

# 3

## 波型鋼板ウェブを有する3径間連続ラーメンPC箱桁橋の設計計画

青野光伸

AONO Terunobu

株式会社  
復建技術コンサルタント  
/ 構造設計部/ 部長



千葉一弘

CHIBA Kazuhiro

株式会社  
復建技術コンサルタント  
/ 構造設計部/ 設計二課/ 主任



波型鋼板ウェブPC箱桁橋は、箱桁断面のウェブをコンクリートから鋼板に置き換えて、主桁構造をコンクリートと鋼の合成構造にしたものである。この構造により主桁自重の軽量化や施工の省力化および耐震性の向上が図れる。

また、鋼板の波型構造から得られるアコーディオン効果によってプレストレス導入が効率的になり、外ケーブル工法によって維持管理が容易かつ大容量緊張材の使用が可能となる。この合成構造橋梁の国内実績は20橋前後であるが、本業務ではこの構造特性について比較検討し本橋の上部構造に波型鋼板ウェブPC箱桁橋を採用した。

### 1 橋梁計画の概要

本橋は長井ダム建設事業の一環

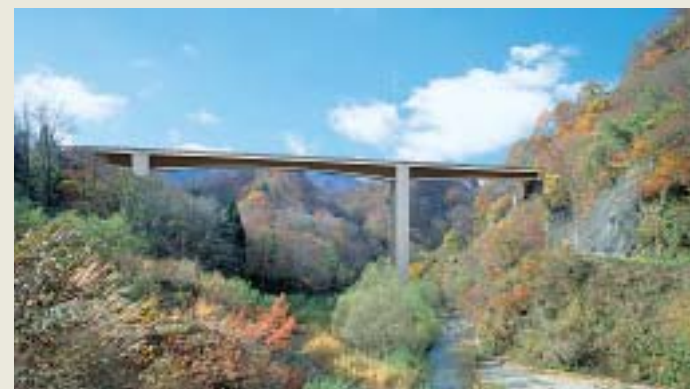


写真1 - 完成予想図

として、木地山・九野本線の県道付替により生じた湛水区域に建設される県道付替第11号橋である。橋梁詳細設計においては、特にコスト縮減・工期短縮・耐震性確保・環境保全に配慮した。

#### 1 橋梁諸元

路線名：木地山・九野本線

道路規格：第3種第5号

設計速度：V = 30km/h

橋長：165.0m

支間長：45.9 + 72.0 + 45.9m

標準幅員：5.0m

平面線形：R = 140m ~

縦断勾配：i = 8.0 ~ 2.5 %

横断勾配：i = 4.0 ~ ± 2.0%

活荷重：A活荷重

雪荷重：1.0KN/m<sup>2</sup>(活荷重有)

7.0KN/m<sup>2</sup>(活荷重無)

3.5KN/m<sup>2</sup>(地震時)

支承：ゴム支承(タイプB)

施工期間：6 ~ 11月

運搬長さ：8.0m

運搬重量：8.0tf

#### 2 地質概要

花崗閃緑岩を基盤岩とし、その上部に砂・礫からなる崖錐性堆積物が堆積している。支持層とみなせる地盤は、深度約5mから最も深いところで約10m以深の花崗閃緑岩(Gd)である。耐震設計上の地盤種別は、種地盤となる。



図1 - 架橋位置図

### 2 上部構造形式の検討

上部構造形式には表1の比較検討より経済性・施工性・耐震性に優れた3径間連続ラーメン波型鋼板ウェブPC箱桁を採用した。

### 3 下部・基礎構造形式の検討

橋台構造形式は躯体高さより逆T式橋台とし、基礎は掘削範囲等より杭基礎(深礎杭)とした。

橋脚構造形式は比較検討より壁式橋脚(中空式)とし、P1基礎は支持層より直接基礎、P2基礎は比較検討より杭基礎とした。

### 4 構造解析

構造解析においてはPCBOXを用いて平面FRAME解析により断面力を算出した。また、平面曲線を有するためSPASERを用いて立体FRAME解析によりねじりの影響を考慮した。なお、雪荷重は1.0KN/m<sup>2</sup>と7.0KN/m<sup>2</sup>の2ケースを考慮した。

### 5 波型鋼板の検討

#### 1 波型鋼板の形状

波型鋼板の波形状は施工実績及び最近の動向から波長を1.6mとした(図4参照)。

#### 2 波型鋼板の接合

##### 波型鋼板同士の接合

波型鋼板同士の接合にはボルト接合と溶接接合があるが、表2の比較検討より一面摩擦ボルト接合を採用した。

##### 床版と波型鋼板の接合

床版と波型鋼板の接合には種々の接合方法が考案されているが、表3の比較検討よりアングル接合を採用した。

### 6 耐震設計

ラーメン橋の面内(橋軸)方向は、地震時に複数箇所の塑性変形が生

表1 上部構造形式比較

	第1案 3径間連続ラーメン波型鋼板ウェブPC箱桁 (内・外ケーブル併用)	第2案 3径間連続ラーメンPC箱桁 (内・外ケーブル併用)	第3案 3径間連続ラーメンPC箱桁 (全内ケーブル)
上部工重量	17,265KN (1.000)	22,271KN (1.290)	23,471KN (1.359)
経済性	553,000千円 (1.000)	621,000千円 (1.123)	623,000千円 (1.127)
構造的性	・ウェブに波型鋼板を使用 ・外ケーブル使用により、活荷重増加への対応が可能	・コンクリートウェブであるため、1案に比べ自重が重い ・外ケーブル使用により、活荷重増加への対応が可能	・コンクリートウェブであるため、自重が重く、内ケーブルであるため活荷重増加への対応ができない。
施工性	・1シーズンの橋体工施工が可能	・1シーズンの橋体工施工が不可能	同左
維持管理	・波型鋼板は耐候性鋼材を使用するため維持管理が容易	・維持管理不要	同左
総合評価	1位	2位	3位

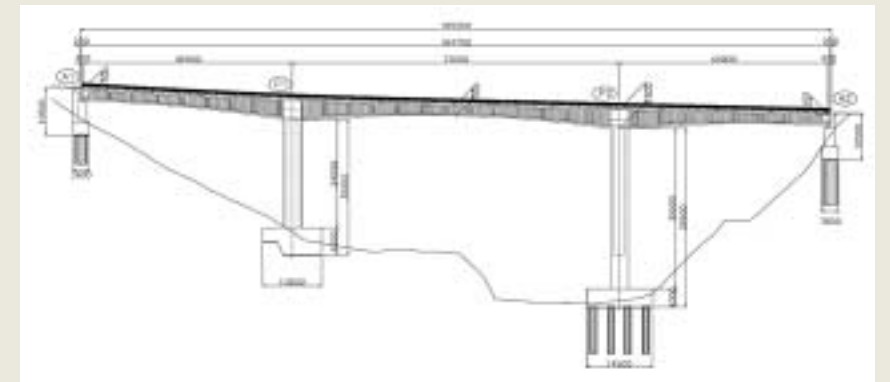


図2 - 橋梁側面図

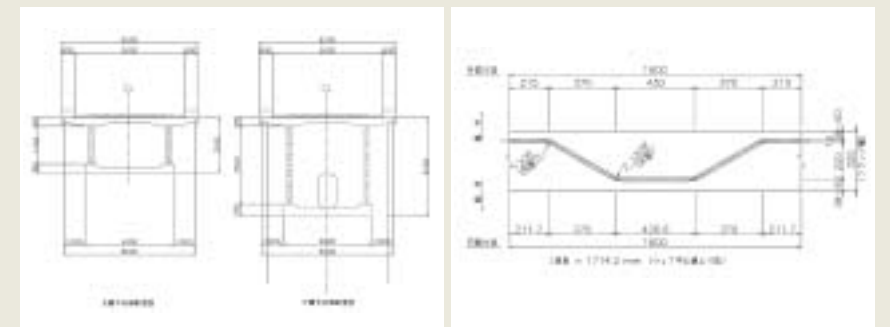


図3 - 上部工断面図

図4 - 波型鋼板ウェブ詳細図

じることが想定されが、静的照査法では地震時の挙動を十分な精度で表すことができないため、本設計では、非線形静的解析を行った後、非線形動的解析により安定性の照査を行った。

表2 波型鋼板同士の接合比較

接合部タイプ	一面摩擦高力ボルト接合	突合せ溶接接合	重合せず肉溶接接合
概要	・1 摩擦面による高力ボルト接合である ・部材軸線にずれが生じるが、波型ウェブには軸方向力が作用しないため、適用が可能となる。	・鋼橋で一般的に用いられており実績が多い。 ・部材軸線にずれが生じない。	・フランスで主に用いられている接合方法である。 ・部材軸線にずれが生じるが、波型ウェブには軸方向力が生じないため、適用が可能となる。
実績	・本谷橋(JH)	・新開橋(新潟県) ・鍋田高架橋(JH)	・中野高架橋(阪神公団・施工中)
特徴	・接合および添接板が不要なためコストが低い。 ・高さ調整は可能。 ・美観が良くない。	・コストは高い。 ・現場溶接のための設備が必要。 ・美観は良好。 ・高さ調整は難しい。	・コストは突合せ溶接より安いと考えられる。 ・現場溶接のための設備が必要。 ・検査方法は外観検査のみとなる。 ・高さ調整は容易。
評価			○

表3 床版と波形鋼板の接合比較

接合部タイプ	鋼フランジ+スタッド	鋼フランジ+アングル	埋込み方式
概要			
実積	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼橋で一般的に用いられており実績が多い。</li> <li>せん断力に対し、スタッドのせん断強度で抵抗する。</li> <li>国内の各種基準で設計方法が規定されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼フランジに孔があいたアングルを溶接し、孔に鉄筋を通してコンクリート床版に埋込む接合方法</li> <li>主にアングルの支圧でせん断力に抵抗する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波形鋼板に孔を開け、そこに鉄筋を通し、直接コンクリート床版に埋込む接合方法。</li> <li>埋込まれた波形鋼板の斜めパネル、および鋼板孔に充填されたコンクリートでせん断力に抵抗する。</li> </ul>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>新開橋（新潟県）</li> <li>銀山御幸橋（秋田県）</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼橋において実績が多い。</li> <li>溶接が多いためコストが高い。</li> <li>設計は鋼橋の規格に従って行われている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コニヤック橋（フランス）</li> <li>ドール橋（フランス）</li> <li>前谷橋（JH、施工中）</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>主にフランスで用いられている接合方法。</li> <li>ずれ止めの強度が高く、長スパンでスタッドより有利とされる。</li> <li>アングル、鉄筋等の溶接が多いためコストは高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本谷橋（JH）</li> <li>中野高架橋下床版（阪神公団、施工中）</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼フランジが不要でコストが低い。</li> <li>静的耐力はスタッドと同等。</li> <li>疲労に対する性状はスタッドより優れている。</li> <li>下床版接合部の防錆（水）対策が必要。</li> </ul>
評価			○

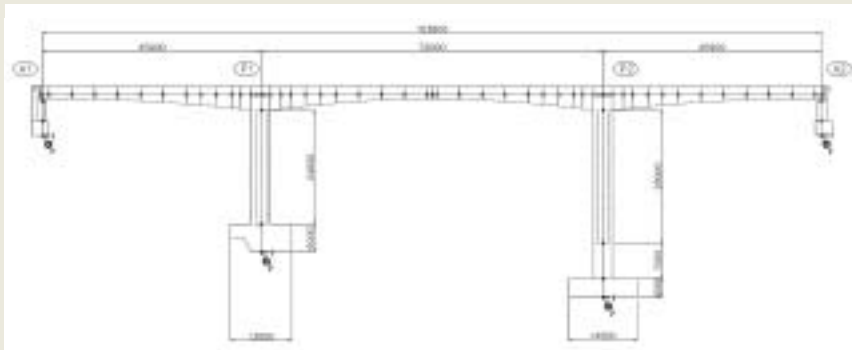


図5 - 解析モデル図

1 解析モデル・解析方法

解析モデルは図5に示すように、上部構造・下部構造を一体とした集中質量系の二次元骨組構造とし、上部・下部構造は梁部材、地盤の影響は連成バネとしてモデル化した。

また、橋脚の非線形履歴特性は剛

性低下型トリニニア(武田型)を適用し、その他の部材は線形部材とした。

部材の減衰定数は、上部構造3.0%、下部構造2.0%、基礎10%として固有値解析を行った。

橋軸方向及び橋軸直角方向の固有値解析結果による主要モードを図6に示す。

動的解析では主要な振動モードに着目できるようRayleigh減衰を用いた。

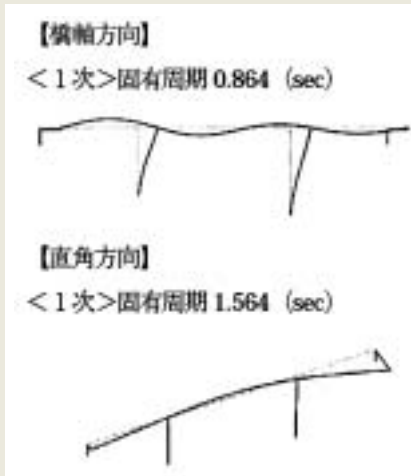


図6 - 主要モード図

表4 動的解析結果の一覧表

	単位	橋軸方向 TYPE II	直角方向 TYPE II
曲げモーメント(柱下端)	KN・m	174,833.0	235,902.4
せん断力(柱下端)	KN	15,424.0	12,432.2
軸力(柱下端)	KN	24,040.6	19,052.3
残留変位	m	0.010	0.017
許容残留変位	m	0.263	0.263
最大回転角(上端)	rad	0.001065	-
許容回転角(上端)	rad	0.028754	-
最大回転角(下端)	rad	0.004244	0.003847
許容回転角(下端)	rad	0.027455	0.023659
終局曲げモーメント(下端)	KN・m	240,537.0	336,144.1
せん断耐力(下端)	KN	26,936.6	37,919.7

2 解析結果

下部構造の安定性の照査

動的解析による結果の安全性の照査は塑性回転角、断面力、および橋全体の残留変位に着目して行った。

P1橋脚の照査結果を表4に示す。

上部構造の安定性の照査

波型鋼板ウェブはせん断に対する抵抗はあるものの軸方向力に対してはほとんど抵抗しない構造であるため、曲げ剛性は上下のコンクリート床版のみを有効とし、せん断剛性は波型鋼板ウェブのみを有効とした。

また、上下床版のモデル化は全断面有効剛性を用いた場合、大部分の上下床版に降伏モーメントを大きく上回る応答曲げモーメントが生じるため、降伏剛性を用いて計算を行った。

解析結果を図7、8に示す。上下床版に配置する鉄筋量は静的と動的解析の結果ではかなりの開きがあり、特に側径間の支点付近や中央径間の支間中央部は桁高さが低いうえ幅員も狭いため断面耐力が小さく応答値が超過しやすい傾向にあった。

7 架設計画

上部工の架設は支間条件、桁下条件から張出架設工法を採用した。張出架設の要領を図9に示す。

また、越冬時での構造の安全性に配慮して、橋体工は1シーズンで連結する架設工程とした(表5参照)。

参考資料

- 1) 複合橋設計施工規程(案)、社団法人プレストレストコンクリート技術協会、平成11年12月
- 2) 波型鋼板ウェブPC橋計画マニュアル(案)、波型鋼板ウェブ合成構造研究会、平成10年12月

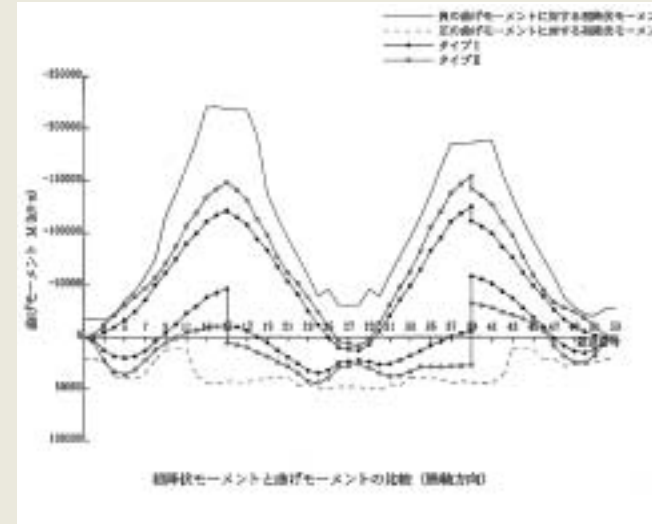


図7 - 上部工曲げモーメント図【橋軸方向】

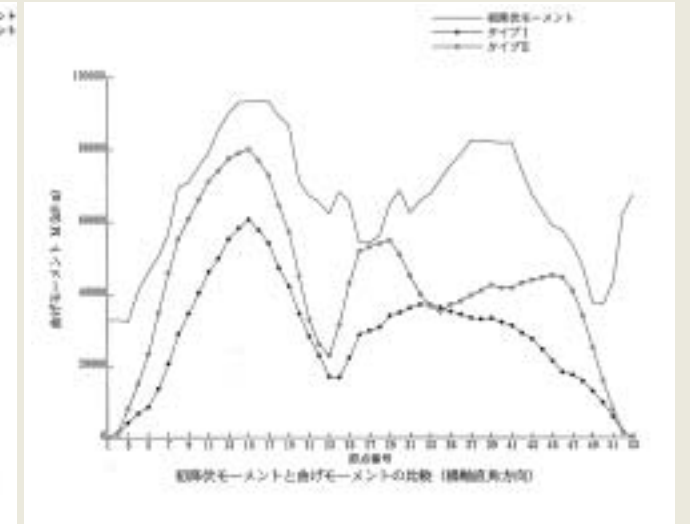


図8 - 上部工曲げモーメント図【直角方向】

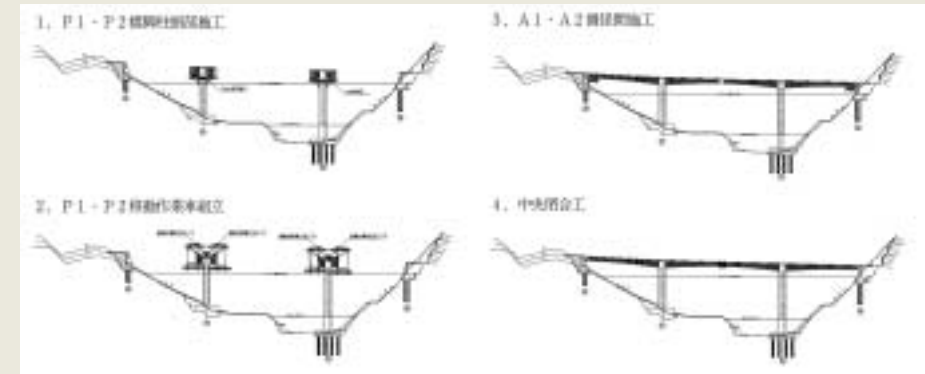


図9 - 施工要領図

表5 上部工工程表

作業内容	H14												H15												H16											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
準備工	冬期工事休止期間												冬期工事休止期間												冬期工事休止期間											
脚頭部工						60																														
柱頭部工						30	80																													
P1橋脚																																				
作業車組立工											11																									
張出し仮設工																																				
作業車解体工																																				
側径間施工																																				
脚頭部工						30	80																													
柱頭部工						30	84																													
P2橋脚																																				
作業車組立工																																				
張出し仮設工																																				
作業車解体工																																				
側径間施工																																				
中央閉合部施工																																				
外ケーブル緊張工																																				
橋面工																																				
跡片付け工																																				
(橋体施工期間)																																				

注) : 12月~5月は工事休止期間  
 ———— : 波型鋼板ウェブPC箱桁橋  
 ..... : コンクリートウェブPC箱桁橋