

## 日向橋 (波形鋼板ウェブ橋) の設計

川田建設 (株) 北陸支店 正会員 ○ 板谷 城宏  
 日本道路公団 北陸支社 若林 大  
 川田建設 (株) 北陸支店 正会員 柳原 英克  
 川田建設 (株) 北陸支店 後藤 博史

### 1. はじめに

日向橋は、上信越自動車道の複線化 (下り線) に伴う工事で長野県と新潟県の県境付近に位置する P C 4 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋である。架設工法は、移動作業車による張出し架設で、P3~A2 径間部は固定支保工で計画されている。基本設計は全外ケーブル方式で設計され、同方式で発注された。しかし、グラウトの管理手法や確認方法に関して、近年の試験施工実績などにより、技術革新が図られてきている。よって本橋では、コスト削減を目的として、直線的に配置可能な張出し架設ケーブルを内ケーブルとした内外併用ケーブル方式に変更して詳細設計を行った。以下に、本橋の詳細設計の概要を報告する。

### 2. 工事概要

工事概要は、以下のとおりである。また、断面図 (図-1)、橋梁一般図 (図-2) を示す。

工事名	上信越自動車道 日向橋 (P C 上部工) 工事
路線名	高速自動車国道 関越自動車道 上越線
工事箇所	(自) 長野県下水内郡豊田村大字永江 (至) 長野県上水内郡三水村大字芋川
道路規格	第1種第3級B規格 (設計速度 V=80km/h)
構造形式	P C 4 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋
橋長	217.700m
桁長	217.200m
幅員	10.000m
支間	46.400m+78.000m+47.100m+44.300m
工期	平成16年8月31日 ~ 平成18年8月20日

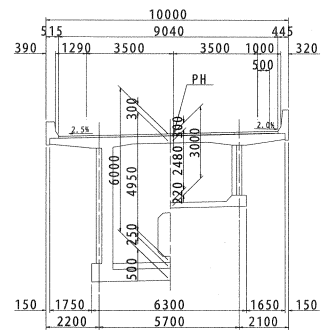


図-1 断面図

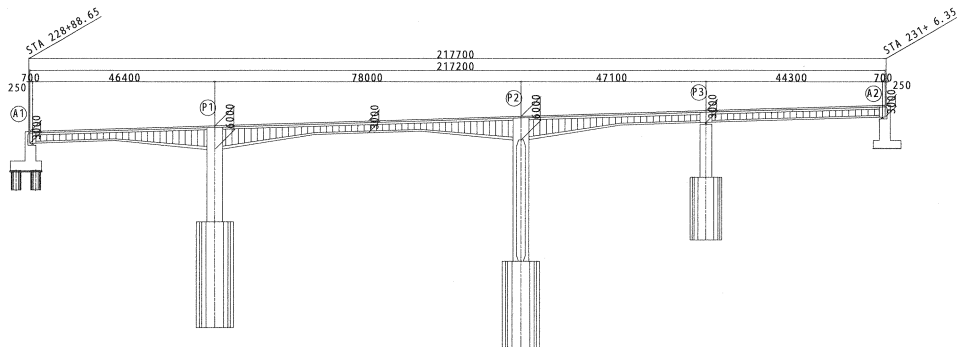


図-2 橋梁一般図

### 3. 設計概要

以下に、本橋の設計概要を示す。

#### 3-1 断面形状

本橋は、張出し架設鋼材を内ケーブル方式、完成系ケーブルを外ケーブル方式とした。基本設計では全外ケーブル方式としていたため、定着突起の補強用に上床版とウェブの接合部に打下ろしを設けていた。張出し架設鋼材を内ケーブルとすることで、各張出しブロックに配置されていた定着突起および打下ろしが不要となり、コンクリート体積の減少が図れる。基本設計と詳細設計との断面形状比較(図-3)を以下に示す。

基本設計

詳細設計

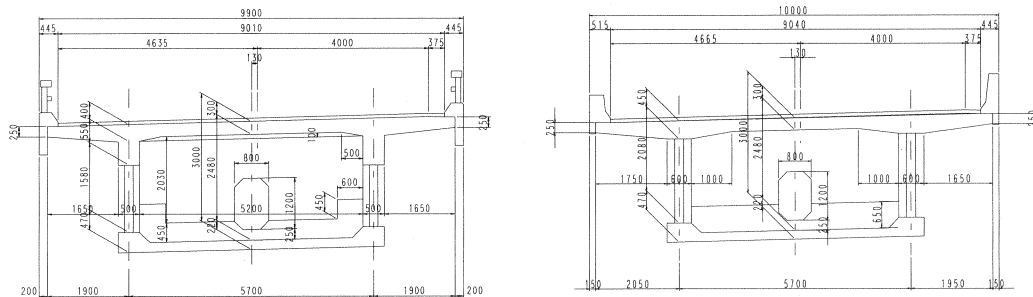


図-3 断面形状比較

#### 3-2 PC鋼材

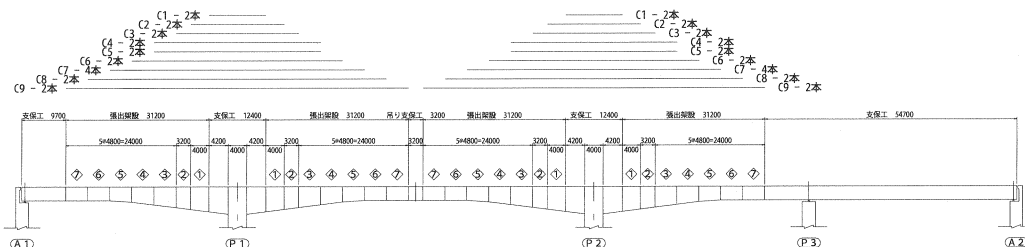
鋼材配置を図-4に示す。張出し架設鋼材の内ケーブル化に伴い、上床版とウェブ接合部の打下ろし、定着突起が不要となり、死荷重低減を図ることができた。これにより、PC鋼材量を減らすことが可能になり経済的な設計を行うことができた。表-1に示すように、全体の数量に関してもコンクリート、型枠、PC鋼材ともに削減することができた。

表-1 数量比較表

コンクリートにおいては  $251\text{m}^3$  (12%減)、型枠については  $789\text{m}^2$  (12%減)、PC鋼材については  $20307\text{kg}$  (31%減) 低減する結果となった。この結果、約10~15%程度のコスト縮減となった。

	コンクリート (m <sup>3</sup> )	型枠 (m <sup>2</sup> )	PC鋼材 (kg)	
			外ケーブル	内ケーブル
詳細設計	1799	5671	29160	15977
基本設計	2050	6460	65444	
増減	-251	-789	-20307	

12512.7 (内ケーブル)



19515.2 (外ケーブル)

図-4 鋼材配置図

### 3-3 波形鋼板

JHでは、波形鋼板の形状は1600型・1200型・1000型の実績があるが、今回は最も実績のある1600型とした。この形状は、JHの波形鋼板ウェブ橋のほとんどで採用されており、波の深さ（振幅）が大きく、せん断座屈強度も他に比較して大きい。

板厚は、終局荷重時、レベル2地震時の結果より決定した。ねじりモーメントの算出は、コンクリートウェブに比較し波形鋼板ウェブのねじり剛性が小さいことから、ねじり剛性を適切に設定する必要がある。本橋では、単純ねじりを基本とした式によりねじり定数の算出を行い図-5に示す立体格子モデルによりねじりモーメントを算出した。また、板厚については基本設計が規格の板厚のみの設定であったのに対し、詳細設計では図-6に示すとおり1mm刻みの板厚設定を行った。

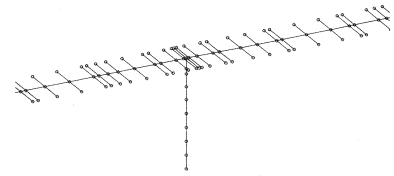


図-5 ねじりモーメント解析モデル

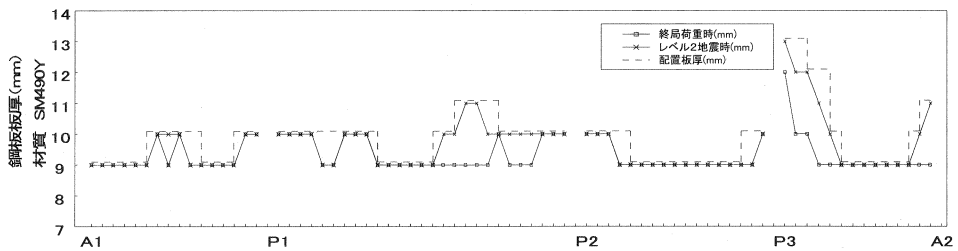


図-6 配置板厚

### 3-4 波形鋼板とコンクリート床版との接合

波形鋼板とコンクリート床版の接合は他橋の実績等を考慮し、アングルジベル接合（U字鉄筋をアングルに溶接しない形式）とした。接合方法としては、スタッドジベル接合、埋込み接合、パーフォボンドリブ接合などの実績があるが、本橋では基本設計を踏襲し、現在考案されている接合方法の中で実績が最も多いアングルジベル接合とした。本接合方法は載荷試験により計算手法の妥当性が確認されている。

### 3-5 柱頭部横桁温度解析

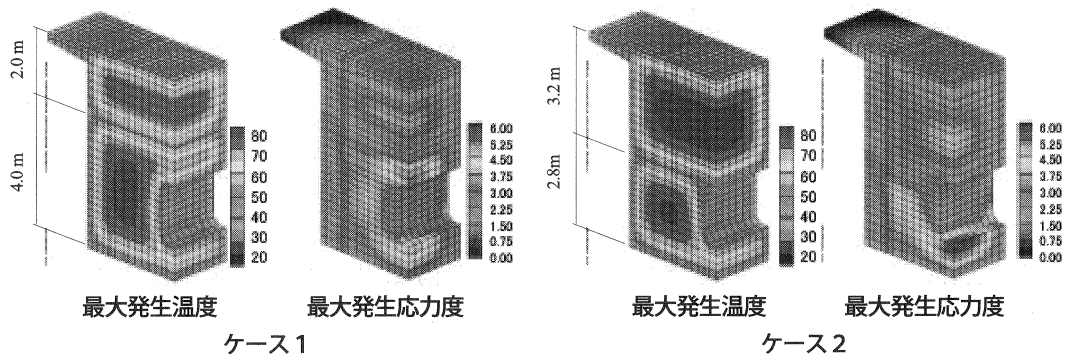


図-7 温度・応力履歴図

柱頭部横桁は、一般に大容量のコンクリートを打設する必要がありコンクリートの水和熱によるひび割れ発生が懸念される部分である。本橋においても柱頭部は充実構造となっており打設数量が多く、例外ではない。このため、3次元有限要素法による温度解析を行い打設検討を行った。検討は、セメント種類（普通、早強セメント）および打継目位置の設定について行った。セメント種類の比較において、普通セメントは、早強セメントより最大発生応力度を約0.7N/mm<sup>2</sup>程度、低減ができるという結果が得られたため、コンク

リートの水和熱によるひび割れ発生の可能性は普通セメント使用時の方が低いと判断し、コンクリートに普通セメントを使用することとした。また、打継目位置の決定にあたっては、施工に配慮し位置を設定し、解析条件が現場特性、実施工程に極力近い状態となるよう解析を行った。図-7に解析結果を示す。両ケースともに、開口部周辺に局部的な引張応力の発生が見られた。しかし、ケース2において最大 $6.02\text{N/mm}^2$ と極めて大きい応力の発生が見られることから、最大応力度 $4.89\text{N/mm}^2$ のケース1が良策であると判断し、本橋の柱頭部の打設方法を決定した。また、引張応力が $3\text{N/mm}^2$ を超え、ひび割れ発生の可能性が高いと考えられる箇所については横締め鋼材を配置し、それ以下の箇所については鉄筋により補強を行った。

### 3-6 定着部

本橋は完成系ケーブルを外ケーブル方式としているため、横桁は定着部としての役割を担うことになる。3次元有限要素解析により、PC鋼材の緊張により生じる横桁部の発生応力度に対し補強の検討を行った。検討は、図-8に示す解析モデルに緊張力を載荷し、発生する引張力に対する補強鋼材を算出した。最大発生応力度 $3\text{N/mm}^2$ 以下と目標値を定め検討を行った結果、外ケーブル定着本数が最も多いA2端支点部において、最大発生応力度が $5.00\text{N/mm}^2$ と目標値を超える応力度の発生が見られた。これは、波形鋼板ウェブは橋軸方向に対しアコーディオン効果により拘束されないためと考えられる。そこで、端支点部にも裏打ちコンクリートを設置して上下床版に加えウェブも拘束し、さらに上床版ハンチを大きくすることにより発生応力の低減を図った。これにより最大発生応力 $4.22\text{N/mm}^2$ と15%程度の低減につながった。また、横締め鋼材を配置することにより最大発生応力を $3.0\text{N/mm}^2$ 以下に抑えた。

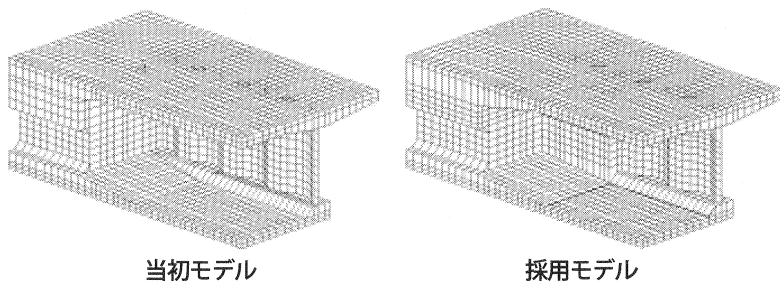


図-8 解析モデル

### 3-7 非線形動的解析結果

地震時については非線形動的解析により構造物全体の安全性を確認した。その結果、レベル2地震動時において、上部工の下床版橋軸方向鉄筋がD32 (S D345) となる部分が発生した。このまま鉄筋を配置すると床版厚さ方向の鋼材純間隔が、40mm以下となるため高強度鉄筋 (S D490) を使用することで鉄筋径をD25まで落とし、コンクリートの充填性向上を図った。

## 4. グラウト計画

PC橋の内ケーブル構造におけるグラウトは、PC鋼材の防食およびコンクリートとPC鋼材の一体化を確保するために重要な要素である。本橋は詳細設計において全外ケーブル方式から内外併用ケーブル方式に変更を行ったため、ケーブルおよびグラウトホースの配置、使用材料および配合、使用機器・器具および施工体制、練り混ぜ・注入・後処理、検査方法およびトラブル対策など特に入念にグラウト計画を行った。特に充填確認方法については、注入時に内部センサー (MSセンサー) を使用し、硬化後には非破壊検査 (電磁波レーダー) を行い、万全を期した確認を行う。

## 5. おわりに

本橋は、平成17年6月現在、柱頭部の施工を行っており工事はこれから最盛期を迎える。次回報告する機会があれば施工状況についても行いたい。