

国内最大級スパン長を有する波形鋼板ウェブ橋の施工

大成建設(株) 工修 ○内田 悟史
 大成建設(株) 森田 秀人
 大成建設(株) 正会員 工修 笠倉 和義

1. はじめに

舞鶴若狭自動車道は、吹田市を起点として、中国自動車道の吉川JCTから分岐し、福知山市・舞鶴市・小浜市を経て敦賀市の北陸自動車道に至る延長162kmの高速道路である。本自動車道は、中国自動車道、名神高速道路および北陸自動車道と一体となり、関西圏・中京圏・北陸圏の広域ネットワークを形成するとともに、若狭地域の産業の振興と文化交流の促進に大きく寄与することが期待されている。本報告では、その舞鶴若狭自動車道のうち福井県敦賀市において施工を行った「敦賀衣掛大橋」について報告する。

図-1に全体一般図を示す。本橋の特徴は、基礎工には2基のニューマチックケーソンを用い、下部工は最大63.5mの高橋脚であること、また、上部工は波形鋼板ウェブを用いた箱桁ラーメン橋であり、最大スパン長は160.0mと同形式の橋梁では国内最大級であることである。一般的なコンクリートウェブを用いた上部工において、主桁の重量の30~40%を占めるウェブに波形鋼板を用いることにより、上部工重量を飛躍的に軽減させることができ、スパンの長大化と橋脚のスリム化を実現している。橋梁諸元を表-1に示す。

2. インクライン架設工

急峻な地形であるA1およびP1施工ヤードへのアプローチには、通常であれば仮栈橋を仮設するところを、本工事では工事用道路の借地面積および用地外の伐採面積の削減を目的として、インクラインを併用した。これは、高低差の大きい山腹に架台を設け、土砂運搬ダンプトラックおよびコンクリートミキサー車などの工事用車両を台車に積載して斜面に沿って昇降する装置である(写真-1)。



写真-1 インクライン全景

表-1 橋梁諸元

橋梁形式	上部工	PC5径間連続波形鋼板ウェブ箱桁ラーメン橋
	下部工	逆T式橋台、柱式橋脚
	基礎工	深礎杭、大口径深礎杭、ニューマチックケーソン
橋長	560.000m (桁長: 559.000m)	
支間長	79.70 + 135.00 + 160.00 + 120.00 + 62.65 m	
有効幅員	10.560 m	

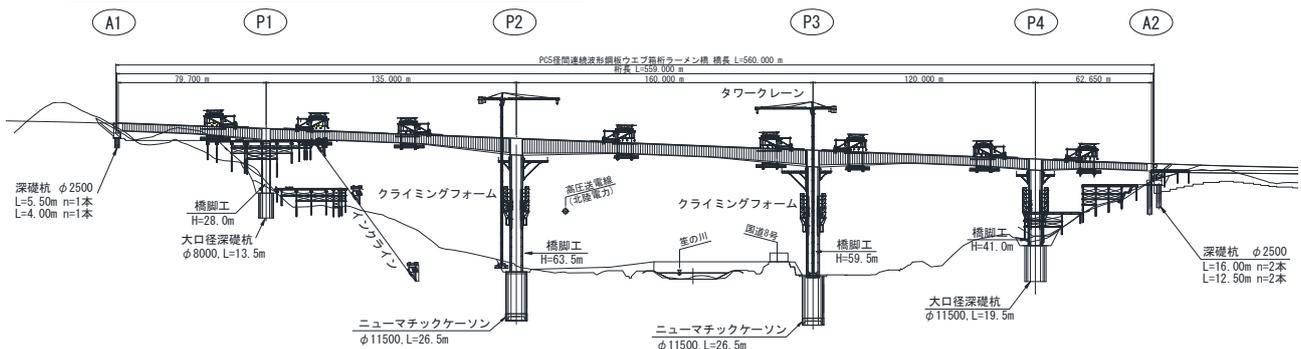


図-1 全体一般図

インクラインは積載量×斜度：40t×40°，高低差：68m，軌条長：124mの大型運搬設備であり，橋梁建設工事に用いられることは極めてまれである。軌条は，まずインクライン台車上に35t級ラフタークレーンを設置し，ダウンザホールハンマーにより地山を掘削，杭を建て込み，1スパン分の軌条設備を架設，その後セルフクライミング装置で台車を1スパン分上昇するサイクルを繰り返す手延べ式架設工法により設置した。

3. ニューマチックケーソン工

P2, P3橋脚の基礎はニューマチックケーソン工法で施工した。1基あたりの施工概要は，直径φ11.5m (103.87m²)，深さ26.5mであり，沈下掘削工としては2801m³である。ケーソン施工箇所の推定支持層が傾斜していることが想定されていたため，沈下掘削にあたりケーソン刃口部φ2000mmの先行掘削および砕石の置換を行ったうえで沈下掘削を実施した。沈下掘削には主に重機を用いたが，硬岩層部における施工効率を向上させるため，発破掘削を併用した。なお，施工箇所には国道や民家が近接していることから，それらへの影響を最小限にするために，分割発破方式を採用した。

図-2にP3ケーソンの沈下掘削方法を示す。前述した推定支持層までの先行掘削区間は主に重機により沈下掘削し，その後，硬岩区間においては4分割，3分割の制御発破を使い分けた。これは地表面に近い区間においては分割数を多くすることにより，発破振動が軽減するためである。図-3に例として4分割制御発破方式を示す。ケーソン内部を(1)内部東側，(2)内部西側，ケーソン周辺を(3)周辺孔 先行発破部，(4)周辺孔 後行発破部とし，大きく4つのエリアに分割し，合計62孔に火薬を設置している。なお，図-3の数値は着火後に発破を開始する時刻であり，25ms (msは1/1000秒)ずつ発破のタイミングをずらす制御発破を行うことで，心抜き・払いを効率的に行い，かつ地表面に伝搬される発破振動を極力小さくしている。

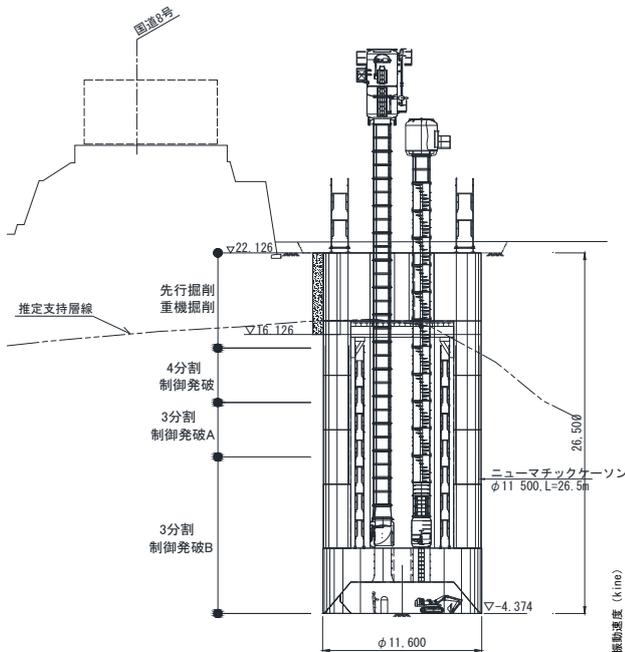


図-2 ケーソン沈下掘削方法

に近い区間においては分割数を多くすることにより，発破振動が軽減するためである。図-3に例として4分割制御発破方式を示す。ケーソン内部を(1)内部東側，(2)内部西側，ケーソン周辺を(3)周辺孔 先行発破部，(4)周辺孔 後行発破部とし，大きく4つのエリアに分割し，合計62孔に火薬を設置している。なお，図-3の数値は着火後に発破を開始する時刻であり，25ms (msは1/1000秒)ずつ発破のタイミングをずらす制御発破を行うことで，心抜き・払いを効率的に行い，かつ地表面に伝搬される発破振動を極力小さくしている。

図-4に発破振動について，事前に推定した理論

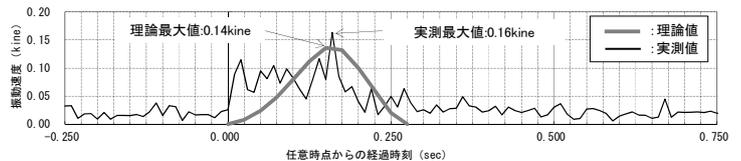
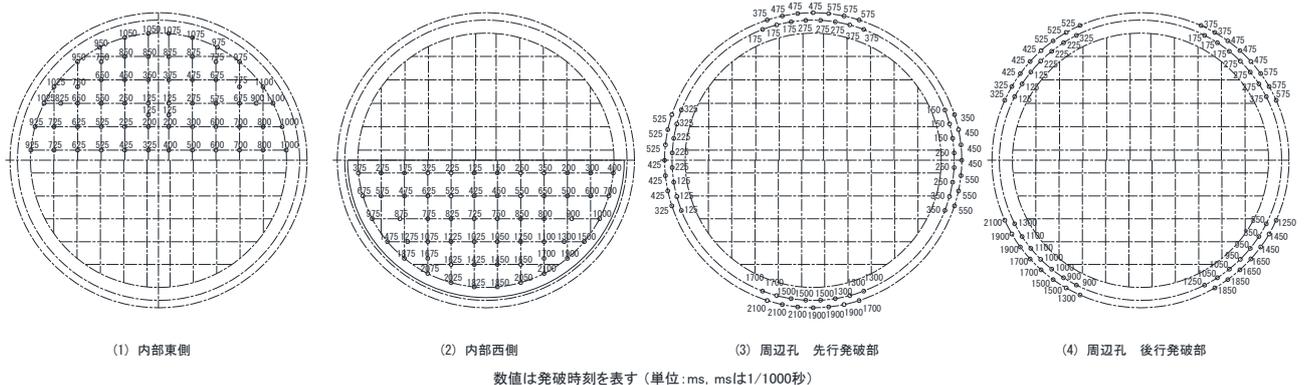


図-4 発破振動の予測と実測値



数値は発破時刻を表す (単位:ms, msは1/1000秒)

図-3 ケーソン発破振動の例

波形と施工時の実測波形を示す。図より、実測値の波形は理論値とおおむね同様の傾向を示しており、最大振動値についても精度よく評価することができた。発破のパターンや火薬量を変更する際には、このように事前に振動波形を推定し、周辺環境への影響を評価したうえで本発破を行った。

4. 上部工の施工

図-5に上部工の施工方法と上越し量を、表-2に上部工の設計概要を示す。本橋はP1橋脚のみに支承を有するラーメン橋で、A1, A2の側径間施工部分を除き、すべてを張出し架設により施工した。張出し架設における1ブロック長は標準3.2mで、最も多いブロック数はP2, P3張出しで23ブロックである。なお、張出し架設区間どうしの中央閉合は移動作業車(以下、トラベラー)によって行った。

張出し架設区間の上越し量はおおむね50mm程度であり、P3張出し架設先端では最大67mmの上越しを行う計画である。上越し量の計算は平面骨組モデルによって解析を行っているが、本橋のような波形鋼板ウェブ橋においては、ウェブのせん断変形など、特有の変形挙動がみられる。上越し量には平面骨組モデルによる曲げたわみ量に加え、三次元FEM解析により算出されたせん断変形量も考慮することで、より高い精度の上越し管理を行った。また、本橋は高橋脚を有するため、上部工の死荷重による橋脚の弾性短縮およびクリープ変形も上越し量に影響する。そこで、橋脚施工に実際に使用するコンクリートの静弾性係数を上越し計算に反映することで精度を高めた。なお、上部工コンクリートについても同様に、実際に使用するコンクリートの静弾性係数と単位体積重量を上越し計算に反映した。

夏期は日照により上床版と下床版に温度差が生じてしまうことにより、曲げ変形が生じる。図-6に事前に解析を行った上下床版温度差-曲げ変形関係を示す。図より、例えば上下床版温度差が8℃生じた場合、張出し架設23BLでは約36mm曲げ変形が生じることになる。本橋では、上床版および下床版コンクリートに埋設した熱伝対から、上下床版の温度差を測定し、事前解析結果を床版型枠セット標高にフィードバックすることで、日照による曲げ変形を考慮した張出し架設を行った。

4.1 柱頭部の施工

柱頭部の桁高は最大で9.0m、横桁厚は最大で7.0mとマッシブなコンクリートであるため、マスコンクリートとしての扱いが必要となる。そこで、事前に三次元FEM解析を用いて温度応力解析を実施し、適切なコンクリート配合と打設リフト割りについて検討を行った(図-7)。

FEM解析の結果、例えばP2柱頭部では目標ひび割れ指数を満たすために打設リフト割りを4分割とし、1~3リ

表-2 上部工設計概要

荷重	B活荷重		
構造形式	PC5径間連続波形鋼板ウェブ箱桁ラーメン橋(PCR構造)		
支間長	79.700m+135.000m+160.000m+120.000m+62.650m		
有効幅員	10.560m		
横断勾配	2.500~3.500%		
縦断勾配	4.00%		
地震係数	水平震度 Kh=0.18		
使用材料	コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	
	鉄筋	SD345, SD490	
	鋼材	SS400, SM490Y	
	PC鋼材	床版横締め	1S21.8
		架設内ケーブル	12S12.7
スパン外ケーブル		19S15.2	

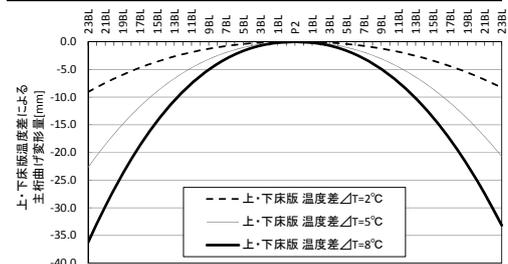


図-6 上下床版温度差と主桁の曲げ変形量

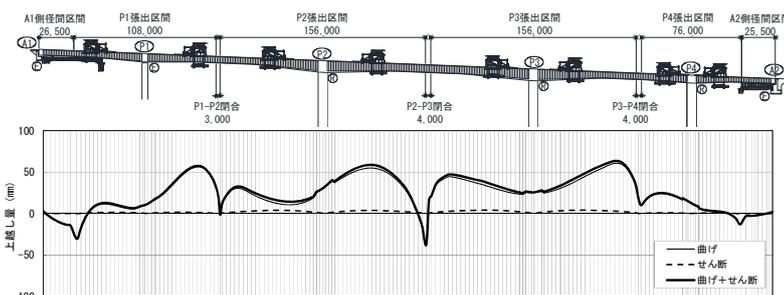


図-5 上部工の施工方法と上越し量

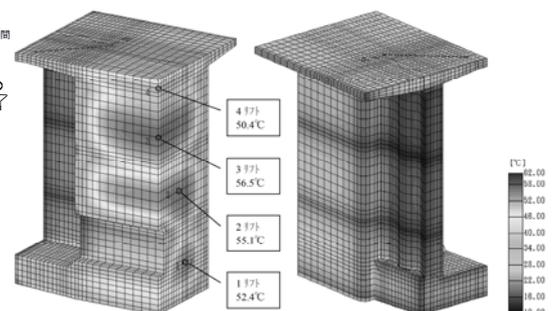


図-7 柱頭部の温度応力解析

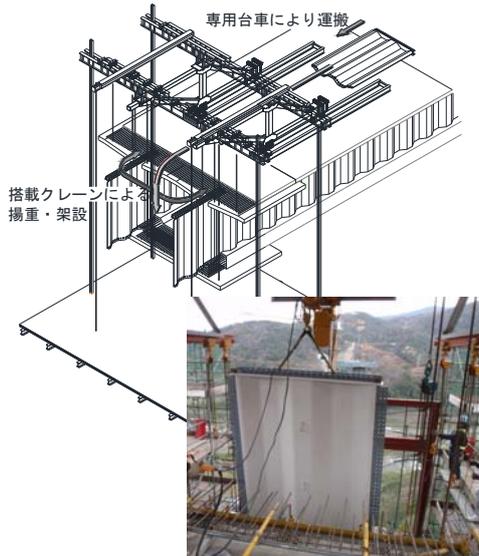


図-8 波形鋼板先行架設工法

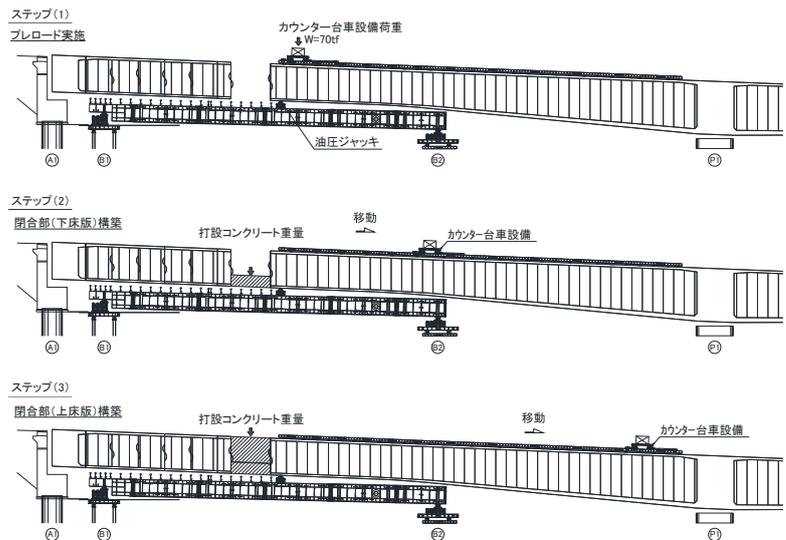


図-9 A1側径間部のプレロード工

フトで低熱コンクリートを使用した。4リフト目（上床版）は打設リフト高が0.5mと低く、柱頭部横桁による外部拘束の影響が大きいため、膨張コンクリートとした。

4.2 張出し架設

P1～P4それぞれの橋脚から行う張出し架設では、工事最盛期では計3橋脚、6トラベラーが同時稼働した。本橋の特徴である波形鋼板ウェブの架設は、工期短縮のため、先行架設工法を採用した（図-8）。これは、張出しブロックのコンクリート打設後、トラベラーを移動する前に次ブロックの波形鋼板ウェブを架設する工法であり、コンクリート打設後の養生期間を有効活用することができる。施工にあたり、トラベラーの下段ステージ前方を拡幅したり、ステージ上の前方足場を省略したりして、波形鋼板を先行架設するスペースを確保するよう改良した。なお、これらの工法により、張出し架設の施工サイクルは実働6日/ブロック程度の急速施工が可能となった。

4.3 側径間工

A1側径間では、支保工長が大きいため、コンクリート打設時には、プレロード工による支保工桁のたわみ量制御を行った。これは床版上に設置したカウンターウェイトにより、あらかじめ支保工桁に変位を生じさせておくことで、コンクリート打設による支保工桁のたわみ量を制御するものである。

図-9にプレロード工の施工ステップを示す。ステップ(1)：該当箇所にカウンターウェイトを設置し、型枠を所定の高さにセットする。ステップ(2)(3)：コンクリート打設時には、発生する曲げモーメントの分、カウンターウェイトを後退させることで、支保工桁に作用する曲げモーメントを変化させない工法である。この工法により、コンクリート打設に伴う異常な沈下が生じることなく、側径間部の施工が可能となった。

5. おわりに

早期の全線開通が望まれる舞鶴若狭自動車道の中でも、本工事の置かれる環境は、多数のインフラに近接する施工環境であることに加え、強風・降雪にさらされ、急峻な地形を跨いで難工事であったが、無事に工事を完了することができた。とくに、インフラに近接する施工管理については、ここでは一部しか紹介することができなかったが、環境影響評価から落下物防止方法まで多岐にわたる検討を踏まえている。また、将来的な維持管理を見越して、安全を確保するための設備や品質管理の工夫を十分に盛り込んでいる。この橋が敦賀市だけでなく嶺南地方のランドマークとなり、北陸圏、近畿圏の経済発展に大きく貢献することを期待する。