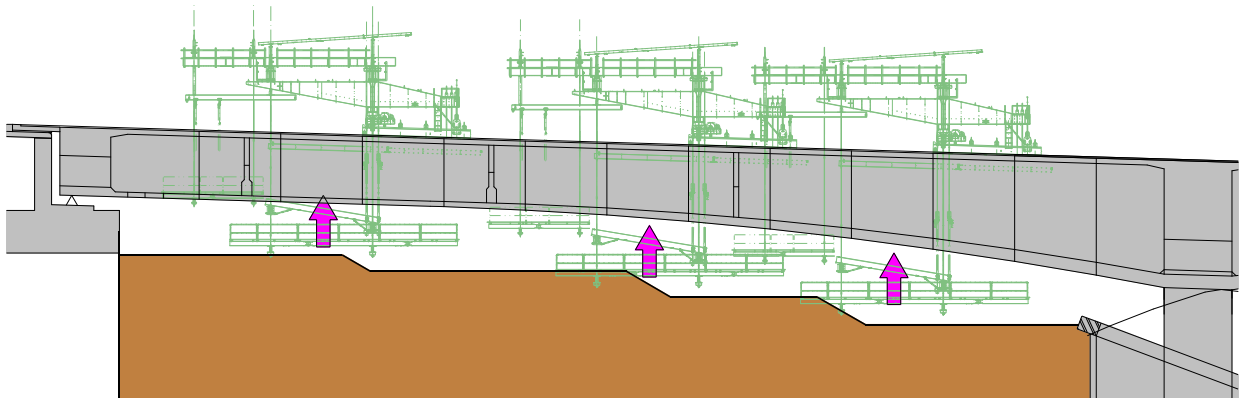


図-10 クライミング計画

4.4 埋設型枠を用いた狭小空間での壁高欄施工

本橋のI期線の壁高欄と新設部の壁高欄との離隔は最小120mm程度となり、足場および外型枠の設置が困難であった。そこでI期線側の壁高欄施工においては、張出し足場および外型枠が不要となる埋設型枠を採用した。埋設型枠設置においては、あらかじめ壁高欄水切り部を施工する必要があったが、壁高欄水切り部の施工は先行ブロックの移動作業車移動後、後方足場を利用して鉄筋型枠の組立てを行い、橋体と同時にコンクリートの打設を行った(図-11)。埋設型枠設置状況を写真-3に示す。埋設型枠寸法は幅550mm、高さ957mm、厚さ33~21mmの凹凸断面形状で、1枚当たり重量は約25kgと人力施工が可能な製品であった。セパレーター取り付け金具は埋設型枠内側に配置されているため、型枠背面での作業は不要であったが、天端付近は面木取り付けのため一部木製型枠を使用した(図-12)。

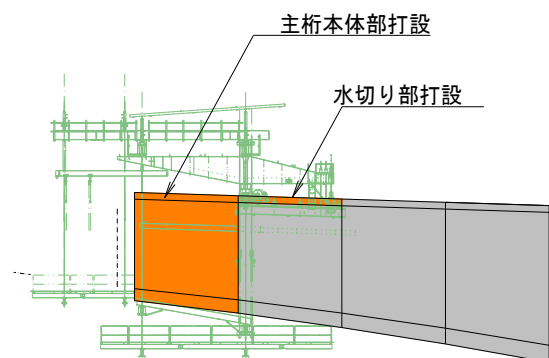


図-11 水切り部の施工状況

埋設型枠による施工速度は木製型枠と同程度であるが、締め付けに伴う仮設材を省略できるため、狭小空間における課題解決のほか、施工の省力化にも貢献できる工法であった。一方、コンクリート打設時には壁高欄外側に手すりが存在しないため墜落、転落のリスクが伴う。打設用足場を計画する際は、外側への墜落、転落を防止する設備に留意する必要がある。



写真-3 埋設型枠の設置状況

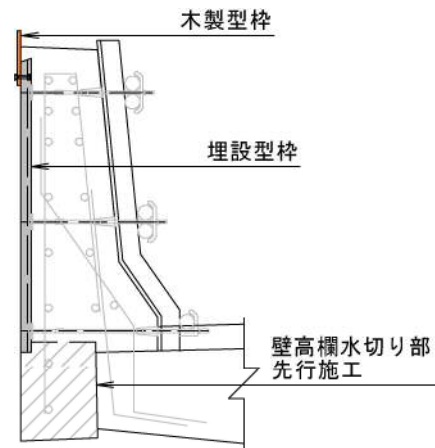


図-12 埋設型枠断面図

5. まとめ

波形鋼板ウェブ箱桁橋の施工実績は多くあるが、架橋場所がⅠ期線に近接、豪雪地帯、工期短縮と制約条件が多い中での橋梁の設計施工には様々なノウハウが求められた。働き方改革が求められる中で工期短縮を図るためには、本報告のような計画段階における工夫・改善が重要となる。今後、付加車線工事が多く施工されることが予想されるため、本報告が今後の同種橋梁の設計施工を行ううえで一助となれば幸いである。

謝辞

本橋の設計ならびに施工では、中日本高速道路株式会社金沢支社および富山高速道路事務所の方々の多大なご指導、ご支援をいただいた。この場を借りて関係各位に心より御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) (財)高速道路調査会：PC多径間連続ラーメン橋に関する研究報告書，1988.11.