

# 鍋田高架橋の設計 — 波形鋼板ウェブPC橋 —

森山 陽一\*1・辻 裕治\*2・高橋 功\*3・八木 洋介\*4

## 1. はじめに

第二名神高速道路鍋田高架橋は、愛知県海部郡弥富町鍋田地区に位置するプレキャストセグメント工法を用いたPC連続箱桁橋である。

本橋の構造形式の選定および施工法の決定に際しては、現地状況ならびに社会情勢等から①経済性の追求、②省力化施工、③急速施工という方針が掲げられ、これらを満足するために1室箱桁断面をショートラインマッチキャスト方

式で製作するプレキャストセグメント工法を採用した。また、急速施工を実現するために、50m程度の支間に対しては架設ガーダーを用いたスパンバイスパン架設、長大支間部に対しては固定支保工を用いたスパンバイスパン架設を行うこととした。

支間長は大部分が50mで、通常のコンクリートウェブ断面であるが、支間長91.5mを有する3径間部については、プレキャストセグメント工法による波形鋼板ウェブ構造を採用した。

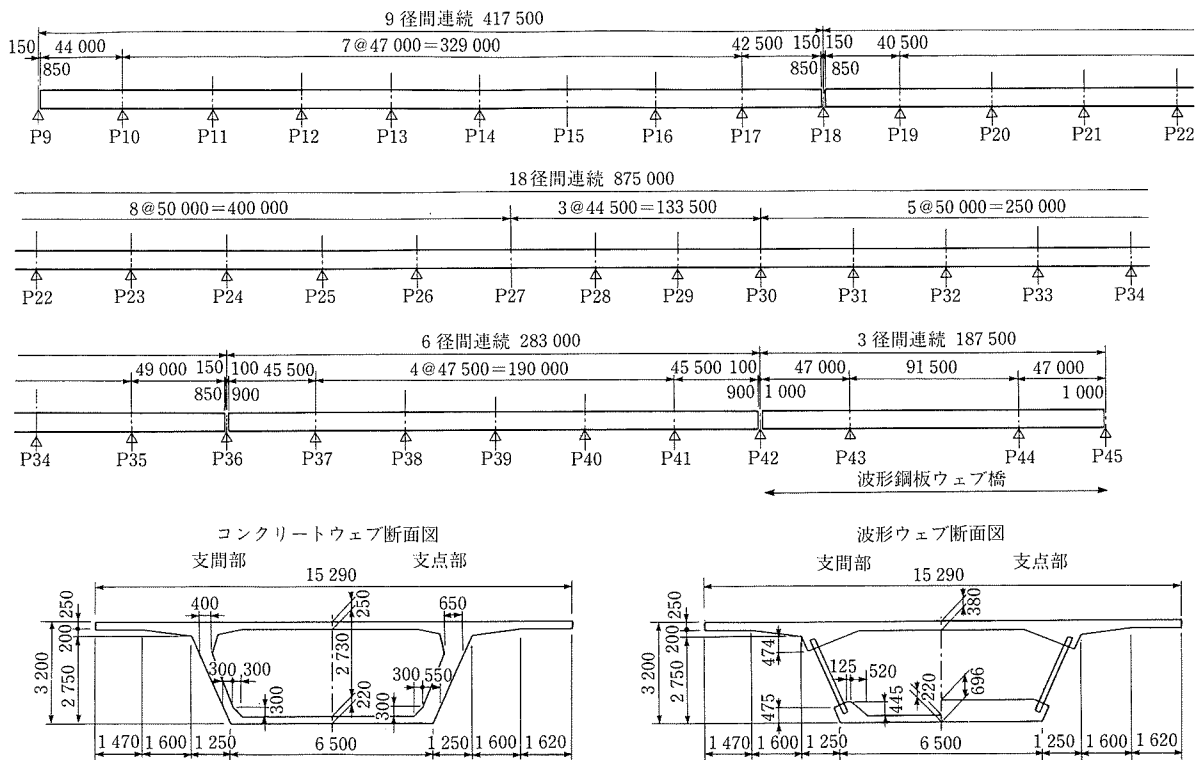


図-1 鍋田高架橋構造一般図



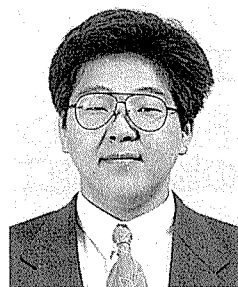
\*1 Yoichi MORIYAMA

日本道路公団 名古屋建設局  
名古屋工事事務所 弥富工事長



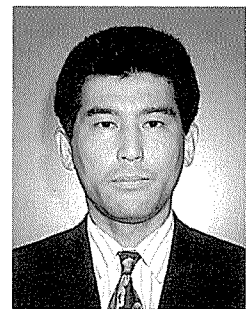
\*2 Yuji TSUII

富士ビー・エス・川田建設・  
極東工業JV



\*3 Isao TAKAHASHI

富士ビー・エス・川田建設・  
極東工業JV



\*4 Yosuke YAGI

富士ビー・エス・川田建設・  
極東工業JV

本文では、3径間部に波形鋼板ウェブ構造を採用するまでの経緯と弥富高架橋での実験および今後の計画概要と課題について述べる。

## 2. 橋梁概要

工事名：第二名神高速道路 鍋田高架橋 (PC上部工) 工事  
路線名：高速自動車道 近畿自動車道名古屋神戸線

工事箇所：愛知県海部郡弥富町大字鍋田

構造形式：PC9, 18, 6径間連続箱桁橋

PC3径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋

橋長：1763m(波形鋼板部187.5m)

支間：44m+7@47m+42.5m(9径間部)

40.5m+8@50m+3@44.5m+5@50m+49m

(18径間部)

45.5m+4@47.5m+45.5m(6径間部)

47m+91.5m+47m(3径間部, 波形鋼板ウェブ構造)

幅員：全幅 15.65m+15.33m

縦断勾配：0.7%~1.1%

横断勾配：-5.5%~2%

工期：平成10年2月28日~平成12年10月14日

## 3. 使用材料

① セグメントには設計基準強度  $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$  の高強度コンクリートを使用した。

② 主ケーブルは、内ケーブルに12S15.2 (SWPR7B)、外ケーブルに19S15.2 (SWPR7B)を使用した。また、外ケーブルはノングラウトタイプとし、取替え可能な構造とした。

③ 床版横締めはポストテンション方式とし、1S28.6のプレグラウトタイプとした。

表-1に主要材料を示す。

## 4. コンクリートウェブ構造と波形鋼板ウェブ構造の比較

当初計画では本橋全区間においてコンクリートウェブ構造にて計画されていたが、支間91.5mについては桁高が3.2m(桁高比  $H/L=1/29$ )と非常に小さいため、設計および施工性についてコンクリートウェブ構造と波形鋼板ウェブ構造の2工法の比較検討を行った。

### 4.1 断面力の比較

表-2および表-3に断面力・反力の比較を示す。本橋は幅員・低桁高であり、ウェブの占める断面積が小さいため、波形鋼板ウェブ構造としても大きな断面力の減とはならないが、主桁自重の断面力で5%~7%の減少、主桁自重反力で約10%減少となる。

### 4.2 鋼材配置の比較

PCケーブルの基本配置は、外ケーブル12本とし、不足分を内ケーブルで補うこととした。

波形鋼板ウェブ構造においては、内ケーブルの配置が上床版28本、下床版32本となった。しかし、コンクリートウェブ構造においては、内ケーブルの最大配置可能本数(上

表-1 主要材料表

種別	規格	単位	数量*
コンクリート	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$	m <sup>3</sup>	34 319 3 511
型枠		m <sup>2</sup>	133 163 11 815
鉄筋	SD345	t	4 609 459
P C 鋼材	1S28.6	t	471 68
	12S15.2	t	453 117
	19S15.2	t	739 95
波形鋼板	SM570, 490 ( $t=9\text{mm}\sim 24\text{mm}$ )	t	258
セグメント数		個	1 874 144

\* 上段：全橋あたり  
下段：波形鋼板ウェブ部分

表-2 曲げモーメント比較表

	側径間中央		中間支点上		中央径間中央	
	コンクリートウェブ	波形鋼板ウェブ	コンクリートウェブ	波形鋼板ウェブ	コンクリートウェブ	波形鋼板ウェブ
自重	717.6	630.1	-15 380.7	-14 398.3	8 916.4	8 535.4
橋面荷重	217.2	220.6	-4 985.9	-4 944.2	3 088.1	3 129.8
活荷重	1 848.9	1 863.5	-3 513.0	-3 678.0	3 059.7	3 090.5
有効プレ2次	2 306.2	2 429.6	8 121.7	7 049.1	8 201.0	7 051.5
死荷重時	3 241.0	3 280.3	-12 244.9	-12 293.4	20 205.5	18 716.7
設計荷重時	5 089.9	5 143.8	-15 757.9	-15 971.4	23 265.2	21 807.2

表-3 反力比較表

	端 支 点		中 間 支 点	
	コンクリートウェブ	波形鋼板ウェブ	コンクリートウェブ	波形鋼板ウェブ
自重	316.0	311.3	2 257.0	2 001.7

床版28本、下床版36本)を配置しても許容値を満足しなかったため、外ケーブルが16本の配置となった(図-2, 3)。

### 4.3 施工性の確認

波形鋼板ウェブ構造の場合、外ケーブル本数が12本であり、弥富高架橋での実績から施工可能なことが確認できている。

しかし、コンクリートウェブ構造については、外ケーブル本数が16本と多いことから、最も施工性の悪いと思われる中間支点付近の外ケーブルが分散されて配置されている箇所、1/2スケールの模型を製作し、施工性の検討を行った(写真-1)。その結果、外ケーブルの本数が多く、内・外ケーブルとも緊張スペースの確保が難しいため、施工が困難であると判断した。

以上のことより波形鋼板ウェブ構造を採用した。

## 5. 既往の実験結果

### 5.1 本谷橋での実験

東海北陸自動車道・本谷橋においては、コンクリート中に波形鋼板を埋め込む新しい接合法と波形鋼板どうしを高力ボルトにより一面摩擦で接合する新工法が採用された。そこで、これらの接合法の安全性、波形鋼板ウェブ箱桁橋の基本性状を確認するため種々の実験が行われ、以下の

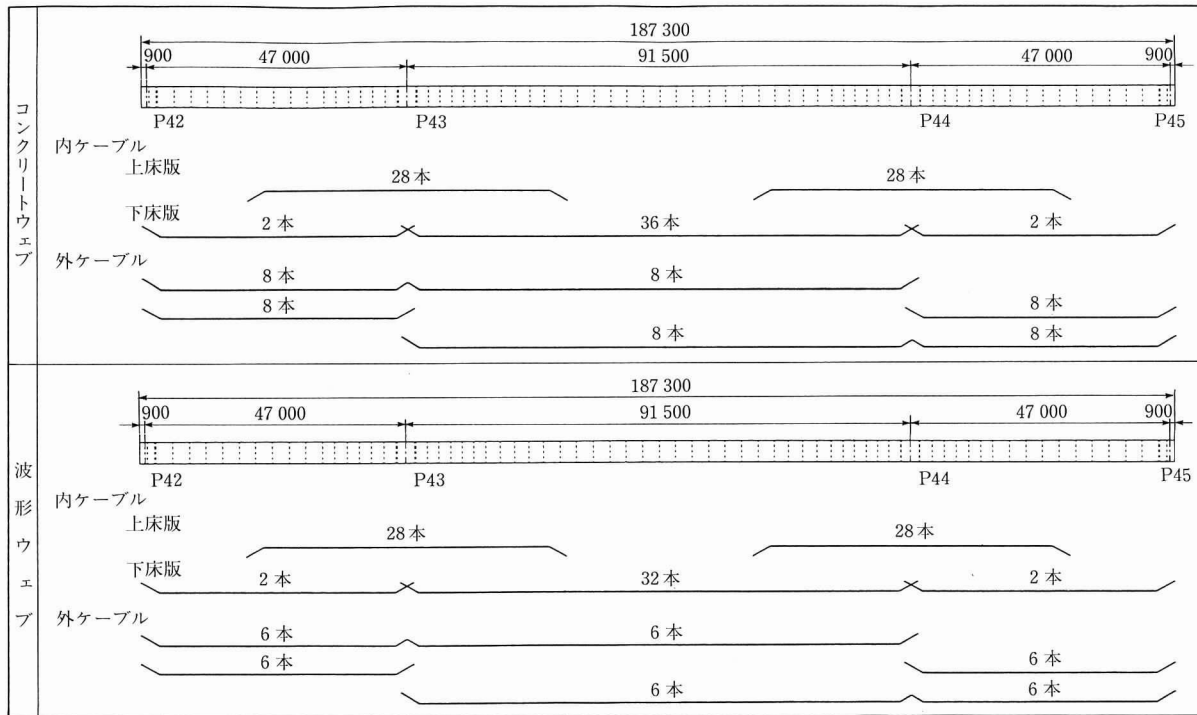


図-2 ケーブル本数比較

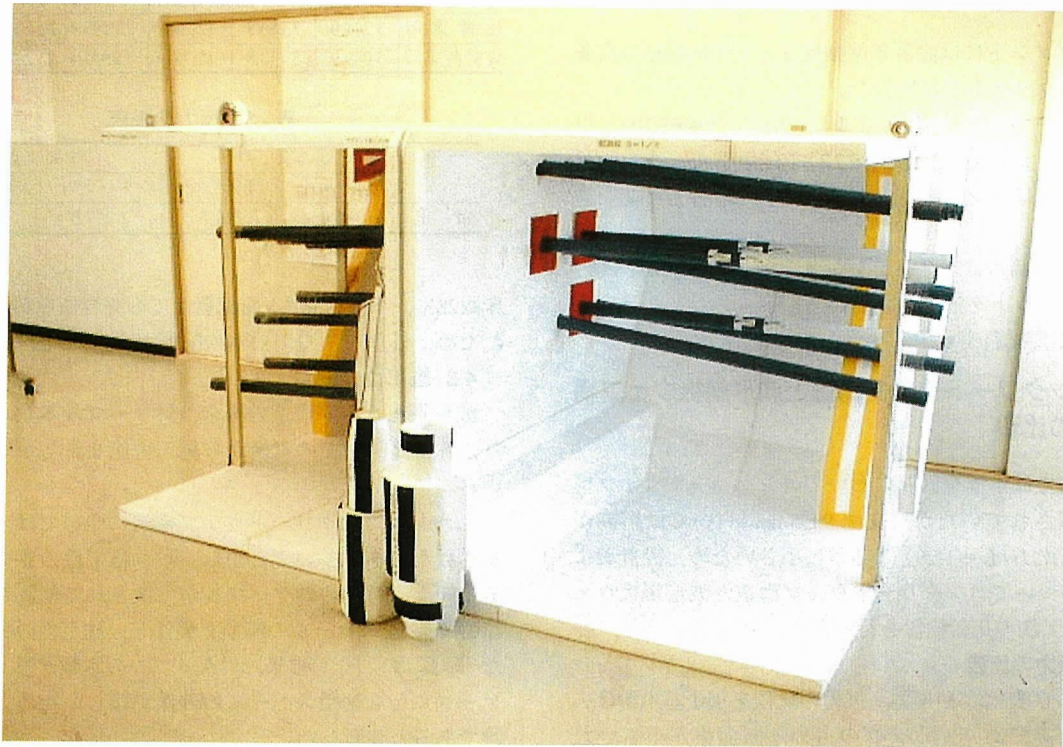


写真-1 1/2スケール模型

ような結果が得られている<sup>1), 2)</sup>。

- ① 終局荷重作用時については、道路橋示方書（以下、道示）Ⅲに準じた破壊抵抗曲げモーメントで照査することで安全側の設計となる。
- ② 変位については、たわみ計算を行う際にせん断変形の影響を考慮する必要がある。
- ③ 曲げに対しては、コンクリート床版のみを有効と

し、平面保持の仮定に基づいて設計することは妥当である。

- ④ せん断に対しては、波形鋼板ウェブのみを有効として設計すれば安全側である。
- ⑤ 埋込み接合部および一面摩擦接合部は、せん断力に対して十分な耐荷力を有している。
- ⑥ ねじりモーメントに対して十分な抵抗性を有している。

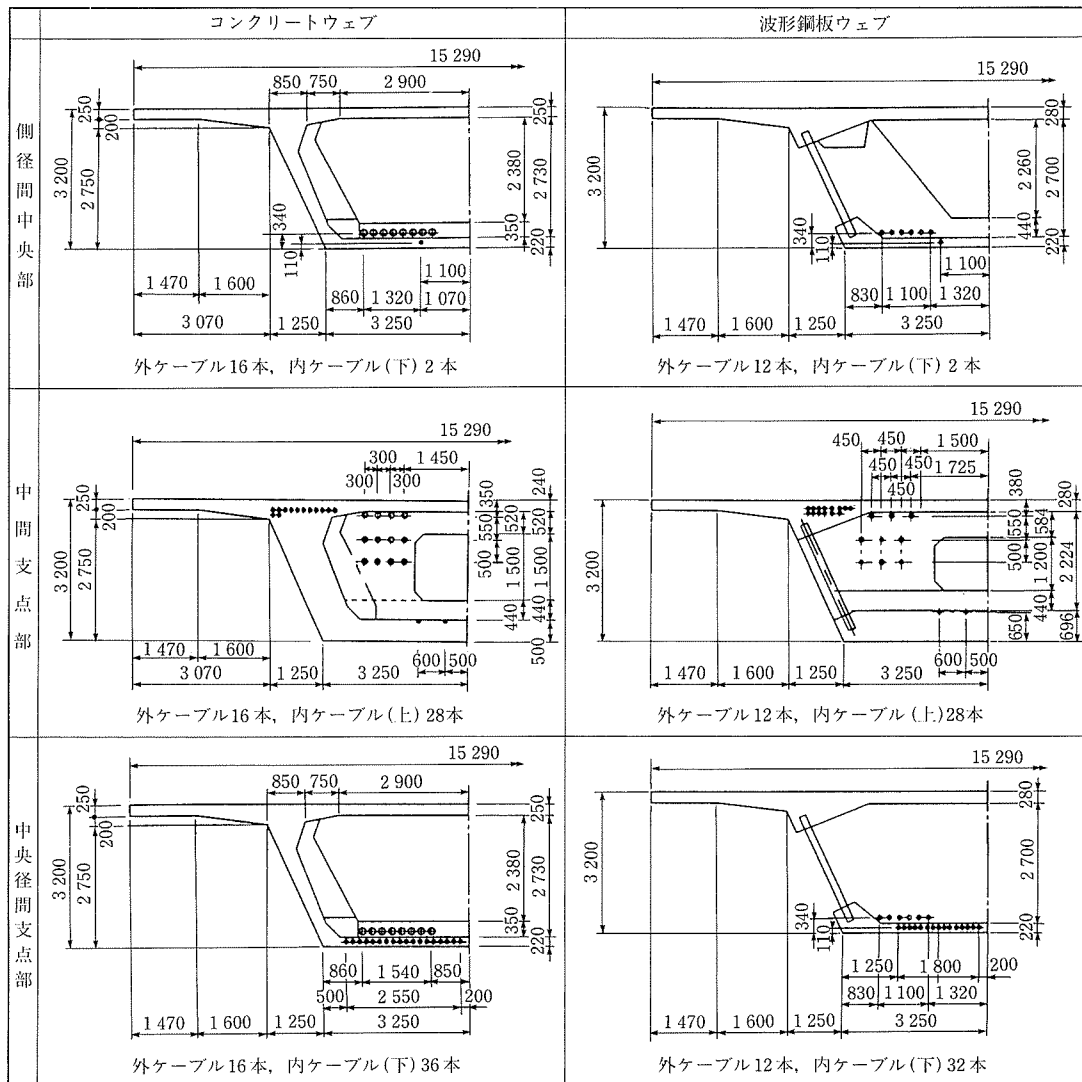


図-3 ケーブル配置比較

5.2 弥富高架橋での実験

プレキャストセグメント工法による波形鋼板ウェブ構造を採用するにあたり不明点を解決するため、弥富高架橋において次に示す実験が行われた(表-4)。

(1) 曲げ破壊試験

プレキャストセグメント工法による継目部の安全性を確認するため、図-4に示す1/4スケールの供試体(4種類)を作製し、曲げ破壊試験が行われた(表-5)。

セグメント供試体は、荷重の漸増とともにひび割れが増加・進展せず、セグメント目地のみが開く。変形は目地で折れ曲がるような変形を起し、そのまま破壊に至った。しかし、最終荷重および変位ともに一体打ち構造と同等以上の値を示し、耐力的には問題ないことが確認されている。

また、埋込み接合部の貫通鉄筋を1段とした場合と2段とした場合の鉄筋応力度の差異は認められなかった。

(2) 曲げ疲労試験

セグメント継目部の疲労耐力と斜ウェブによる影響を確認するため、曲げ疲労試験が行われた(図-5)。

表-4 波形鋼板ウェブ構造における不明点および確認方法

特徴	波形鋼板ウェブ構造不明点	解析手法	確認方法
幅員	・横方向の設計荷重の算出方法(結合条件、道路橋示方書荷重に対する比率等)	・FEM.横方向ブレースモデルによる断面力の算出	・実物大供試体での疲労載荷試験
	・鋼コンクリート接合部の首振り現象の安全性	—	・実物大供試体での疲労載荷試験
プレキャストセグメント工法	・セグメント継目部での鋼コンクリート接合部の一体性	・斜め方向パネルのずれ止め抵抗力の算出 ・コンクリートジベルによるせん断抵抗力の算出	・縮小モデルでの曲げ破壊試験
	・セグメント継目部でのせん断力の伝達性	・ボルト本数、添接板板厚の照査 ・せん断流理論による照査	・曲げ疲労試験および疲労試験後の破壊試験
斜ウェブ	・曲げ作用時の鋼コンクリート接合部の一体性	・FEMによる応力度の算出	・曲げ疲労試験

曲げ破壊耐力は引張力に対して波形鋼板ウェブがある程度負担していると思われ、実測値は非線形解析による計算

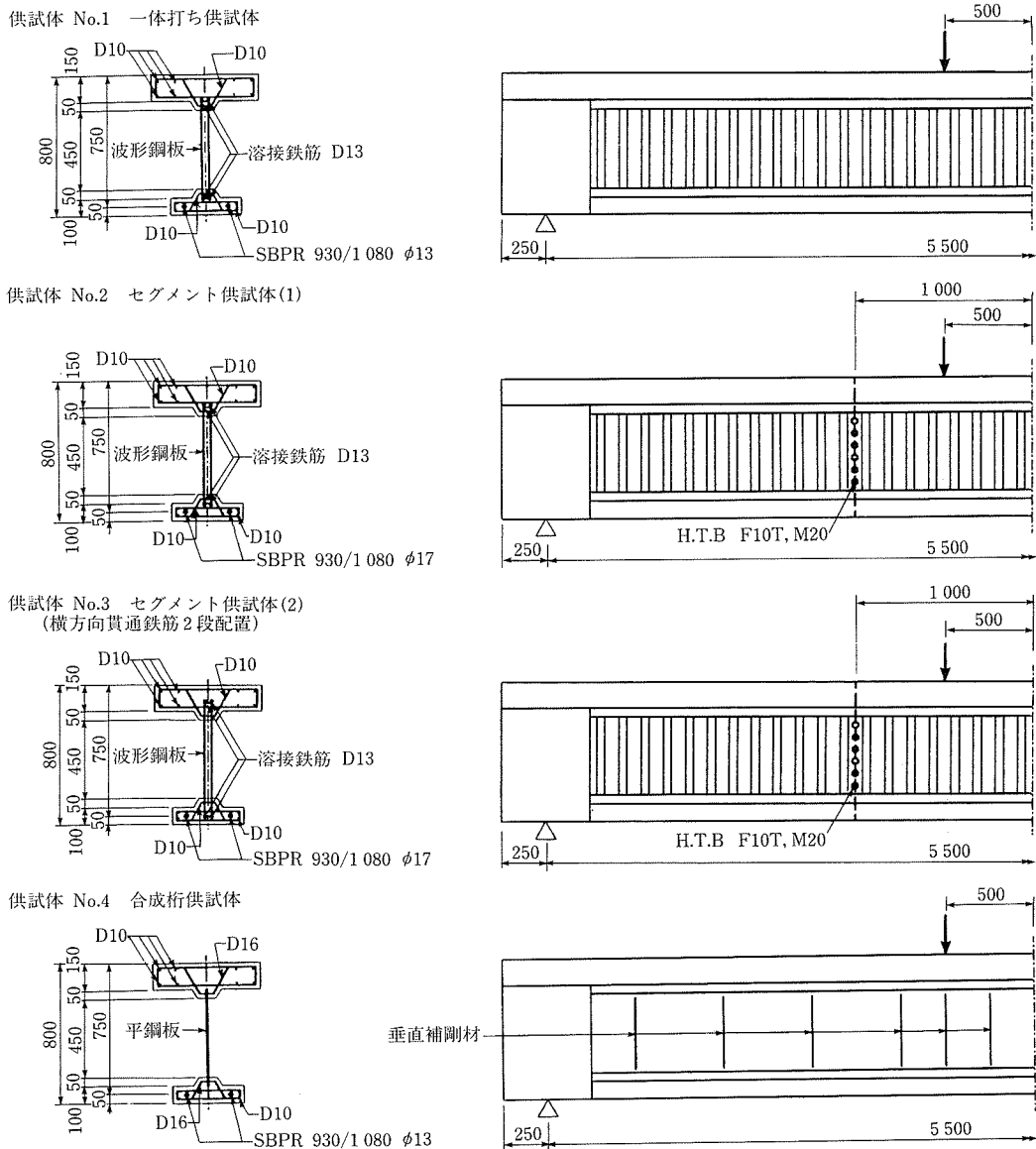


図-4 供試体形状図

表-5 供試体の種類

供試体番号	名称	構造	ウェブ形状	鋼とコンクリートとの接合方法
供試体 No.1	一体打ち供試体	一体打ち構造	波形鋼板	軸方向溶接鉄筋+横方向貫通鉄筋
供試体 No.2	セグメント供試体(1)	セグメント構造	波形鋼板	軸方向溶接鉄筋+横方向貫通鉄筋
供試体 No.3	セグメント供試体(2)	セグメント構造	波形鋼板	軸方向溶接鉄筋+横方向貫通鉄筋2段
供試体 No.4	合成桁供試体	一体打ち構造	平鋼板	横方向貫通鉄筋

値を大きく上回った。せん断力に対しては、コンクリート部分もそのせん断力の一部を負担していると思われ、せん断応力度は計算値より小さい値を示した。また、両者の結果は本谷橋での実験結果と同じ傾向であった。

斜ウェブ鋼材のはらみ出しはごくわずかであり、問題ないことが確認された。

### (3) 横方向疲労試験

波形鋼板とコンクリート床版の接合部の剛性評価と疲労耐久性を確認するため、横方向疲労載荷試験が行われた(図

-6)。

波形鋼板ウェブとコンクリート床版の接合部は、疲労(常時相当荷重で床版支間中央に200万回+張出し床版に200万回)に対して十分な安全性を示した。また、波形鋼板ウェブの接合部付近の首振り現象はなく、十分安全であることが確認された。

床版の曲げ挙動は、平面骨組み解析による波形鋼板とコンクリート床版の付け根部をピン結合とした場合と剛結合とした場合の中間的な値を示しており、FEM解析値に近似した結果となった。今後、追加実験や詳細な解析等を行い、とくに床版の設計曲げモーメントに関する合理的な設計方法の確立が必要である。

## 6. 実施に際しての問題点および課題

本谷橋での実験・実施および弥富高架橋での実験を踏まえ、鍋田高架橋での実施計画を行う。構造一般図を図-7に示す。

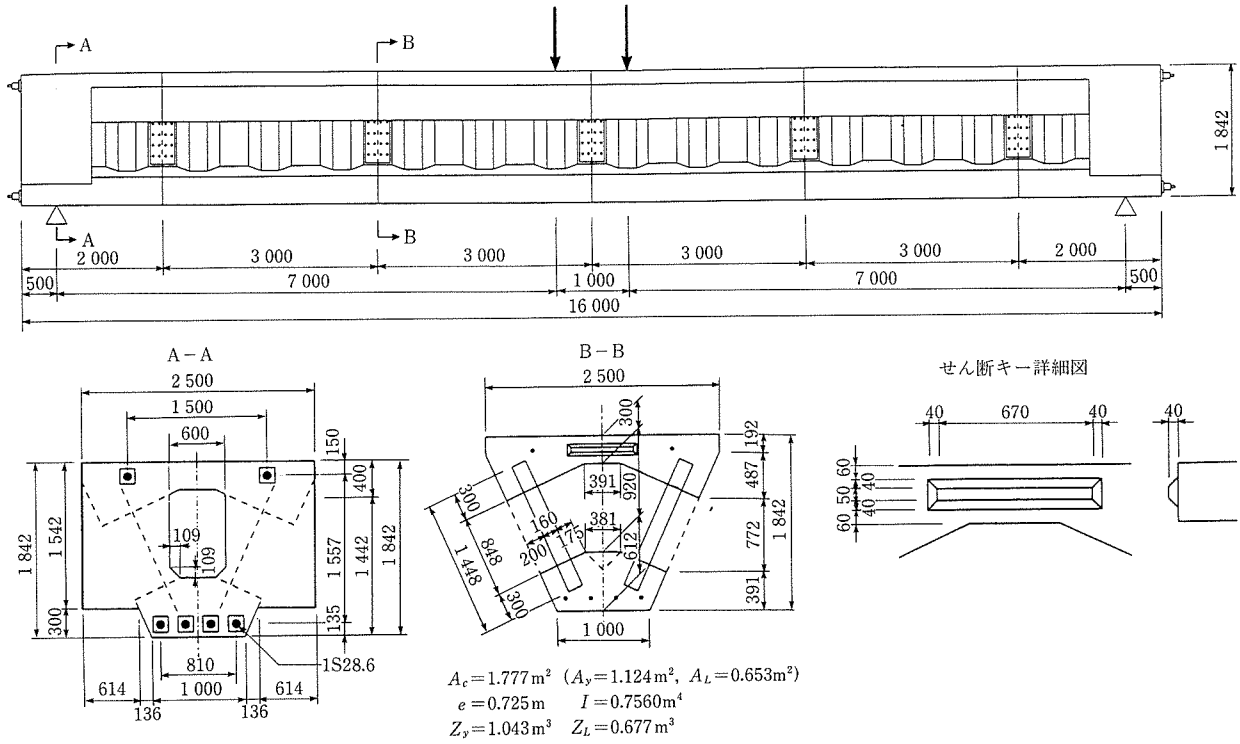


図-5 曲げ疲労試験 供試体一般図

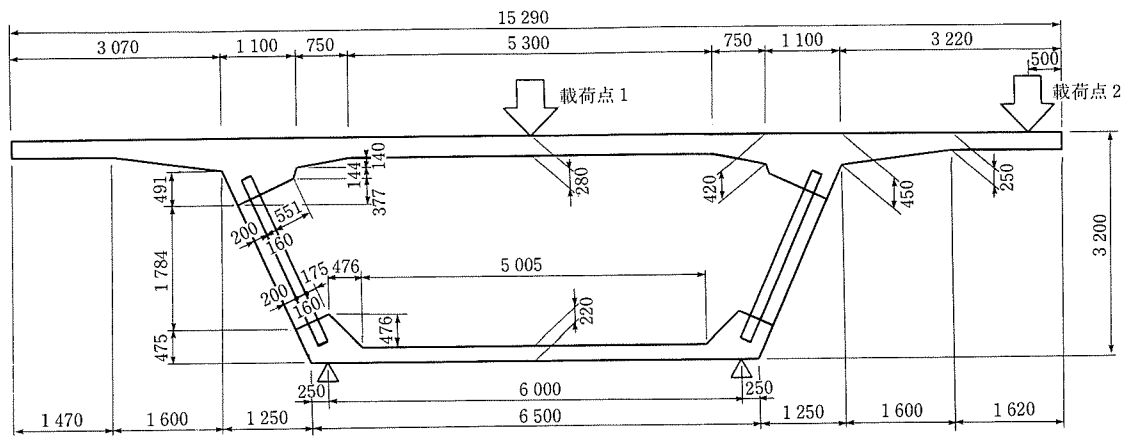


図-6 横方向疲労载荷試験 供試体形状図

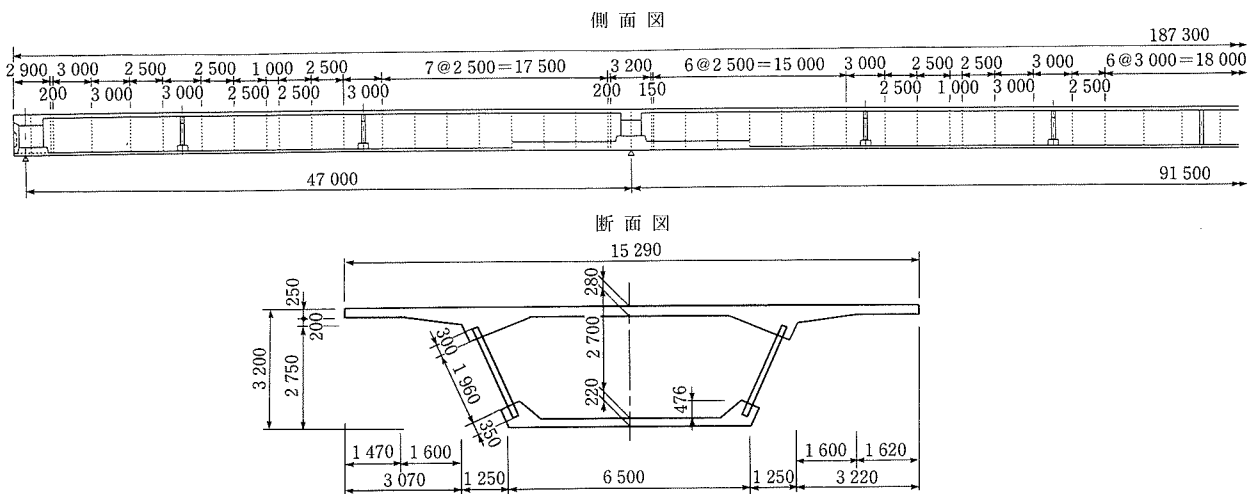


図-7 構造一般図

6.1 設計および計画概要

(1) 広 幅 員

全桁幅が15.29mの1室箱桁橋であるため、床版支間が、張出し床版3.2m、中間床版8.5mほどあり、道示の適用を超えたものとなっている。弥富高架橋の実験結果によると、波形鋼板とコンクリート床版との結合部の剛性はピン結合と剛結合の中間であった。そのため、本橋の床版の設計は表-6に示すように各荷重状態で制限値を設けて行った。

表-6 床版設計方法

	FEM解析に対して	道示式に対して
全死荷重時	フルプレストレス	フルプレストレス
設計荷重時	フルプレストレス	ひび割れ発生限界状態
風荷重時	許容ひび割れ幅以内	—

- 注1) 死荷重は結合部をピンおよび剛とした場合のフレーム計算値を使用  
 2) 道示式の活荷重に対しては単純版と連続版の両方を満足するように設計した。  
 3) 許容ひび割れ幅 0.005C(一般環境)

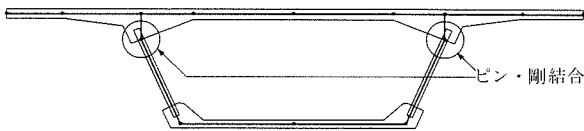


図-8 骨組図(死荷重系のフレームモデル)

(2) 埋込み接合

波形鋼板とコンクリート床版の結合方法としては、スタッドジベルによる方法と、埋込みによる方法があるが、本谷橋での実績より埋込み接合を採用した。これは、作用する水平せん断力に対して波形鋼板の斜め板部分がコンクリートブロックとして抵抗し、さらに、波形鋼板の孔に充填されたコンクリートがコンクリートジベルとして抵抗するという考え方によるものである<sup>1)~4)</sup>。

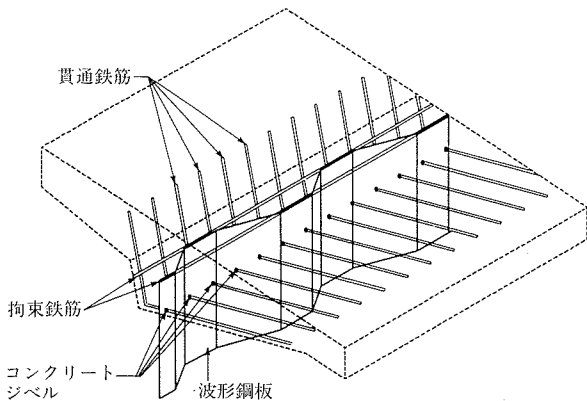


図-9 埋込み接合詳細図

(3) 突合せによる溶接接合

波形鋼板の接合方法としてボルト接合と溶接接合が考えられる。ボルト接合とした場合、低桁高のため支点上付近でボルト本数が多く3列配置となり、そのスペースを確保するためには、波形鋼板の波が不連続になり美観上好ましくない。したがって突合せ溶接継手を採用した(図-10, 11)。

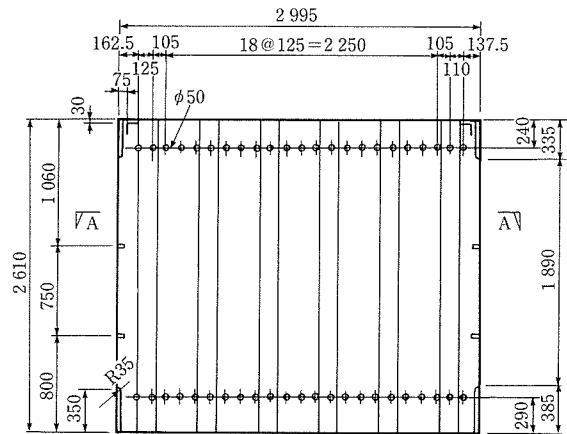


図-10 波形鋼板詳細図

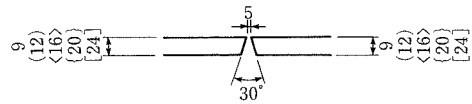


図-11 溶接部詳細図

6.2 問題点および課題

鍋田高架橋において波形鋼板ウェブ構造の計画および詳細設計を進めるにあたって、次のような新たな問題点が考えられたため、実験等によって解明していくこととした。表-7に問題点と確認方法を示す。

表-7 問題点と確認方法

特 徴	波形鋼板ウェブ構造の不明点	解析手法	確認方法
広 幅 員	・ウェブ部の剛性が小さいことによるねじりに対する抵抗力 ・横方向の設計荷重の算出方法	・Beamアナロジーによる近似計算 ・FEM解析による検証	・実物大横方向供試体の曲げ破壊試験
プレキャストセグメント工法	・突合せ溶接部のコンクリートの拘束による局部応力 ・溶接接合部の破壊耐力	—	・実物大供試体による溶接試験 ・縮小モデルでの曲げ破壊試験
斜 ウェ ブ	・下床版の鋼・コンクリート接合部の防蝕	—	—
複 合 構 造	・塗装部の防錆	—	—

- ① 広幅員によるねじりの影響が大きく、とくにねじりに対して大きな引張応力が発生する。そこで断面変形に抵抗するための隔壁を設ける必要があり、適切な隔壁間隔について検討する必要がある(図-12)。
- ② 美観上連続した波の形状を確保するために突合せ溶接継手を採用したが、波形鋼板が上下床版コンクリートに拘束されていることによって溶接時の局部残留ひずみの影響が懸念される。実物大供試体を作製し、実際に溶接試験を行って挙動の確認を行う。
- ③ 弥富高架橋での実験ではセグメント構造の終局時の形態として、セグメント継目が開いて破壊に至るという結果が得られたが、そのような状況では溶接部に応力集中が生じ耐力の低下が懸念される。そこで、この部分の安全性を確認するため縮小モデルによる曲げ破壊試験を行う。



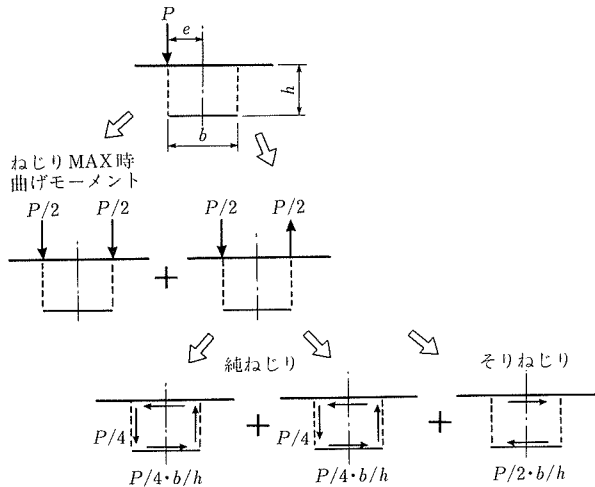


図-12 偏心荷重の概念と応力図

- ④ 床版がピン結合と剛結合の中間的な挙動を示すという弥富高架橋での実験結果から、ピンと剛の両方を満足するような床版の設計を行い、FEM解析にて検証した。しかし、この場合設計が煩雑であるため、接合部の剛性をより明確にし簡便な設計方法を確立する必要がある。そのため、実物大供試体による載荷試験を行い挙動を明らかにする。
- ⑤ 波形鋼板と下床版コンクリートとの接合部に結露等で水がたまり、活荷重の振動および乾燥収縮等による

小さな隙間より結露水が浸透することが考えられる。メンテナンス上問題となるため確実な防水方法が必要である。

## 7. おわりに

現在、本橋は詳細設計中であり、波形断面のセグメント製作をコンクリートウェブの場合と同等の施工性およびサイクルで製作できるよう計画中である。広幅員・低桁高でかつ初めてのプレキャストセグメント工法による波形鋼板ウェブ箱桁橋のため、これまでになかった問題点が生じた。これらを解決すべく弥富高架橋と鍋田高架橋でいくつかの実験を行った。実験の詳細は結果がまとまり次第、別の機会に報告する予定である。

最後に、本路線で波形鋼板ウェブ構造を採用するにあたり実験および諸検討にご協力していただいた関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 水口, 芦塚, 吉田, 大浦, 滝, 加藤: 本谷橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.32, pp.2~10, 1998
- 2) 水口, 芦塚, 依田, 佐藤, 桜田, 日高: 本谷橋の模型実験と実橋載荷実験, Vol.32, pp.25~34, 1998
- 3) 中島, 依田, 大浦 ほか: 波形鋼板ウェブとコンクリートフランジとの接合部の構造に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, No.43, pp.173~177, 1995.11
- 4) 山口(恒), 山口(隆), 池田: 波形鋼板をウェブに用いた複合プレストレストコンクリート桁の力学的挙動に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.8, No.1, pp.27~40, 1997.1

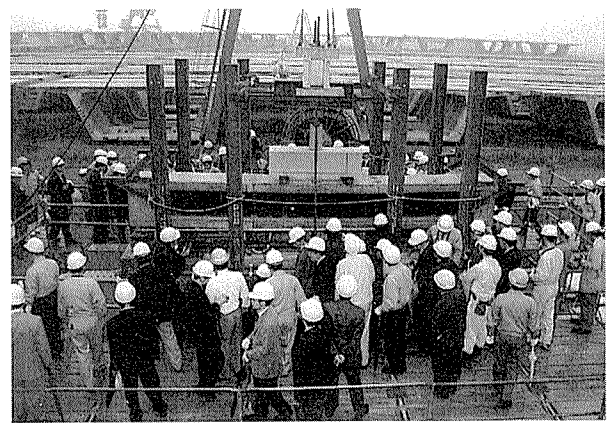
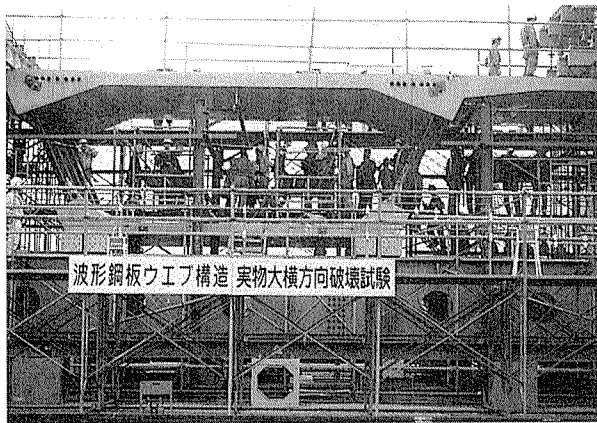


写真-2 公開実験

【1998年11月17日受付】