

# 舞子高架橋 上部工工事報告

古家 和彦\*1・毛利 俊彦\*2・内田 誠二郎\*3

## 1. はじめに

舞子高架橋は、本州四国連絡道路「神戸・鳴門ルート」の神戸側陸上部に位置し、明石海峡大橋と舞子トンネルを結ぶ橋長約500mの8径間連続PCラーメン道路橋である。

本橋のほぼ中央位置にはバス停車帯と乗降用プラットホームが設置され、地上から建設される連絡用施設とつながっており、舞子地区からのバス利用ができる。このため橋体の中央付近はかなりの広幅員であり、主桁幅は全橋にわたり変化している。また支間途中で断面が急変する部分もあり、PC箱桁橋として特長ある構造となっている。

本橋は海岸沿いを走る国道2号線、JR山陽本線および山陽電鉄といった基幹交通路をまたぐ形で架橋されており、周辺は住宅地や公園、各鉄道の駅などに囲まれている。このため橋体の形状・構造は周辺環境に調和するよう考慮され、スレンダーな橋脚と広幅員の主桁が曲面によりなめらかに連なるように構成されている。施工では交差に対する絶対的安全性を要求されるとともに地域環境へも配慮をしながら、主桁の幅員変化に対応した片持ち張出し架設を行った。

本稿はこのような条件のなかで実施された舞子高架橋上部工工事について、設計・施工の概要を報告するものである。

## 2. 工事概要

舞子高架橋上部工の工事概要を以下に示す。また全体一般図を図-1に、主要数量を表-1に示す。

工事名：舞子高架橋上部工工事

路線名：一般国道28号線

工事場所：神戸市垂水区舞子台～東舞子町

工期：平成5年12月14日～平成9年9月23日

橋種：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：8径間連続ラーメン箱桁橋

橋長：511.2m（上下線）

支間：53.9+2@54.5+2@65.0+70.0+85.0+62.0m

幅員：全幅 15.150～27.775m

平面線形：A=470, R=1300, A=615

勾配：縦断 3.0%, 横断 2.0～3.0%

上部工の施工範囲は柱頭部主桁下面から5m下の橋脚頭部部分からである。主桁の施工方法は、橋脚の低いA<sub>1</sub>～P<sub>3</sub>の



写真-1 全景

\*1 Kazuhiko FURUYA：本州四国連絡橋公団 第一建設局 舞子工事事務所 第一工事長  
 \*2 Toshihiko MOHRI：住友・オリエンタル・安部 特定建設工事 共同企業体 工事課長  
 \*3 Seijiro UCHIDA：住友・オリエンタル・安部 特定建設工事 共同企業体 工事主任

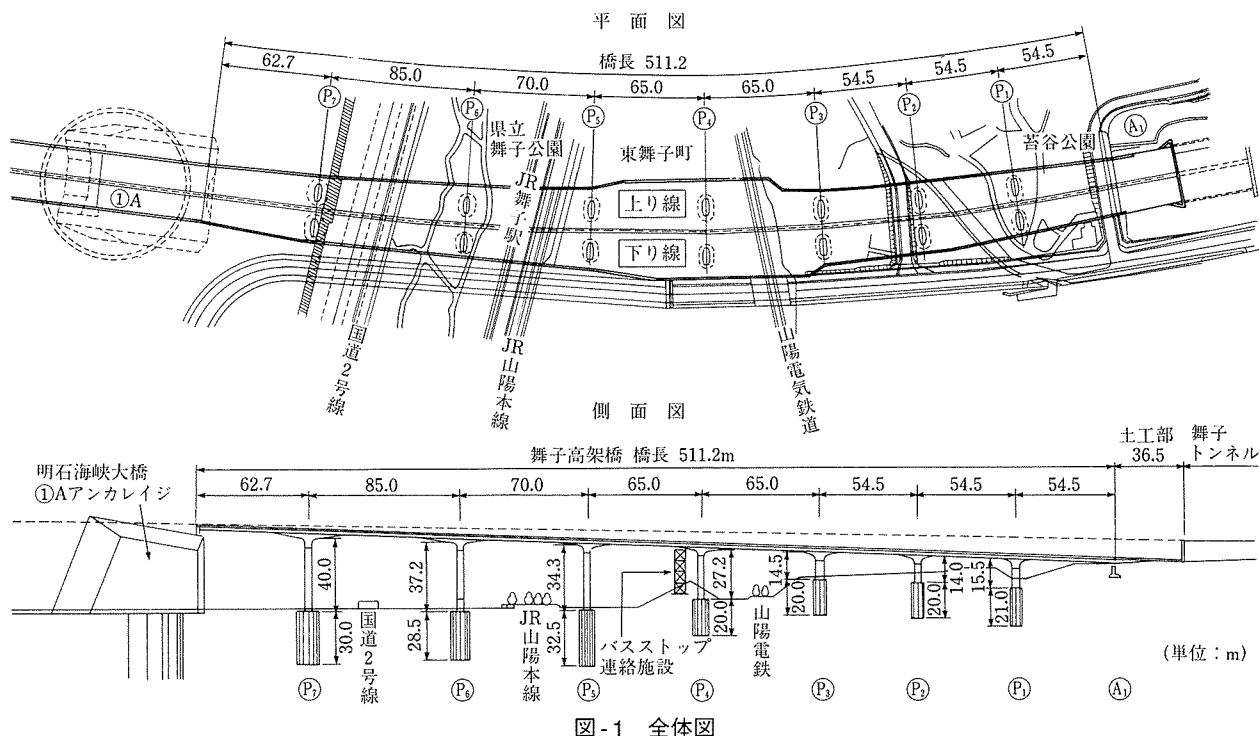


図-1 全体図

表-1 上部工主要数量

種別	仕様	単位	数量	摘要
コンクリート	$\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	21 489	主桁, 横桁
	$\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	3 056	橋脚頭部
	$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	1 092	地覆・壁高欄
鉄筋	SD345	t	3 655	
PC鋼材	SWPR7A 12S12.4	kg	224 315	支保工部主ケーブル
	SWPR7A 7S15.2	kg	153 564	張出し部主ケーブル
	SWPR1 12φ7	kg	184 931	床版・横桁横締
	SBPR930/1180 φ32	kg	727 704	張出・せん断鋼棒

3径間は固定支保工架設工法, 橋脚の高いP<sub>3</sub>~A<sub>2</sub>の5径間は片持ち張出し架設工法である。

### 3. 構造概要

全体系は8径間の連続ラーメン構造であり, 下部構造はケーソン基礎と橋脚高14~40mの不等橋脚からなっている。

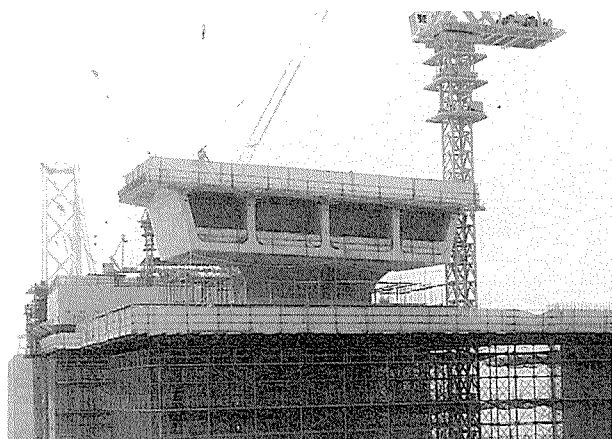


写真-2 P<sub>4</sub>柱頭部

る。主桁形状は桁高および幅員が変化する逆台形の多重箱桁断面で, ボックス数は2室から最大4室までである。ボックス数は中間支点部を境に変化するのを基本としており, 支間途中での幅員変化には, 床版支間長の増減で対応している。上部工の構造的特徴を以下に列挙する。

- 1) 幅員変化のために床版支間が常に変化しており, 標準的な断面がない。
- 2) 断面内でのウェブ間隔(床版支間)が不均等である。
- 3) 中間支点部では橋脚幅よりも主桁幅が広く, いくつかの橋脚では柱頭部横桁が橋脚断面から大きく張り出した形状となっている(写真-2)。
- 4) P<sub>3</sub>~P<sub>4</sub>径間では支間途中で主桁ボックス数が増加する

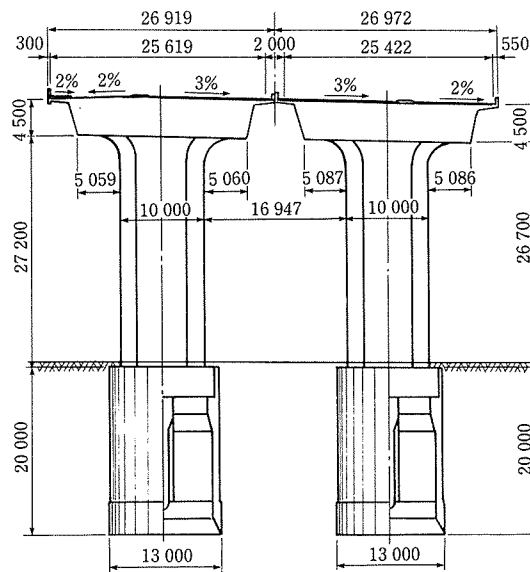


図-2 断面図(P<sub>4</sub>橋脚)

るため、断面が急変する不連続部分がある(図-3)。

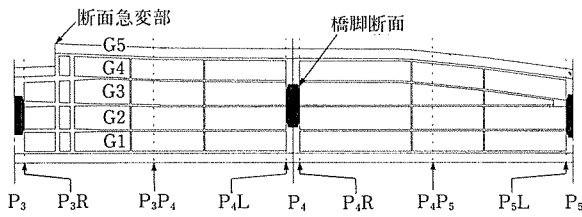


図-3 ウェブ配置平面図(下り線P<sub>3</sub>~P<sub>5</sub>)

## 4. 設計概要

### 4.1 横方向(床版)の設計

本橋の床版はPC構造で、床版支間は最大6mである。一般に床版の設計は、主桁の代表的な断面を抽出し、検討を行えば十分であることが多い。しかしながら、本橋のように主桁断面形状や床版支間長の変化が大きき場合には、詳細に検討断面を選び出す必要がある。今回の横方向設計にあたっては、主桁断面をウェブ数・床版支間長・桁高等の構成要素により細かく分類し、検討位置以外については前後からの補間で十分となるように設計断面を定めた。その結果、片ラインあたりの設計断面数は27断面となった。床版のPC鋼材は12φ7であり配置間隔は場所により20~50cmと変化している。

### 4.2 主方向の設計

#### (1) 設計方針

道路橋示方書<sup>2)</sup>では、一般に多重箱桁構造は橋軸直角方向の剛性が高く荷重配分の作用がよいため、全断面を一本のはりとして解析をすることができると記してある。しかし本橋の主桁構造の特徴から荷重分配が不均等となっている可能性があり、その性状を十分に把握し設計計算に反映する必要があると考えた。その根拠は、

- ① ウェブ間隔が不均等であること、
- ② 支点部で外側ウェブは柱頭部横桁を介して支持され、内側ウェブとは支持条件に差異があること、
- ③ 断面急変部ではウェブが不連続となること、
- ④ 幅員変化が主桁外側の片方のみで行われていること、などによる。

また同示方書には前述と同様に、箱桁であっても全幅と支間の比が0.5以上の場合には格子構造理論による解析を行うのが良いとも記されており、広幅員の場合には荷重分配に差異が生じる可能性を示唆している。本橋での全幅と支間の比率はP<sub>3</sub>~P<sub>4</sub>径間で0.43であるが、この点からも荷重分配に対する考慮をするのが良いと判断した。

実際の設計にあたっては、橋長500mの連続ラーメン橋の

構造解析・設計計算を効率的に行うために、次のような方針で行うこととした。

- 1) 荷重分配の性状を把握するために上部工を格子構造とした全体モデルにより平面格子構造解析を実施する。
- 2) 格子解析の結果は、各ウェブの荷重分担性状を把握するためのものとし、具体的な荷重分担率算定に利用する。
- 3) 部材検討に際しては、主桁断面を一本のはりとした全体系の平面骨組解析により得られた断面力を基本断面力とし、これに荷重分担の影響を考慮したものを設計断面力として用いる。

格子解析に用いた構造モデルを図-4に示すが、モデル設計では道路線形計算データを利用してウェブ配置を忠実に再現した。ウェブを示す主桁部材の剛性は、床版中央位置で一律に分割した断面により算定した。仮想横桁は主方向の各設計断面および横桁位置に設けている。また下部構造については地盤から橋脚までを等価なバネ支点に換算している。

#### (2) 曲げに対する検討

断面内における各ウェブへの曲げモーメントの分配率は、格子モデル化での曲げ剛性の影響を排除して以下のよう求めた。

$M_i$  : 格子解析で求めた各ウェブ曲げモーメント

$I_i$  : 格子モデルで設定した各ウェブ断面2次モーメント

$E_i$  :  $E_i = M_i / I_i$

$K_{mi}$  : モーメントの分配率  $K_i = E_i / (\sum E_i / n)$

$n$  : 断面内ウェブ本数

曲げモーメントの荷重分配の選定結果の例を表-2に示す。分配率が不均等なのは支点拘束のある柱頭部付近のみで最大10%程度の差異であった。支点の影響は比較的早く消失し、支間中央に至る以前に荷重はほぼ等分配される結果が得られた。箱桁構造の荷重分配性状の良さがわかる。

荷重分配を考慮した設計フローを図-5に示す。各ウェブ間で荷重分配に違いがある一方で、主桁橋軸方向に導入されるプレストレスは、定着位置から広がりながら伝達され

表-2 曲げモーメント分配率(下り線)

断面	モーメント分配率 $K_{mi}$ (G:ウェブ番号)					割増係数 $K_{mi.max}$
	G1	G2	G3	G4	G5	
P3R	0.88	0.99	1.13	1.00	*	1.13
P3P4	1.00	1.00	1.00	0.99	1.01	1.01
P4L	0.93	0.99	0.99	1.07	1.02	1.07
P4R	0.95	1.02	0.99	1.03	1.01	1.03
P4P5	1.01	1.00	0.99	0.99	1.01	1.01
P5L	0.93	0.96	1.05	1.09	0.97	1.09

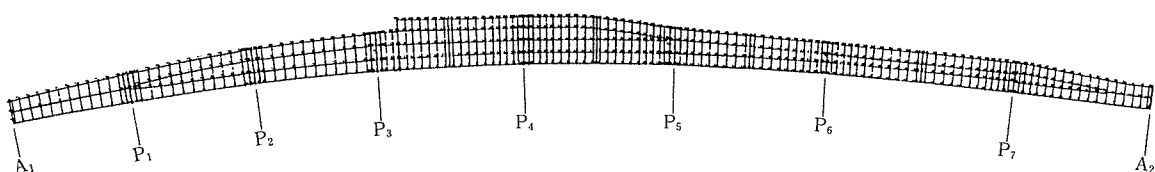


図-4 平面格子解析モデル(下り線)



一定の距離を経た後には断面内に均等に分布する性状がある。このため、ウェブごとに補強プレストレスを設定することは一般には困難であり、主桁断面全体としての断面検討を行わねばならない。したがって、断面内の荷重分配率が最大となるウェブの安全を確保するために、基本断面力を最大分配率に応じて割増し、これを設計断面力として設計を行った。

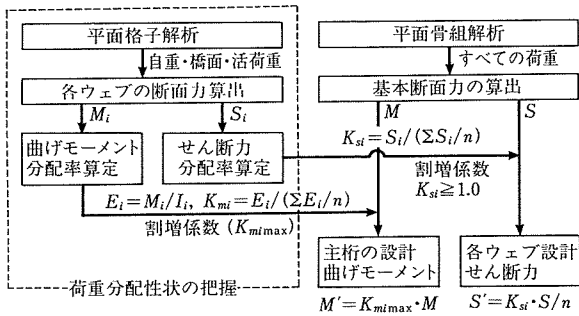


図-5 荷重分配を考慮した設計フロー

(3) せん断力に対する検討

各ウェブにおけるせん断力に対する補強は、断面内の他のウェブに影響を及ぼさないものであり、また検討作業もウェブごとの部材諸元を使用して行える。つまり、せん断に対しては各々のウェブごとに作用断面力に応じた設計を行うことができる。

- $S_i$  : 格子解析で求めた各ウェブせん断力
- $K_{si}$  : せん断力の分配率  $K_i = S_i / (\sum S_i/n)$
- $n$  : 断面内ウェブ本数

表-3に示すように、せん断力の荷重分配性状はウェブ間でかなり差がある結果が得られた。ただしウェブ剛性の影響が含まれている。

表-3 せん断力分配率(下り線)

断面	モーメント分配率 $K_{si}$ (G:ウェブ番号)				
	G1	G2	G3	G4	G5
P3R	0.42	1.14	1.73	0.70	*
P3P4	0.79	1.03	1.18	1.11	0.89
P4L	0.62	1.23	1.13	1.36	0.65
P4R	0.61	1.31	1.11	1.28	0.69
P4P5	0.81	1.27	1.00	1.01	0.91
P5L	0.75	1.46	0.73	1.09	0.96

各ウェブごとの設計せん断力は、基本断面力をウェブ数で等分したものにせん断力分配率を計数として乗じればよい。実際には計数の最低値を1.0とし、荷重分配率の低いウェブについても等配分の状態までは保証するものとした。

(4) 断面急変部の照査

下り線P<sub>3</sub>~P<sub>4</sub>径間の主桁断面急変部を写真-3に示す。この径間のP<sub>3</sub>側は後述するワーゲンによる分割施工が行われ、施工時の床版に過大な応力が発生することが懸念された。そこで3次元FEM解析によって床版応力の照査を実施した。FEM解析モデルを図-6に示す。施工時の構造系はA<sub>1</sub>からP<sub>4</sub>までである。照査該当部付近は各部材を板要素とし、

その他の部分は棒要素としてモデル化した。荷重は自重、ワーゲン荷重およびプレストレスを考慮し、施工段階に合わせた部材の構築と荷重移動を行った。

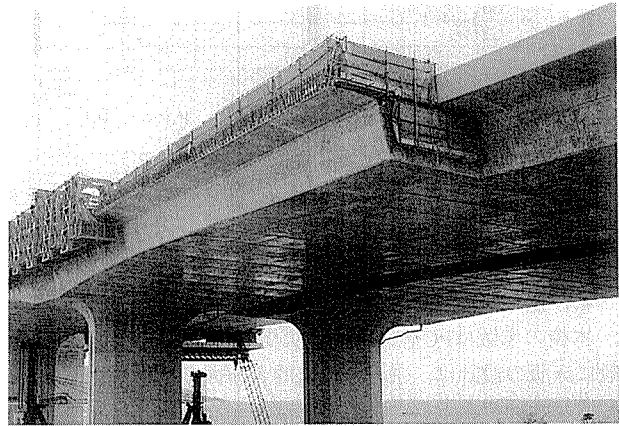


写真-3 断面急変部

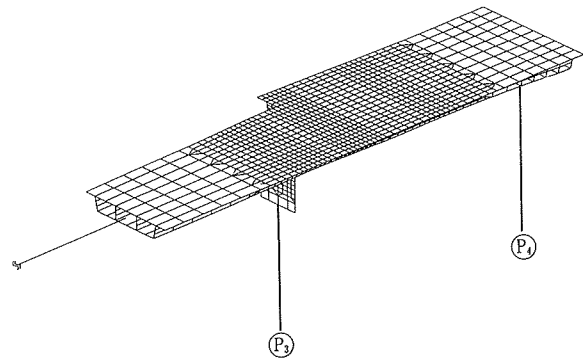


図-6 断面急変部FEMモデル

解析の結果、施工時荷重により既設部下床版に許容値を上回る橋軸方向引張応力が局部的に発生した。しかしながら、この部分には完成時の温度変化に対するプレストレスが導入されており、これによる応力と重ね合わせると問題にならない応力レベルとなり、特別な補強は必要がないことを確認した<sup>3)</sup>。

5. 施工概要

5.1 架橋条件

神戸市は海岸線沿いに市街地が発達し重要交通が集中している。本橋は海岸線から約500mの範囲に架橋されるが、この間に国道2号線、JR山陽本線（複々線）、山陽電鉄（複線）およびその他の一般道をまたいでいる。全8径間のうち施工時に交差のないのは3径間のみである。また、この区域は従来から舞子駅周辺の住宅地でもあり、公園緑地も点在している。

このような環境での、しかもほとんどが高所での施工となる上部工事に際しては、こうした重要交差物件の安全確保の第一条件である飛来落下物の完全な防止はもとより、近隣住宅地の生活環境保全としての作業騒音の低減、場所打ちコンクリート工事としては不可欠である施工用水や降雨後の水滴の飛散防止などについてもできる限りの注

意と努力を払う必要があった。

一方、構造的にも本橋は片持ち張出し施工によるコンクリート橋として特徴ある条件を有しており、全橋にわたる主桁幅員とウェブ配置の変化は、拡幅に対応した特殊な架設作業車を必要とした。さらに、断面急変部では架設作業車を利用した箱桁断面の分割施工を実施した。

### 5.2 柱頭部の施工

P<sub>4</sub>からP<sub>7</sub>までの橋脚の高い柱頭部の施工は定地式の支保工によって行った。一般的な橋脚に取り付けられたブラケットに依らなかった理由は、橋脚がスレンダーで寸法的に小さく断面形状が扁平な8角形のため、幅員の大きな主桁の支保工を上載させることが困難だったからである。

支保工構造は大型の支柱式である(写真-4)。支柱1本あたりの許容支持力は約60tfで、支柱間隔は1.2~3.3m、水平材間隔は1.8mを基本とした構成である。支柱式支保工の上部にはH形鋼を敷設し、これをステージとしてさらにパイ



写真-4 柱頭支保工

プ式支保工を組み主桁型枠の支持と外周足場とした。ステージには全面に足場板とビニールシートを敷き詰め、また全体に若干の勾配を設けることで、柱頭部施工時の水を支保工内側に流下させ周囲への飛散を防止した。なお、支保工の設置に先立って平板載荷試験を実施し、地盤の極限支持力が設計地盤反力の3倍以上であることを確認した。

コンクリート打設はポンプ車で行うがヤードの制約から1台使用が基本であった。また、地元との協議で定められた作業時間帯から実質的な打設時刻を9:00~16:00までと考え、日打設能力を200m<sup>3</sup>以下と判断した。これにより柱頭部は3分割施工としている。

### 5.3 片持ち張出し施工

#### (1) 拡幅用特殊架設作業車

P<sub>3</sub>から海側の5径間は、移動式架設作業車(以下ワーゲンという)による片持ち張出しで施工された。

本橋で使用したワーゲンは、主桁幅員の増減に対応できる横移動装置を備えたものである。図-7に4主ワーゲンの



写真-5 片持ち張出し施工

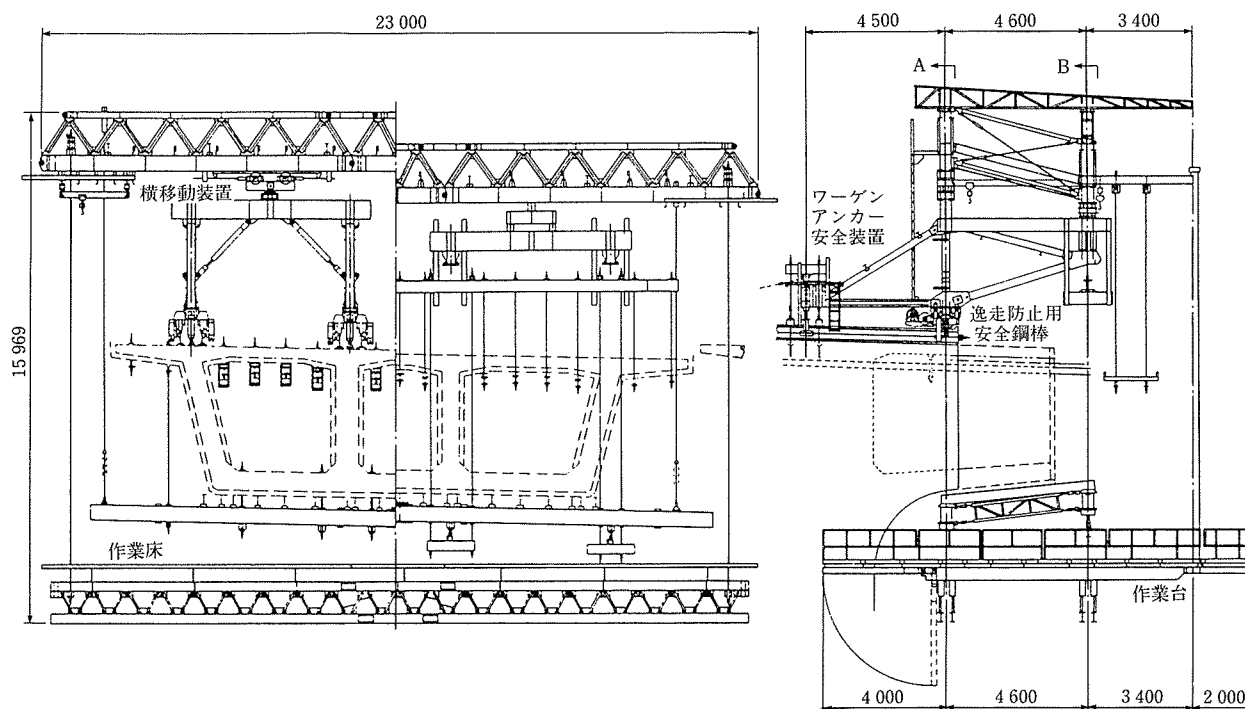


図-7 特殊架設作業車

構造を示す。ワーゲンの基本構造は、隣りあうトラス2本ずつを中間横梁で連結させ固定間隔を保った一組として、左右二組により構成されている。このような形態は移動時における構造全体の安定性に優れている。道路外側の一組の横梁には横移動機構がついており、上部のトラス横梁と相対的な変位が可能となっている。

この横移動の機能は、施工時のワーゲンの移動に合わせて自動的にトラスの間隔を変化させるもので、あらかじめ設定された拡幅量により、走行用と横移動用の両モーターを連動制御してある。本橋では最も幅員変化の大きなP<sub>3</sub>橋脚の張出し部分において、橋軸方向1mあたり約20cmの拡幅量に対応している。また拡幅率はいちようではないが、個所ごとに設定値を変更すればよく、一般のワーゲン移動と同様な手順で施工できる。

主桁形状が4室の箱桁の場合には、ワーゲン主体トラス数が5主となり、中央に1トラスが追加される。この中央トラスはワーゲンのセット時のみ設置するもので、移動時には上部トラス横梁から懸架された状態になる。

上記のようなワーゲン構造の採用に先立ち、詳細設計において主桁両外側ボックスのウェブ間隔を一定になるように変更している。

#### (2) ワーゲン組立

ワーゲン内部は型枠や足場などで非常に複雑な設備となる。上部横梁から吊られる作業床上でこれらの組立作業は、高所では極力さけるのが望ましい。そこで、あらかじめ橋下で床部分を地組し、底版型枠や外周足場などをできるだけ組込んだ状態にして、上部横梁から4台の油圧ジャッキと全ネジPC鋼棒により所定位置までリフトアップする一括吊り上げ方式を採った(写真-6)。



写真-6 作業床リフティング

油圧ジャッキ能力は50tf、ストロークは約50cm。PC鋼棒は弛み防止ビス付きのカップラーで連結されており、床の上昇にしたがって順次切り放した。型枠部材等も含めた床重量は60~80tfである。解体時も同様にリフトダウンし、地上にて作業床を撤去することを基本とした。

#### (3) ワーゲン床構造

ワーゲン作業床は鋼梁部材上に足場板を敷き詰め、防火のための厚さ0.3mm亜鉛引き鉄板と防水用シートで全面を覆った。防水シートは厚さ1mmの軟質塩化ビニル性で、継ぎ目は電気ゴテで約400度に加熱、溶着した(写真-7)。また中央部にはドレーンボックスと水中ポンプを用意しており、床上の集水と排水を行っている。ポンプにて排出された水は、既設主桁内の施工時仮排水装置により橋脚下の排水溝へと送られる。



写真-7 防水シート敷設

#### (4) ワーゲン安全防護設備

作業足場は落下物防護のために全側面を防音シートで覆い、かつアサガオを設置している。また床外周の手すりには落下物防止の合板を取り付けている。張出し架設鋼材はPC鋼棒であったが、防護シートからの突出しをさけるために、各施工ブロックごとに接続することとした。

そのほか、ワーゲンアンカーや移動時の逸走防止機構などについても、従来より安全性の高い構造が採用されている<sup>4)</sup>。

#### 5.4 断面急変部の施工

P<sub>3</sub>~P<sub>4</sub>径間では、P<sub>3</sub>側からの張出し架設の途中で主桁断面が3室から4室へと急変する。この部分はウェブ数の少ないP<sub>3</sub>側からのワーゲンでは、全断面を構築することができない。そこでP<sub>4</sub>側ワーゲンが3室部分を中央連結した後さらにP<sub>3</sub>方向へ乗り入れ、既設の3室(1次施工部)に1ウェブを増築(2次施工部)する方法で施工した(図-8、9)。この部分の床版横締にはPC鋼棒を用いて1次施工時に緊張定着後、2次施工部をカップラーにより接続している。また床版鉄筋には機械式継手を採用した。

#### 5.5 壁高欄の施工

高欄は場所打ちの厚さ30cmのRC壁式で、主桁完成後に施工される。配置鉄筋のうち主桁への差し筋については、高欄施工に着手するまでの暴露期間が長いので防錆対策と

してエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用している。

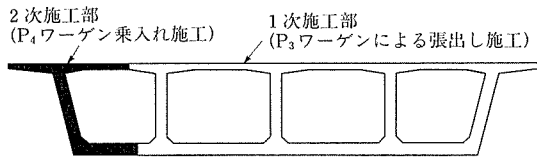


図-8 断面急変部施工区分

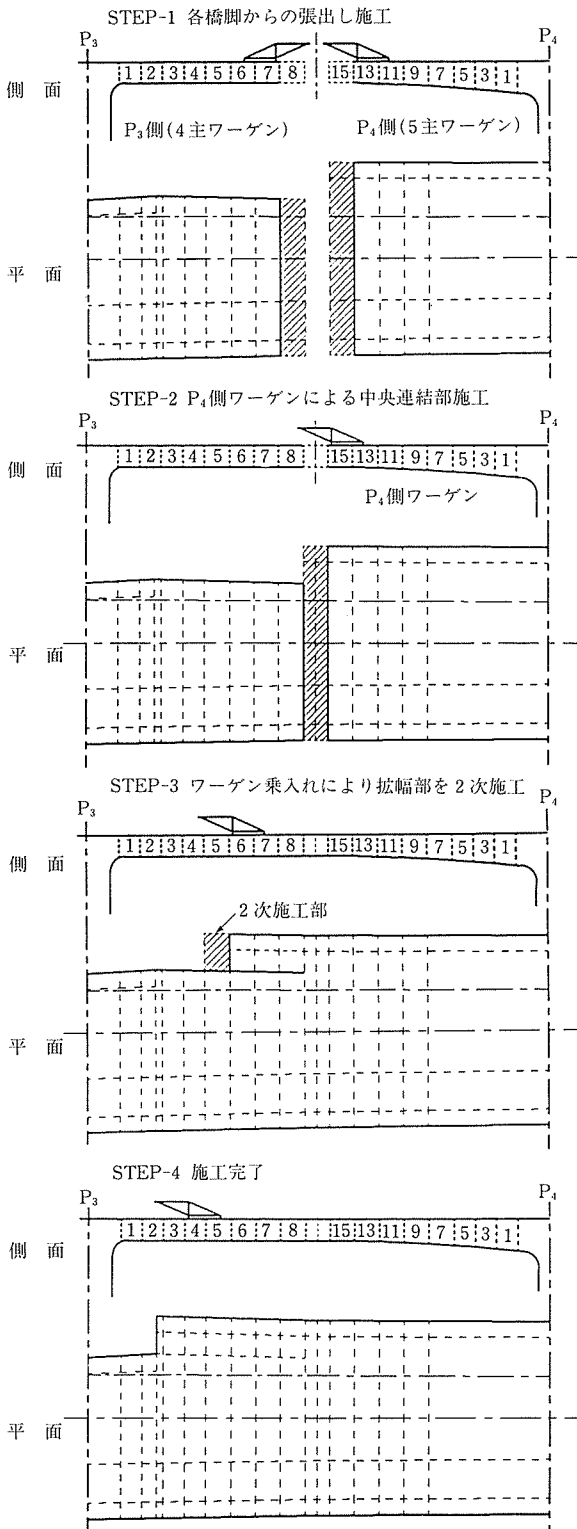


図-9 断面急変部施工要領

施工は主桁外側に取り付ける底型枠兼用の作業足場の組立て・解体と落下物防止のために、図-10に示すような移動式防護構を製作・使用した。防護構1台の長さは4.8mである。

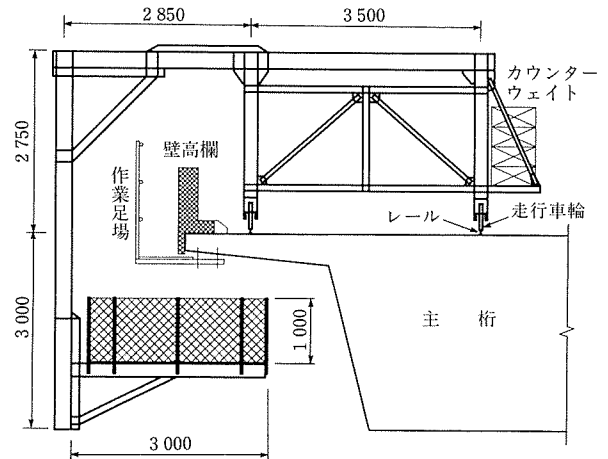


図-10 移動式防護構断面図



写真-8 壁高欄の施工 (JR上空)

一般的な壁高欄の施工では、こうした防護構1台が移動しながら張出し床版下面に作業足場を順次取り付けて行き、施工完了後には同様に解体していく。しかしながらP<sub>3</sub>からA<sub>2</sub>の張出し施工部では、防護構の移動ごとに後述のような交差条件への対応が必要であり、1台での施工では作業能率が著しく低下する。さらに安全面でも充実を図る目的で、1回の施工量である延長約50mの区間を、防護構10台を連結使用して全面的に覆うこととした(写真-8)。これにより交差条件に影響する防護構移動回数の減少を図った。作業床は

ワーゲン同様に防水構造とし、ポンプにより排水した。

### 5.6 重要交差物件への対応

国道および各鉄道線との交差への対応は、各々の管理者との個別の協議により決定された。当初は橋下に防護施設を設けることも検討されたが、スペースや他工事への影響などから実施は見送られ、架設機材と施工法の面から安全性を確保することとなった。

基本方針として、いずれの交差物件においても次の2点が共通している。① ワーゲンおよび移動式防護構により本体構造の防護を完全とすることで、これら架設機材内部での通常の施工は制約なしに実施可能である。② 交差上空での架設機材の移動あるいは改装時には、落下物影響範囲内に車両あるいは人の通行がないこと。

ここで②における改装とは、ワーゲンを利用した中央連結施工において、ワーゲン前方の作業足場を一部解体することを指す。

表-4に交差対象の概要を示す。

表-4 交差への対応

交差物件	適用作業	対応措置	備考
国道	ワーゲン移動 前方足場解体	場内に迂回路設置し、影響範囲を回避	施工個所に合わせて8ルート設定
	橋面工防護構移動	夜間通行止め	AM2:00~3:00 約15分間
鉄道	ワーゲン移動 前方足場解体 防護構移動	列車間合い作業 列車見張り員の配置	ピーク時を避け 10:00~16:00の間

#### 1) 国道への対応

交通量の多い2号線は夜間でなければ通行止めはできない。その一方、架設機材の移動には細かい手順が伴うため、夜間では本作業に支障がでる場合もある。そこで作業ヤード内に落下物影響範囲を避けた迂回路を設け、そこへ車両を誘導することで、ワーゲン移動に関しては日中に実施することにした(写真-9)。

また移動式防護構については、時期的に迂回路の確保が困難であり、協議の結果、国道上での移動回数を極力少なくするために全長を50mに連結して、深夜15分間の通行止めにて一気に進入、離脱させることとした。

#### 2) 鉄道への対応



写真-9 ワーゲン移動(国道2号上空)

鉄道交差上での移動・改装作業はすべて列車見張り員を配置し列車間合いにて行った。ただし、作業時間は旅客ピーク時を避け10:00~16:00とした。

## 6. おわりに

舞子高架橋上部工事は、施工開始後まもなく、第一回目コンクリート打設予定の当日に兵庫県南部地震に襲われ、混乱した状況の中でスタートした工事であったが、その後、神戸の街の復旧とともに工事も進捗し、平成9年9月に無事竣工を迎えることができた。

本年春の「神戸・鳴門ルート」の開通後には、多くの人々の利用に供するとともに、風光明媚な明石海峡の風景の一部として親しまれていることを期待する。

最後に、本報告が今後のPC橋工事の何らかの参考になれば幸いであり、また本橋の設計および施工にあたり多大なるご指導・ご協力をいただいた関係者各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 山田, 宮口, 小河: 舞子高架橋PC上部工の設計・施工, 本四技報, 1997.7
- 2) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編, 1994.2
- 3) 山田, 室田, 井俣, 山藤: 舞子高架橋上部工の設計と施工, 第6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, 1996.10
- 4) 山田, 則久: 舞子高架橋上部工の構造と施工, 土木施工, Vol.37, No7, 1996.7

【1998年2月16日受付】