

# 高耐久化・維持管理性向上・生産性向上を目指した PC 橋の建設 — 新名神高速道路 武庫川橋（仮称） —

芦塚 憲一郎\*1・前原 直樹\*2・諸橋 明\*3・小西 純哉\*4

西日本高速道路(株)（以下、NEXCO 西日本）関西支社では、開通後 40 年以上経過した名神高速道路や中国自動車道の劣化の顕在化を鑑み、高耐久化への取組みを最重点課題として新名神高速道路の建設を進めている。具体の取組みとして「強い道創りプロジェクト」を立ち上げ、橋梁などの構造物において「強い道」を目指して目標ビジョンを掲げており、代表的な項目に「高耐久な橋」「維持管理の軽減」をあげて計画・設計・施工が進められている。

一方でわが国では、いわゆる「担い手不足」が喫緊の課題となっている。これに対して先般、国土交通省から建設業界に「生産性向上」の指導が出された。合理化・省力化・情報化施工により生産性を向上させ、技能労働者の不足分を補うというものであり、これらを推し進める有効な技術として「プレキャスト技術」の活用が促されている。このような状況のなか、上下線一体の広幅員、100 m の長支間、50 m ～ 80 m の高橋脚という条件を有する新名神高速道路武庫川橋において、現在のわが国のニーズである高耐久化・維持管理性向上・生産性向上を目的とした橋梁計画を実施し、建設に至った。

本稿は、高耐久化・維持管理性向上・生産性向上という観点から、新名神高速道路武庫川橋の設計・施工について報告を行うものである。

キーワード：エクストラード橋、高橋脚、高耐久化、維持管理性、生産性向上

## 1. はじめに

平成 24 年に改訂された道路橋示方書では、安心して使用できるインフラの長寿命化を基本理念とし、設計段階から維持管理に対して配慮することや耐久性向上を図るための規定を設けるなどの見直しがなされた<sup>1)</sup>。これより以前から、NEXCO 西日本関西支社では、開通後 40 年以上経過した名神高速道路や中国自動車道の劣化の顕在化を鑑み、これらの劣化状況を踏まえた高耐久化への取組みを最重点課題として、新名神高速道路の建設を進めている<sup>2)</sup>。高耐久化への具体の取組みとして、「強い道創りプロジェクト」を立ち上げ、橋梁などの構造物においても「強い道」を目指して目標ビジョンを掲げており、その代表的な項目に「高耐久な橋」「維持管理の軽減」をあげて計画・設計・施工が進められている。

一方でわが国では、技能労働者の大量離職が予測されており、いわゆる「担い手不足」が喫緊の課題となっている。これに対して先般、国土交通省から建設業界に「生産性向上」の指導が出された。これは、合理化・省力化・情報化施工により生産性を向上させ、技能労働者の不足分を補うというものである。さらにこれらを推し進める有効な技術として「プレキャスト技術」が着目され、活用を促されている。建設業の各団体ではこれを受け、プレキャスト技術の活用推進に関して検討を開始している。

武庫川橋は、新名神高速道路の高槻 JCT から神戸 JCT

の間に建設中の橋長 442 m の PRC 5 径間連続バタフライウェブエクストラードラーメン橋である<sup>3)</sup>。本橋は、上下線一体の広幅員、100 m の長支間、50 m ～ 80 m の高橋脚という条件を有するとともにバタフライウェブ構造とエクストラード構造を組合せた世界初の構造形式であり、新名神高速道路のなかでもシンボリックな構造物の一つである。そこで、現在のわが国のニーズに応えるべく橋梁としての計画を実施し、建設に至っている。

本稿は、高耐久化・維持管理性向上・生産性向上という観点から、武庫川橋の設計・施工について報告を行うものである。

## 2. 橋梁概要

上下線一体断面である本橋は、暫定形 4 車線対応の幅員で建設中であるが、将来的な 6 車線化に対応した拡幅可能な構造として計画されている。このため将来の 6 車線化は、張出し床版を両側に拡幅し、ストラットにて支持する構造としている。全体一般図を図 - 1、暫定供用時における主桁断面図を図 - 2 に、橋梁諸元を表 - 1 に示す。

## 3. 構造・施工の特徴

本橋の構造上の大きな条件として、広幅員であること、長支間であること、高橋脚を有していることがあげられる。本橋の計画にあたっては、上述の要求に応えるために「高耐久化」、「維持管理性の向上」、「生産性の向上」を達

\*1 Kenichiro ASHIZUKA：西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 構造技術課長

\*2 Naoki MAEHARA：西日本高速道路(株) 関西支社 新名神兵庫事務所 神戸東工事長

\*3 Akira MOROHASHI：三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部長

\*4 Junya KONISHI：三井住友建設(株) 大阪支店 武庫川橋作業所 現場代理人

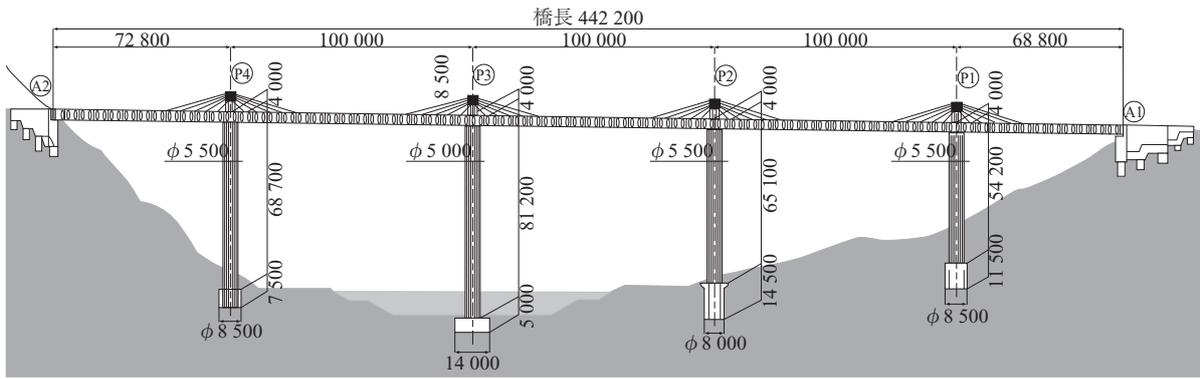


図 - 1 全体一般図

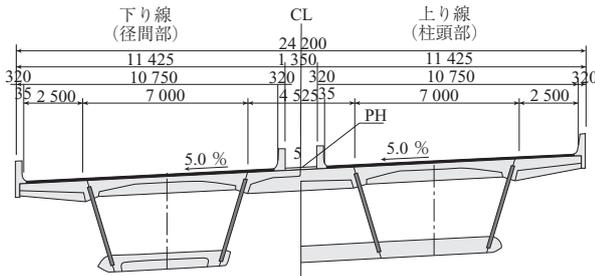


図 - 2 主桁断面図 (暫定供用時)

表 - 1 橋梁諸元

工事名	新名神高速道路 武庫川橋工事
構造形式	PRC 5 径間連続ラーメン バタフライウェブエクストラード橋
橋長	442.2 m
支間長	71.800 m + 3@100.000 m + 67.800 m
有効幅員	21.500m【暫定形】 32.500 m【完成形】
平面線形	R = 2 000 m
縦断勾配	1.101 %
横断勾配	5.000 %

成させることを目的とし、下記 5 項目の新技術を採用することとした。

① バタフライウェブ構造 (図 - 3)<sup>3, 4)</sup>

鉄筋を配置しない高強度繊維補強コンクリートを用いたバタフライウェブの採用。

② エクストラード橋 (図 - 3)<sup>4)</sup>

工場製作であるバタフライウェブパネルの運搬寸法制限

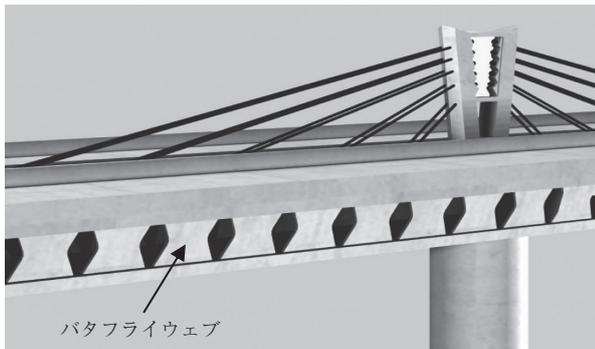


図 - 3 バタフライウェブ・エクストラード橋

により桁高が制限され、かつ 100 m の長支間に対応させるためエクストラード構造を採用 (桁高 / 支間 = 1/25 の実現)。

③ 鋼・コンクリート複合主塔構造 (写真 - 1)<sup>5)</sup>

一面吊りの斜材に対して主塔の設置幅が制限されるため、1 枚鋼板を用いた主塔定着構造を新たに開発。

④ プレキャスト部材による柱頭部施工<sup>4)</sup>

広幅員柱頭部と円形橋脚のブラケット支保工の簡素化を目的として、工場製作ハーフプレキャスト部材を用いた柱頭部施工法を新たに開発。

⑤ ハーフプレキャスト工法による橋脚施工 (写真 - 2)<sup>6)</sup>

RC 中空橋脚の施工の合理化による急速施工を目的として、工場製作のハーフプレキャスト部材を用いた施工法 (SPER 工法) を円形橋脚で新たに開発。



写真 - 1 鋼・コンクリート  
複合主塔構造



写真 - 2 SPER 工法  
複合主塔構造

表 - 2 に、「高耐久化」、「維持管理性向上」、「生産性向上」のキーワードに対して、①～⑤の採用技術がどのように寄与しているかを示す。

次章より、表 - 2 の内容を詳述する。

## 4. 高耐久化

### 4.1 高強度コンクリートの使用

#### (1) 主桁コンクリート

主桁は、上下床版とバタフライウェブから構成されている。上部工の軽量化と耐久性向上を図るため、上下床版に

表 - 2 高耐久化, 維持管理性向上, 生産性向上に寄与する各採用技術の対応一覧

項目	内容	採用技術対応一覧				
		①	②	③	④	⑤
		バタフライウェブ	エクストラロード	複合主塔構造	柱頭部施工	SPER 工法
高耐久化	バタフライウェブ構造	鉄筋を配置しない高強度繊維補強コンクリートによる高耐久化	●			
	上下床版・主塔コンクリート	50 N/mm <sup>2</sup> の高強度コンクリートによる高耐久化			●	
	橋脚のハーフプレキャスト部材	RC 橋脚表面の高強度化 (50 N/mm <sup>2</sup> ) による高耐久化				●
	主塔定着体・主塔鋼板の防錆	Al-Mg 溶射による高耐久防錆			●	
維持管理性の向上	斜材・桁内外ケーブルの防錆	斜材の3重防錆, 外ケーブルの2重防錆		●		
	広幅員・多室箱桁の点検性	バタフライウェブの開口により容易に動線を確認	●			
	明るい桁内	桁内点検時の容易性・確実性向上	●			
	斜材・外ケーブルの桁内定着部点検	低桁高による点検の容易性・確実性向上		●		
生産性向上	斜材主塔側定着部の点検	低い主塔, 外部に配置した定着部により目視点検が可能			●	
	バタフライウェブ構造	工場製作のプレキャストパネルによる省力化	●			
	柱頭部のハーフプレキャスト工法	広幅員柱頭部と円形橋脚のブラケット支保工の簡素化			●	
	橋脚のハーフプレキャスト工法	工場製作のハーフプレキャスト部材による省力化				●
	上部施工ブロックの長大化	ブロック数低減による施工延べ日数の縮減	●			
	橋脚のハーフプレキャスト工法	SPER 工法の採用による施工延べ日数の縮減				●

は  $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  の高強度コンクリートを採用した。また, バタフライウェブは,  $\sigma_{ck} = 80 \text{ N/mm}^2$  の高強度繊維補強コンクリートであり, 鉄筋を配置せず, 引張力に抵抗する  $\phi 15.2$  の PC 鋼材が配置されるのみである。これらのコンクリート材料を使用することで, 主桁の耐久性を向上させた。

(2) 主塔コンクリート

本橋は上下線一体の幅員構成であり, 将来拡幅は両外側に床版を張り出す計画である。このため斜材は, 断面中央からの一面吊りとなり, 主塔を中央分離帯幅の 1.35 m 以内に設置する必要がある。そこで, 2 本のコンクリート柱と 1 枚鋼板から構成される鋼・コンクリート複合主塔構造を新たに開発した。コンクリート柱は, 断面積が限定される上に斜材の鉛直分力作用により高圧縮部材となる。そこで  $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  の高強度コンクリートを用いることとした。

(3) 橋脚コンクリート (写真 - 3)

橋脚は, ハーフプレキャスト部材を現場で積み上げ, 中詰めコンクリートを打設する急速施工方法 (SPER 工法) を採用している。工場で製作するハーフプレキャスト部材の設計基準強度は  $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  であり, 高強度コンクリートで外面が覆われるため RC 橋脚の耐久性を向上させている。



写真 - 3 ハーフプレキャスト部材 ( $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ )

4.2 鋼部材・PC 鋼材の高耐久防錆

(1) 主塔鋼板・斜材定着部 (写真 - 4)

本橋の主塔は, 鋼板と斜材定着部が外面に露出した構造となる。これらの防錆については, 本橋の架橋地の環境条件下では, 一般的には塗装仕様が考えられるが, エクストラロード構造における主塔の重要性を考慮すること, 供用後の塗替え作業が困難なことを考慮し, アルミニウム・マグネシウムを用いた合金溶射 (Al-Mg 溶射) 仕様とした。

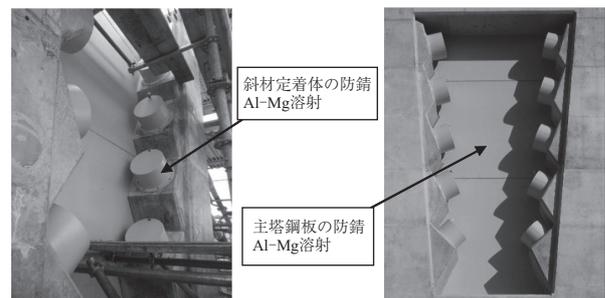


写真 - 4 主塔鋼板・斜材定着部の防錆仕様

(2) 斜材・外ケーブル (図 - 4)

斜材・外ケーブルについても一般的な PC 橋より 1 ランク高めた防錆仕様とし, 耐久性に配慮している。斜材は, エポキシ被覆+セメントグラウト+ポリエチレン保護管の

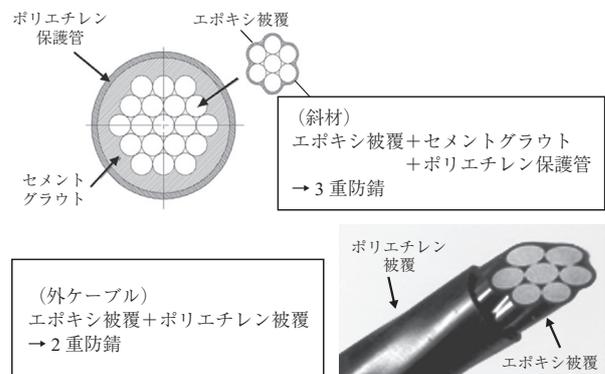


図 - 4 斜材・外ケーブルの防錆仕様

3重防錆とした。また外ケーブルは、バタフライウェブが開口を有していることから、紫外線の影響に配慮し、エポキシ被覆+ポリエチレン被覆の2重防錆仕様とした。

## 5. 維持管理性向上

### 5.1 広幅員多室箱桁の点検性

PC箱桁は、桁外面の点検に加え、箱桁内の点検が必要となる。そのため、箱桁内への進入孔、隔壁の人通孔を設け、点検時の動線を確保できるように計画が行われる。しかしながら本橋のような多室箱桁の場合、構造主要部材であるウェブに多くの人通孔を設けることが困難であり、隣接する箱室への移動が容易にできないため、桁内点検に時間と手間を要する。これに対して本橋は、バタフライウェブの開口により箱室間を自由に移動でき、桁内点検作業の容易性を向上させている（写真 - 5）。

また、PC箱桁の桁内点検時には懐中電灯などの照明器具を持参する必要がある。最近では、桁内照明設備を配備するなど橋梁計画時に配慮されている事例もあるが、本橋の桁内はウェブの開口により日中は明るく、点検の確実性・容易性が向上している（写真 - 5）。



写真 - 5 主桁内の状況

### 5.2 外ケーブル定着部・斜材定着部の点検性

桁内には外ケーブルと斜材が定着されており、定着部は点検項目の一つである。外ケーブルの多くは柱頭部の上方に定着されているが、一般的な支間100mのPC箱桁の柱頭部桁高は6～7m程度であり、外ケーブル定着部の点検が困難な場合が多い。このため最近では、専用の検査路を設置するよう配慮がなされている。本橋は、エクストラード橋の採用により桁高を低く設定しているため（ $H = 4\text{m}$ 一定、桁高/支間 =  $1/25$ ）、桁内における斜材や外ケーブル定着部の高さが2～2.5m程度であり、検査路無しで容易に目視点検が可能である（写真 - 6）。

また、一般的な斜張橋やエクストラード橋の斜材主塔側定着部は、望遠鏡などによる目視点検か、主塔上部まで登るための検査路を配備して点検を行っている。本橋の主塔は高さが低く（ $H = 8.5\text{m}$ ）、また定着部が外面に露出しているため、日常の目視点検が容易にできる。



写真 - 6 桁内の斜材定着部

## 6. 生産性向上

### 6.1 省力化技術による生産性向上

#### (1) 上部工主桁

主桁に採用したバタフライウェブ橋の施工は、工場製作のバタフライウェブパネルを現場に搬入し（写真 - 7）、移動作業車内で所定位置にセット（写真 - 8）、上下床版を場所打ちにて行う。波形鋼板ウェブ橋と同様に、施工の煩雑なウェブの施工を省力化できるものである。また、波形鋼板ウェブ橋は、鋼板同士を接合する必要があることに対し、バタフライウェブ橋はウェブ同士を接合しない構造



写真 - 7 バタフライウェブの搬入



写真 - 8 バタフライウェブセット完了

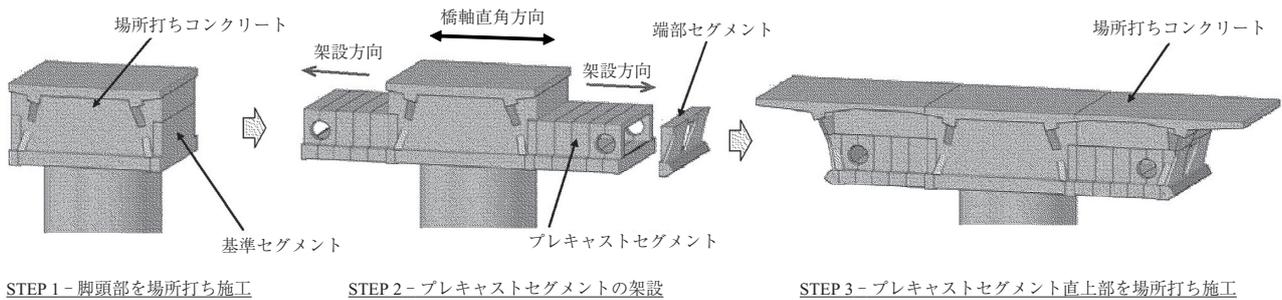


図 - 5 柱頭部の施工ステップ

として設計を行っているためさらなる省力化が図れる。

(2) 上部工柱頭部

一般的なラーメン橋の柱頭部の施工は、橋脚上部にブラケット支保工を設置して行う。本橋のような円形橋脚の場合、ブラケット支保工の鋼材を平面的に放射状に配置することとなり、設置・撤去に多大なる手間を要していた。そこで本橋では、ハーフプレキャスト部材を用いた柱頭部施工を採用した。柱頭部横桁の一部を橋軸直角方向に分割したハーフプレキャスト部材を張出し架設し、場所打ちコンクリートによるあと施工部はこれを支保工として施工するものである(写真 - 9, 図 - 5)。ブラケット支保工で支持する荷重を橋脚直上部のみとすることで大幅な簡素化を図り、設置・撤去作業の容易性・安全性を向上させた。

(3) 下部工橋脚

本橋の橋脚は 50 ~ 90 m の高橋脚であり、省力化による急速施工を目的としてハーフプレキャスト部材を用いた施工法を採用した。型枠と兼用するプレキャストコンクリート製の壁部材を工場で製作し、現場に搬入してこれを積み上げ、中詰めコンクリートを打設して構築するものである(写真 - 2, 3)。現場での型枠設置作業を省略でき、さらに、ハーフプレキャスト部材に帯鉄筋・中間帯鉄筋をあらかじめ内蔵することにより、鉄筋組立作業の時間が大幅に短縮できる。従来工法である場所打ちによる施工日数に比べ、約半分の日数での施工を実現できた。

6.2 施工延べ日数の短縮

(1) 上部工(張出し施工部)の施工

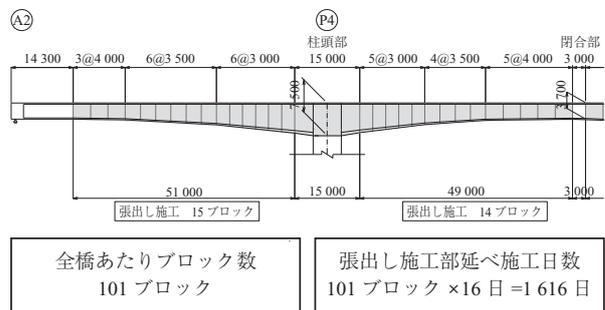
主桁にバタフライウェブ構造を採用することで軽量化が



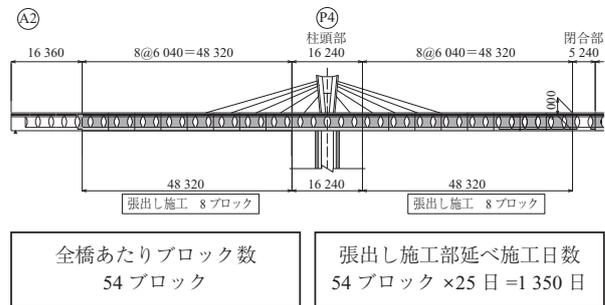
写真 - 9 ハーフプレキャストによる柱頭部施工

図れ、施工ブロック長を 6 m とすることが可能となる。同規模の標準 PC 箱桁橋のブロック長は 3 ~ 4 m であり、全橋あたりの張出し施工部のブロック数は 101 ブロックとなる。これに対して本橋での全橋あたりのブロック数は 54 ブロックであり約半分となっている。本橋の 1 ブロックあたりの施工日数は、平均で 25 日程度である。これは、施工ブロック長が大きいこともあり、同規模の標準 PC 箱桁橋の実績(16 日程度)より多いが、全橋あたりの延べ施工日数を比較すると約 250 日低減できることとなる(図 - 6)。実際の工事工程は、移動作業車基数や転用の関係から、この日数分の工事工程が短縮できたわけではないが、生産性向上という観点では効果が得られたと考えられる。

(PC 箱桁)



(バタフライウェブ・エクストラロード)



⇒ 延べ施工日数の短縮  
1 616 - 1 350 ≒ 約 250 日

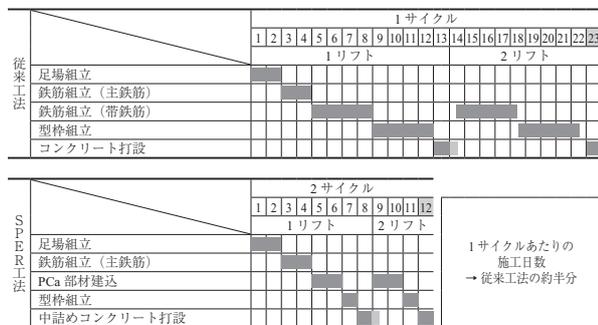
図 - 6 上部工(張出し施工部)の延べ施工日数の比較

(2) 下部工の施工

前述のように、SPER 工法の採用により、従来工法で施工する場合に比べて約半分の日数での施工が可能となる。

## ○ 工事報告 ○

SPER 工法による本橋の4橋脚の施工日数合計が約500日、場所打ちで行った場合を試算すると約1000日かかることとなり、延べ施工日数は約500日の短縮となる(図-7)。上部工と同様にパーティ数などの関係から、工事完了がこの日数分早まったわけではないが、同じ施工量の橋脚を完成させるための労務の延べ人数を減少させることができ、生産性を向上できた。



SPER 工法による4橋脚合計の延べ施工日数 = 502日

従来工法の場合の延べ施工日数  
 $502 \times 2 = 1004$ 日とすると

⇒延べ施工日数の短縮  
 $1004 - 502 \approx$  約500日

図-7 下部工(橋脚)の延べ施工日数の比較

## 7. 環境負荷低減効果

本橋の設計・施工により得られたもう一つの付加価値として、環境負荷低減効果があげられる。これは、本橋の建設により排出されるCO<sub>2</sub>の削減である。パタフライウェブエクストラード橋の採用、高強度コンクリートの採用などによる上部工使用材料の削減、耐震性向上を目的として橋脚剛性を均等化するため、全橋脚に円形中空橋脚を採用・サイズの縮小などにより、上下部工数量を大幅に低減した。この結果、同規模の標準的なPC箱桁に比べて建設時のCO<sub>2</sub>排出量を約30%削減できた(表-3)。

## 8. おわりに

武庫川橋について、高耐久化、維持管理性向上、生産性向上という付加価値の観点から述べた。現況を写真-10に示す。パタフライウェブ、エクストラードの組合せという高度な技術を用いたこともさることながら、高強度材料の使用や適材適所に用いたハーフプレキャスト工法の採用が大きな効果をもたらしたと思われる。

今後の橋梁の建設においては、初期コスト削減のみならず、時代のニーズに合わせて要求される付加価値が求められるとともに、これらを定量的に評価する手法を確立することが必要であると考えられる。

表-3 建設時のCO<sub>2</sub>排出量比較

上部工 CO <sub>2</sub> 排出量		単位	CO <sub>2</sub> 原単位	数量		CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> )	
項目	摘要			① PC箱桁	② BWED	① PC箱桁	② BWED
コンクリート	$\sigma_{ca} = 40 \text{ N/mm}^2$	m <sup>3</sup>	0.294	12 933	-	3 802	-
	$\sigma_{ca} = 50 \text{ N/mm}^2$	m <sup>3</sup>	0.329	-	9 704	-	3 193
パタフライウェブ	$\sigma_{ca} = 80 \text{ N/mm}^2$	m <sup>3</sup>	0.440	-	707	-	311
	鉄筋	t	0.767	2 671	2 201	2 049	1 688
PC 鋼材		t	1.322	570	396	753	524
CO <sub>2</sub> 排出量合計						6 604	5 715
						比率	1.00 0.87
下部工 CO <sub>2</sub> 排出量		単位	CO <sub>2</sub> 原単位	数量		CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> )	
項目	摘要			① PC箱桁	② BWED	① PC箱桁	② BWED
コンクリート	P3 直接基礎、竹割り底版 (24 N/mm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	0.174	1 196	1 046	208	182
	$\sigma_{ca} = 40 \text{ N/mm}^2$	m <sup>3</sup>	0.294	5 066	1 930	1 489	567
	$\sigma_{ca} = 50 \text{ N/mm}^2$	m <sup>3</sup>	0.329	821	735	270	242
	プレキャスト ( $\sigma_{ca} = 50 \text{ N/mm}^2$ )	m <sup>3</sup>	0.329	-	1 042	0	343
型枠	一般用型枠 P3 橋脚基礎、竹割り底版	m <sup>2</sup>	0.057	10 874	1 066	620	61
鉄筋	下部・基礎工: SD345, SD490, USD685	t	0.767	4 126	1 962	3 165	1 505
CO <sub>2</sub> 排出量合計						5 752	2 900
						比率	1.00 0.50

※ BWED: パタフライウェブ・エクストラード

上下部工合計	① PC箱桁	② BWED
CO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> )	12 356	8 615
比率	1.00	0.70

⇒標準案に対して30%削減



写真-10 武庫川橋全景(橋体工完了)

## 参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2012
- 2) 福永靖雄, 芦塚憲一郎, 佐溝純一: 新名神高速道路と東九州自動車道のPC橋—新形式の橋梁への挑戦—, プレストレストコンクリート, Vol.54, No.2, pp.33-36, 2012
- 3) 芦塚憲一郎, 黒川秀樹, 諸橋 明, 松原 勲, 水野克彦, 富山茂樹: 新名神高速道路武庫川橋(仮称)の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.49, No.3, pp.5-11, 2015
- 4) 水野克彦, 福田雅人, 上原浩揮, 諸橋 明: 武庫川橋の設計, 第22回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.21-24, 2013
- 5) 桑野昌晴, 福田雅人, 上原浩揮, 諸橋 明: 武庫川橋における主塔側定着構造について, 第22回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.25-28, 2013
- 6) 佐溝純一, 福田雅人, 諸橋 明, 村尾光則: 新名神高速道路武庫川橋の設計と施工, 基礎工, Vol.41, No.10, pp.61-64, 2013

【2016年4月11日受付】