

# 曲率の大きい鋼床版箱桁による二層立体ラーメン構造 の設計（S J 1 4 工区 B・D 連結路）

## Design of Double-Deck Space Rigid-Frame Structure having Steel Deck Box Girder with Large Curvature (SJ14 Section B-D Connecting Channel)

内田 智文\*<sup>1</sup> 君島 信夫\*<sup>2</sup> 儀保 陽子\*<sup>1</sup>  
Tomofumi UCHIDA Nobuo KIMIJIMA Yoko GIBO

### Summary

This bridge has a double-deck space rigid-frame structure with steel deck box girder. The characteristics of the bridge are: 1) linear conditions with considerably large curvature; 2) the entire structure is subject to large deformation due to sectional constraints on the piers in urban areas. In addition, there are a number of constraints on the field process with many adjoining works proceeding simultaneously. Accordingly, the adopted structure for design allows large curvature and deformation, and the improved process was implemented. The present paper reports the specific structures and methods adopted in the design for the main girder and piers as well as the implemented process improvement.

キーワード：二層立体ラーメン構造、鋼床版箱桁橋、曲線桁、アウトリガー、機能分離支承、鋼製橋脚隅角部

### 1. はじめに

S J 1 4 工区 B・D 連結路は、首都高速 3 号渋谷線と中央環状新宿線および中央環状品川線を接続する「大橋ジャンクション<sup>1)</sup>」(首都高速道路株式会社建設中)の一部であり、地下トンネル部から高低差約 70m を上がるループ状の RC 躯体と高速 3 号渋谷線の都心方向とを結ぶ上下ランプ橋である。大橋ジャンクション位置図を図-1 に、概要図を図-2 に示す。

本ランプ橋は鋼床版箱桁による二層立体ラーメン構造であり(図-3)、特徴として、①曲率が非常に大きな線形条件であること、②都市市街地における橋脚の断面制約から、全体として非常に変形量の大きい構造系である

ことが挙げられる。合わせて、同時期に施工される隣接工事が多く、現場工程の制約も厳しい条件であった。これより、本橋の設計にあたっては、大きな曲率や大きな変形量に適応する構造を採用し、また工程への改善策を実施している。本稿では、主桁の設計および橋脚の設計において採用した特殊な構造や対策を示し、また実施した工程改善策について報告する。

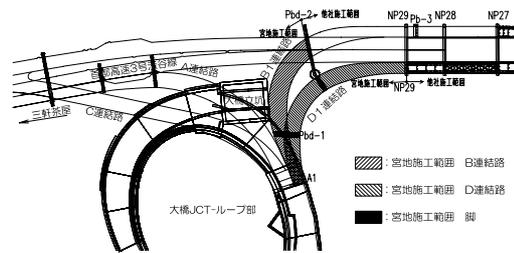


図-2 大橋ジャンクション概要図

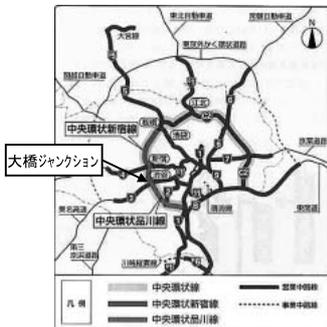


図-1 大橋ジャンクション位置図

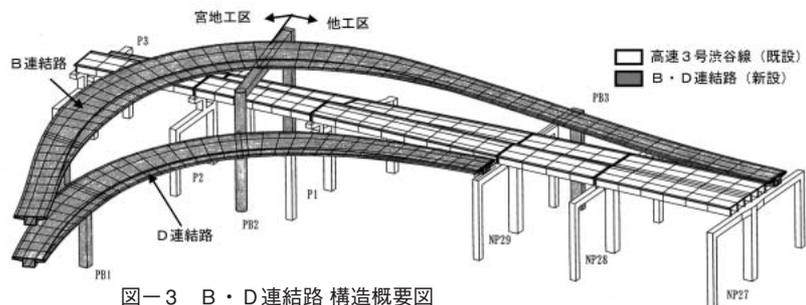


図-3 B・D連結路 構造概要図

\*1(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループ 副主任

\*2(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループ 係長

表一 設計条件

	B連結路	D連結路
道路規格	ランプ規格連結路(設計速度40km/h)	ランプ規格連結路(設計速度40km/h)
構造形式	4径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋	3径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋
橋長	226.464m	132.415m
支間長	34.1m+64.8m+72.0m+52.7m	32.8m+40.3m+57.4m
総幅員	7.20m~12.15m	7.20m~10.45m
曲率半径	R=43.0m	R=48.0m
鋼製橋脚	【Pbd-1橋脚】T+L型橋脚 【Pbd-2橋脚】門型橋脚 【Pb-3橋脚】逆L型橋脚	

## 2. 工事概要

発注者：首都高速道路株式会社

工事名：S J 1 4 工区 B・D 連結路(2) 上部・橋脚工事

路線名：首都高中央環状新宿線

工事箇所：目黒区大橋一丁目、二丁目

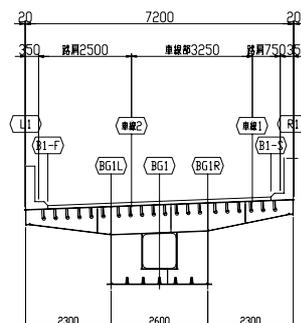
工事区間長：233m (B・D 連結路計)

工期：平成18年9月12日～平成22年1月23日

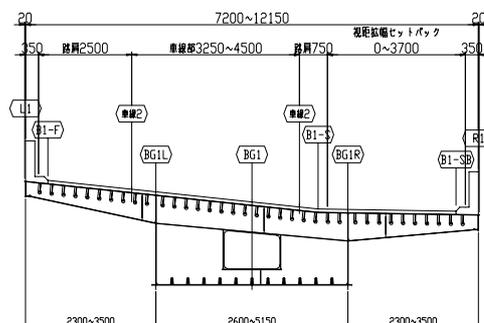
施工社名：株式会社宮地鐵工所

工事概要：4径間連続鋼床版箱桁のうち2径間1連、3径間連続鋼床版箱桁1連、T+L型鋼橋脚1基、アンカーフレーム1基の実設計、製作および架設、裏面吸音板の実設計、製作および設置

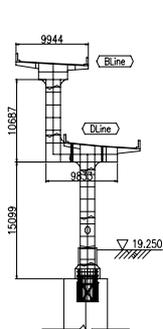
B 連結路 標準部  
(バルブリア使用区間)



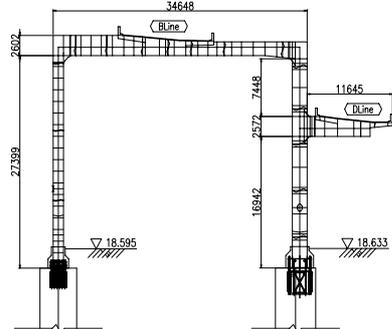
B 連結路 拡幅部  
(バルブリア使用区間)



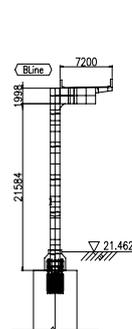
Pbd-1 橋脚 正面図



Pbd-2 橋脚 正面図



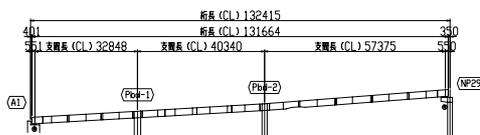
Pb-3 橋脚 正面図



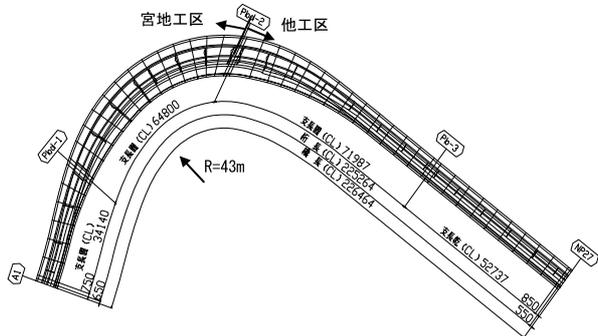
B 連結路 側面図



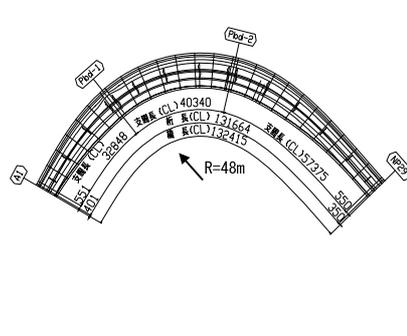
D 連結路 側面図



B 連結路 平面図



D 連結路 平面図



図一 構造一般図

### 3. 主桁（鋼床版箱桁）の設計

#### (1) 断面構成

本橋の設計では、主桁と橋脚を一体とした3次元立体全橋モデルによる構造解析を実施し、解析モデルには、主桁と橋脚の剛構造、フーチング、既設橋脚までを含めてモデル化を行っている。断面決定に際しては静的解析による断面決定の後、動的解析の応答値による断面照査を実施した。本橋の詳細設計における制約条件として、橋脚断面寸法には建築限界の制約があり、地震力を抑えるため、上部工の重量は最小限に留める必要があった。また、橋脚基礎およびアバットは先行施工済みであり、

構造の大幅な変更は不可能であった。

これより、本橋では支間長に対して上部工の鋼重を抑え、橋脚の制約条件に適應するため、以下の方針により断面構成を行った。

- ①ガイドライン型設計（1ブロック1断面）ではなく、板継ぎによる断面変化として、鋼重ミニマムを図る。
- ②SM570材を多く用い、主桁断面の板厚増加を抑える。
- ③橋脚の断面として決定する剛結部と主桁一般部の大きな板厚差に対してはクッション材を使用する。

図-5にB・D連結路の上部工断面構成図を示す。本橋の構造的特徴から、主桁断面においても、動的解析による決定ケースの断面が多くなった。

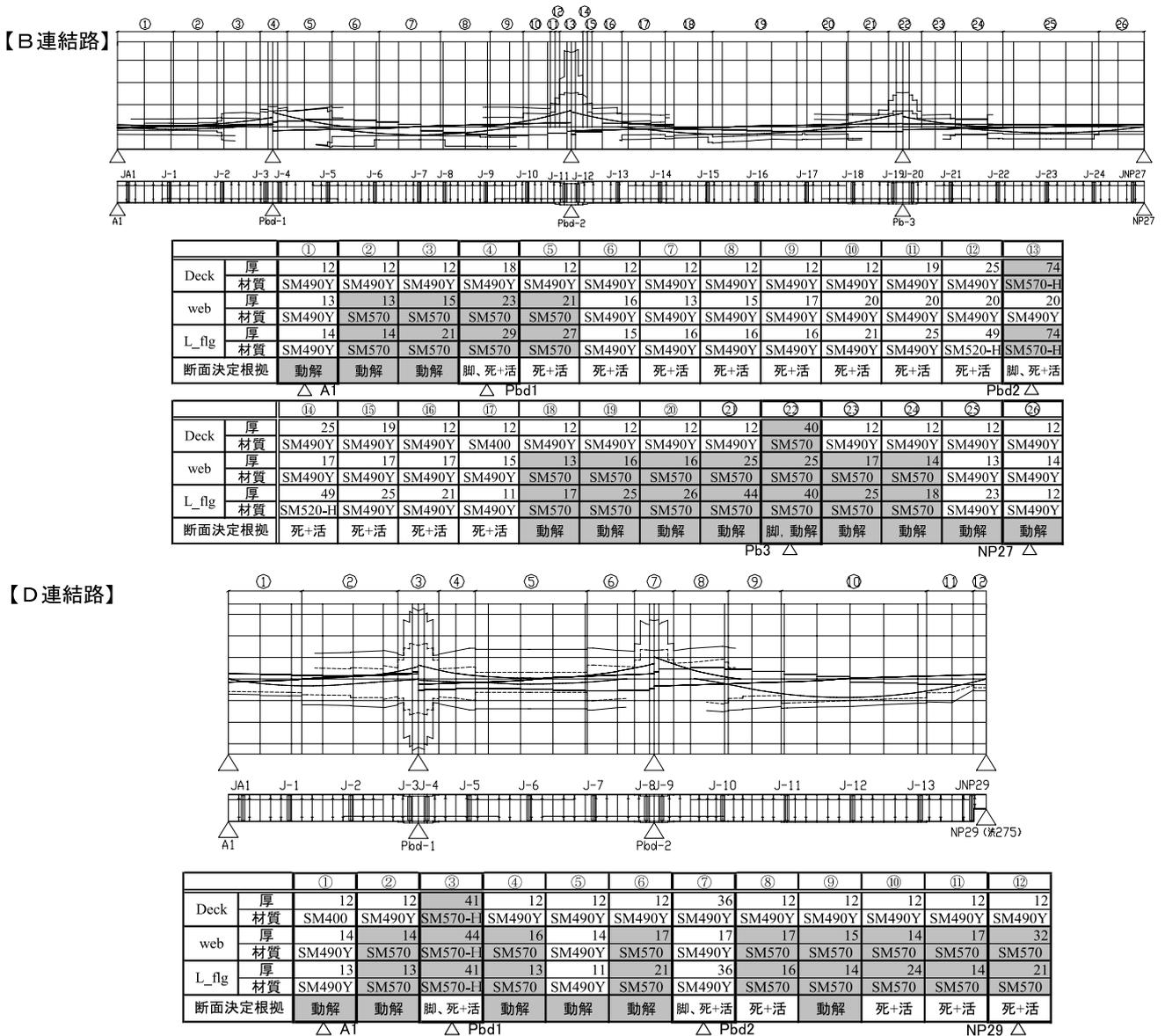


図-5 B・D連結路の上部工断面構成図

## (2) 曲率の大きい鋼床版の設計

### 1) 設計方針

鋼床版は輪荷重が直接作用し、疲労損傷が懸念される部位であり、本橋においても「鋼道路橋の疲労設計指針<sup>2)</sup>」の構造詳細に従った設計を実施するとともに、以下の対処により疲労に配慮した設計を実施した。

- ① 輪荷重走行下の縦リブは、Uリブを使用せずにバルブプレートリブを採用。
- ② 輪荷重直下を避ける主桁ウェブ、縦シーム、縦リブ（拡幅区間で生じる中断位置）配置。

### 2) 折れを有する鋼床版の製作

本橋のように曲率が大きい場合（最大：R=43m）の路面構成では、視距の拡幅が必要となる。横断勾配は曲率により変化し最大10%となるが、拡幅部は一定値の1.5%であり、この間に折れ線が存在する。そこで、鋼床版の製作にあたっては、曲線の折れ形状を再現する必要がある。

B連結路の製作においては、一般的に用いられる方法に倣い、曲線の折れ形状をブロック間で直線補間して折り曲げ加工する方法とした。

しかし、D連結路の製作においては、B連結路と同様に直線補間した場合には、300mm程度のライズによって縦リブや縦シームと折れ線が交差する箇所が多数発生し、縦リブや縦シームがねじれる等の製作的に困難な箇所が発生する（図-6）。そこで、折り曲げ加工でなく、工場での板継ぎ溶接で曲線の折れ形状を再現するものとして、交差部の製作困難な構造ディテールを回避した（図-7）。

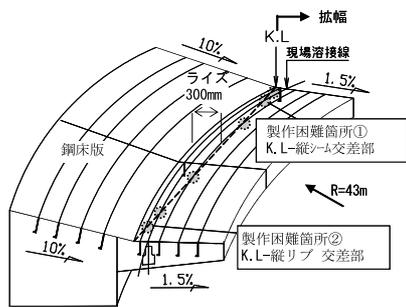


図-6 鋼床版の折れ形状の概念図

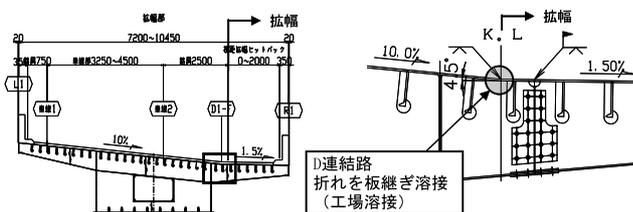


図-7 鋼床版の折れ詳細図

## (3) 端支点構造

### 1) 端支点部の設計条件

本橋の非常に大きな曲率と、変形の大きな構造系に起因して、端支点部は特殊な設計条件となった。端支点構造の支点条件としては、橋軸直角方向を固定、橋軸方向を可動の条件としている。端支点部の設計条件を表-2に示し、ここでの問題点を以下に示す。

- ① 端支点部には大きな負反力が発生し、常時（活荷重）の状態においても負反力が発生する。この常時の負反力は騒音・振動など問題があり、解消する必要がある。
- ② レベル2地震時に大きな橋軸方向移動量（最大686mm）が生じる。
- ③ レベル2地震時に大きな水平反力が発生する。さらに常時（活荷重）においても水平反力が発生することから、支承の接触面の破損が懸念される。

表-2 端支点部の設計条件

	B連結路・A1側		D連結路・A1側		D連結路・NP29側	
	D	630 kN	D	762 kN	D	1172 kN
鉛直反力 (+)	D+L MAX (衝撃あり)	1223 kN	D+L MAX (衝撃あり)	1426 kN	D+L MAX (衝撃あり)	1989 kN
	EQ L2 (0°)	1471 kN	EQ L2 (90°)	2459 kN	EQ L2 (90°)	2089 kN
	D+L MIN (衝撃あり)	5 kN (-74kN) <sup>*</sup>	D+L MIN (衝撃あり)	156 kN	D+L MIN (衝撃あり)	820 kN
	EQ L2 (135°)	-1298 kN	EQ L2 (90°)	-1955 kN	EQ L2 (90°)	-725 kN
水平反力	D+L+W MIN (衝撃あり)	1024 kN	D+W MIN	644 kN	D+W MAX	581 kN
	EQ L2 (0°)	2061 kN	EQ L2 (0°)	1709 kN	EQ L2 (90°)	1559 kN
移動量 (橋軸方向)	D+W MAX	103 mm	D+W MIN	59 mm	D+W MAX	69 mm
	EQ L2 (90°)	686 mm	EQ L2 (45°)	412 mm	EQ L2 (90°)	559 mm

※( )はカウンターウェイト載荷前

### 2) A1側の端支点構造

端支点構造は負反力を低減するため、アウトリガー構造を適用した。図-8にB連結路A1側の端支点構造を、図-9、写真-1にD連結路A1側の端支点構造を示す。アウトリガーの張出幅はアバットや隣接桁との空間的制約条件下で最大限に大きくした。アウトリガーは片側張

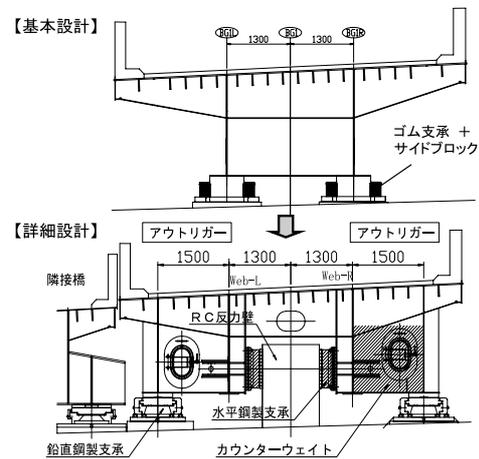


図-8 B連結路A1側の端支点構造

出しが一般的に有効だが、B連結路A1側では、死荷重の偏載効果より偶力による負反力の低減効果を期待して、両支点間隔を広げた両側張り出しを適用した。

アウトリガーにより常時の負反力が解消しきれないB連結路A1側の場合では、カウンターウェイトを必要量用いて対処する。このカウンターウェイトの材料は、一般的に用いられるコンクリートより比重が大きい鉄球を採用して、充填スペースを小さくしている。

支承構造は、橋軸直角方向の水平反力（約2000kN）作用下においてレベル2地震時の橋軸方向の大きな移動量（686mm）に追随する必要があり、鉛直支承は鋼製スライド沓（密閉ゴム支承板支承）を適用した。橋軸直角方向の水平反力に対しては、機能分離支承として、縦置きした鋼製スライド沓を水平支承に適用した。ここで、サイドブロックで拘束する支承構造では、常時移動が繰り返された場合に、接触面の破損が懸念される。一方で、縦置き鋼製スライド沓においては、支承のスライド面全体で水平力を受ける構造であり、この損傷の問題を回避し、橋軸方向のスムーズな移動を確保した。また、端支点部の主桁構造は、下フランジを大きく切欠き、縦置き水平支承の設置スペースを設けた。これをアバットと一体化したRC反力壁により、水平反力を受ける構造とした。

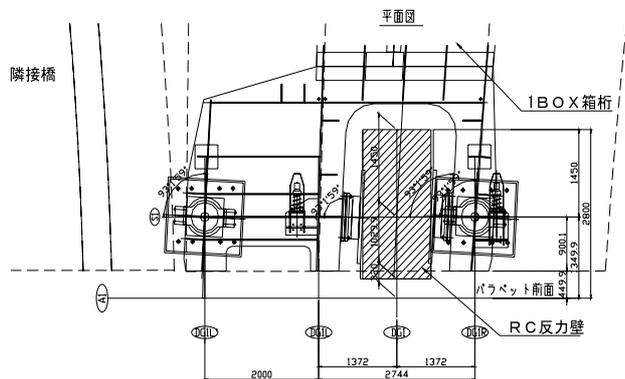
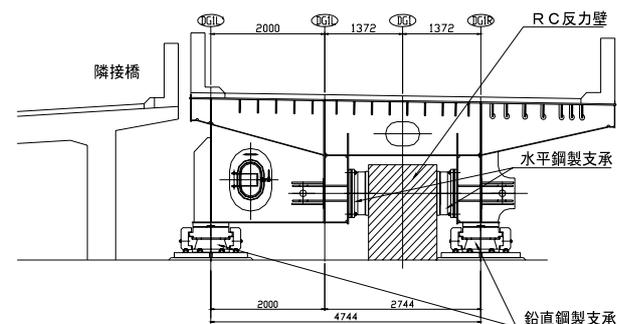


図-9 D連結路A1側の端支点構造

本構造を適用するにあたっては、以下に示す各種の検討・配慮を行っている。

- ①水平反力に対する局部座屈の照査を実施した。
- ②水平反力に対して、桁端構造が門型フレームとして抵抗し、荷重伝達するための必要剛性の照査を実施した。
- ③アウトリガー部材、桁端付属物（落橋防止構造、鉛直支承、水平支承）の補強部材を兼用させ、溶接などの施工スペースを確保した。
- ④RC反力壁のコンクリートは桁架設後の施工とし、コンクリート打ち込み用の施工孔を設けた。
- ⑤施工に際しては、水平支承の下沓とすべり面を桁とRC壁の各々に取り付け、RC壁側のすべり面はセットバック可能な治具により固定する計画した。

この縦置きの鋼製スライド沓を適用した場合、曲線橋に必要な橋軸直角方向の1.5Rd相当の変位制限装置を兼用でき、曲率による必要けたかかり長を低減できる等、落橋防止システムとしての優位性も含まれる。



写真-1 D連結路A1側の端支点構造

### 3) NP29側の端支点構造

NP29支点は、既設橋脚から新設の沓座ブラケットを増設した端支点構造である（図-10）。端支点構造を図-11と写真-2に示し、その特徴を以下に示す。

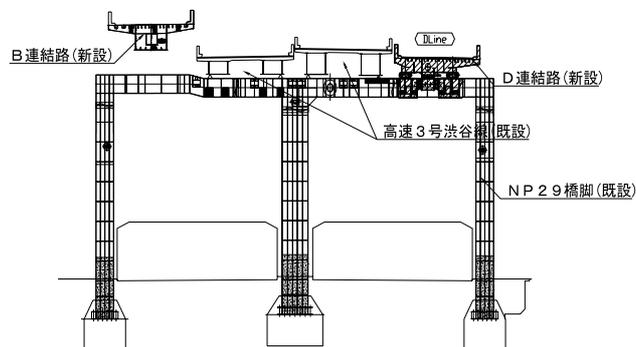


図-10 NP29既設橋脚の構造一般図

- ① NP29側の桁端は、掛け違い部における切り欠き構造を有し、切欠き部にフィレットを適用した。
- ② 割込みフランジは、フランジ力を伝達させるため横リブ部まで伸ばし、落橋防止ブラケット部材と兼用させた。
- ③ 桁端構造はA1側と同様に、アウトリガー構造および水平支承に鋼製スライド沓を用いた機能分離支承を適用した。
- ④ 桁端の下フランジから下側に突き出したブラケットに桁側の水平支承を設置した。また、ブラケットには製作製・輸送性・現場架設に配慮して継手部を設けた。

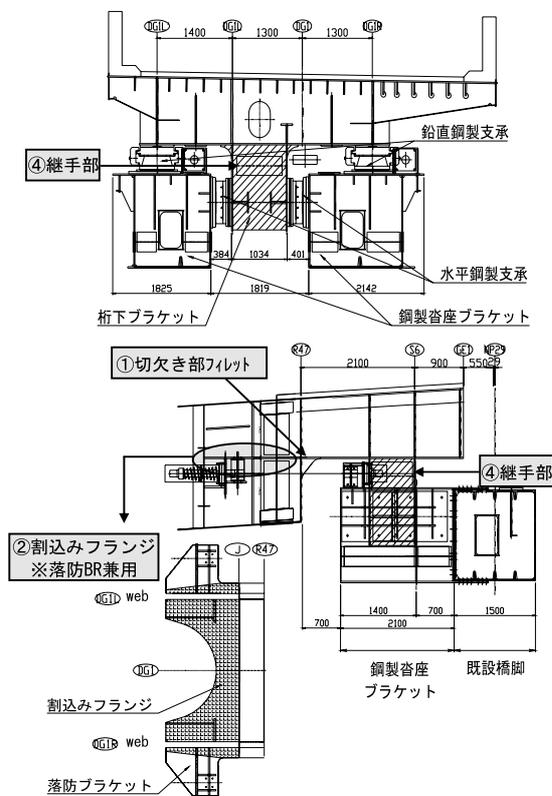


図-11 D連結路NP29側の端支点構造



写真-2 D連結路NP29側の端支点構造

#### (4) 既設橋脚との干渉回避

本橋の主桁高は、支間長比および建築限界などを考慮して、主桁中心で一定値2mとし、下フランジの横断方向勾配はレベルとしている。しかし、D連結路が既設P1橋脚と近接する一部区間においては、干渉を避けるため以下の設計を実施した。

- ① 当該区間で下フランジ勾配をレベルから路面勾配 ( $i=8.9\%$ ) に変化させ、桁下に必要なクリアランス量を確保した (図-12)。
- ② 脚とのクリアランス量は、レベル2地震時の移動量以上で、かつ活荷重移動量+組立精度以上を満足する照査を行った。
- ③ 主桁断面変化の漸近区間として、ウェブ高さの勾配 1:5 を確保した (写真-3)。
- ④ 下フランジの折れ位置の断面には補強材を追加した。

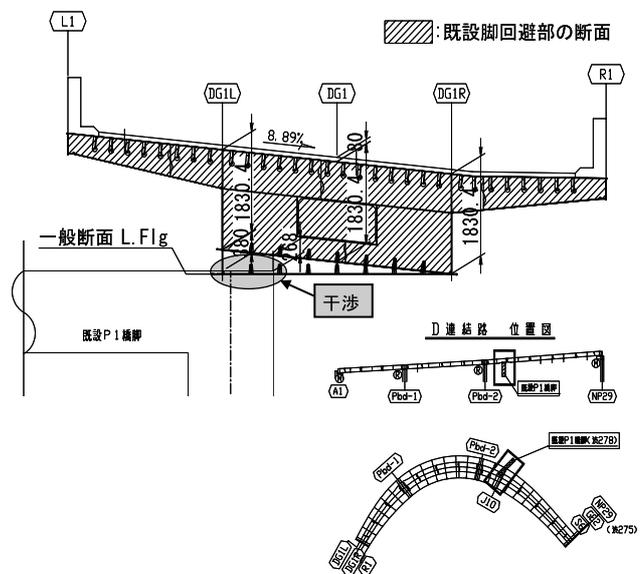


図-12 既設橋脚回避部の主桁断面



写真-3 既設橋脚回避部の主桁断面

## 4. 鋼製橋脚の設計・製作

### (1) 設計・製作の基本方針

Pbd-1 橋脚は B 連結路、D 連結路の上部構造との剛結構造を含む T+L 型の鋼製橋脚であり、3 箇所の隅角ブロックを含んだ構造である (表-3)。隅角部の疲労耐久性を確保するためには、溶接品質を確保することが重要であり、以下に示す基本方針の下で製作を実施した。

- ①隅角部製作要領書を作成した。
- ②工場溶接の専任技術者を配置し、溶接に関する品質管理、技術指導を実施した。
- ③3 線交差部および十字継手部を特別管理部位として定義し、品質記録および写真による開先・組立・溶接のプロセス管理を実施した。
- ④隅角部の主部材の溶接継手は全て完全溶け込み溶接とし、全線について超音波探傷試験を実施した。
- ⑤開先形状図、仕上げ要領図を作成した。

隅角ブロックの使用鋼材は、道路橋示方書の鋼材の PCM 値を参考に、板厚 40mm 以上 (SM490Y 以上) は予熱低減鋼を使用し、狭隘部の溶接作業環境を改善を図る。また隅角部の十字継手部にはラメラテアの発生防止を目的とした耐ラメラテア鋼材 (Z35S) を使用した。

### (2) 隅角部の品質向上対策

#### 1) 剛構造との近接

Pbd-1 橋脚においては、隅角部と剛構造が近接する部位が存在したが、当該部は隅角部の 3 線交差部であり、確実な溶接施工が必要である。そこで、主桁ウェブ位置を拡幅し、柱フランジ位置に一致させ、部材を兼用させることで、狭隘箇所をなくし、製作性の改善を図った (図-13)。

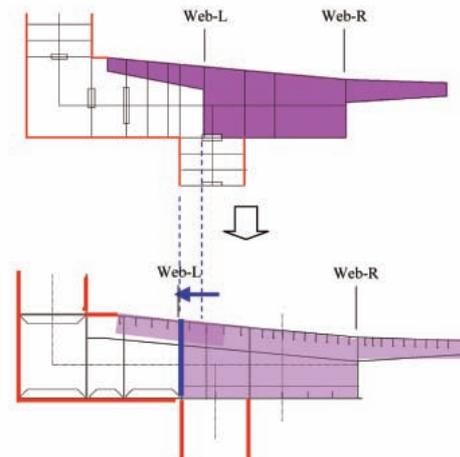


図-13 隅角ブロック③の構造改善策

表-3 Pbd-1 橋脚の概要

隅角ブロック①	隅角ブロック②	配置図	
【板厚】柱web:34mm, 柱flg:34mm 【材質】SM570 【決定根拠】静的解析 (D+L+SD)	【板厚】柱web:41mm, 柱flg:41mm 【材質】SM570-H 【決定根拠】静的解析 (D+L+SD)		
隅角ブロック③	上柱	下柱	
【板厚】柱web:41mm, 柱flg:44mm 【材質】SM570-H 【決定根拠】静的解析 (D+L+SD)	【板厚】web,flg:32mm 【材質】SM570 【決定根拠】静的解析 (D+EQ)	【板厚】web,flg:34mm 【材質】SM490Y 【決定根拠】静的解析 (D+L+SD)	

## 2) フィレット部の仕上げ

橋脚隅角部には、横梁ウェブ高さによって決まる隅角フィレットを設け、フィレット先端から200mmの範囲について仕上げを行う(図-14)。本橋脚では、フィレット先端部と現場溶接ジョイント位置に設けるエレクションピースが近接する部位が存在したため(図-15)、以下の配慮により、フィレット先端のなめらかな形状、ビード仕上げの品質向上を図った。

- ①エレクションピースは本体部材と一体で切断する。
- ②隅角ブロックを工場製作後に、エレクションピースを残した概略形状に切断する。
- ③J4,J6現場溶接完了後にエレクションピースを撤去し、フィレットを最終形状として仕上げる。

## 3) 横梁の現場溶接部のスカラップ

本橋脚では、横梁に主桁が剛結する構造であり、横梁上フランジと主桁上フランジ(鋼床版)を兼用する部材が存在する。この上フランジの溶接の連続性を確保するために、現場溶接部では、横梁ウェブにスカラップを設けている。

図-16に現場継手部のスカラップ構造と溶接手順図

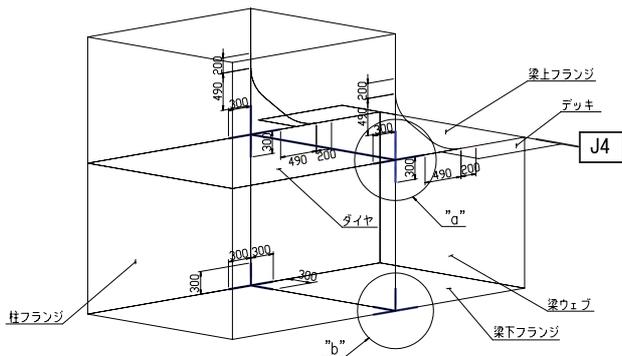


図-14 隅角部の仕上げ範囲図

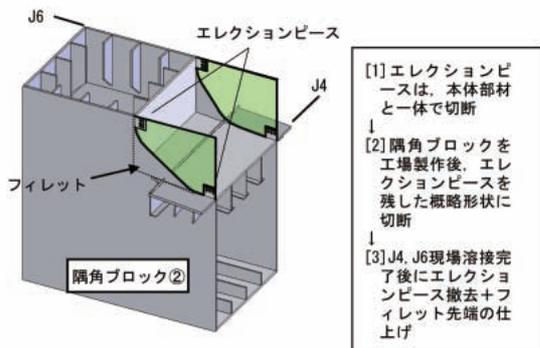


図-15 フィレット部の製作方法

を示す。各々のジョイントごとの溶接手順を整理し、現場溶接の品質向上を図っている。

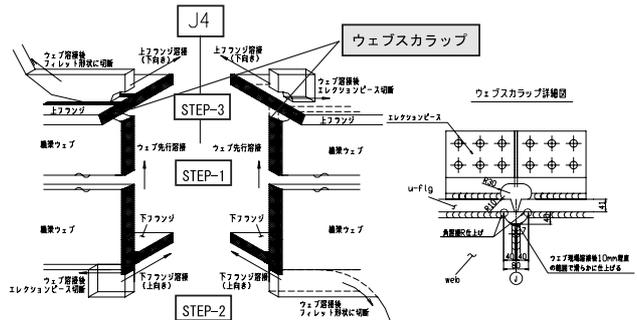


図-16 現場継手部のスカラップ構造と溶接手順図

## (3) 直接定着方式アンカーの設計

Pbd-1 橋脚のアンカーは基本設計では支圧板方式としていたが、隣接建築物により設計上必要なフーチング寸法を確保できなかったため、詳細設計において直接定着方式に構造変更する必要があった(図-17)。

また、本橋は二層立体ラーメン構造であるため、上下部一体の構造解析において下記事項を考慮し、脚アンカーの詳細設計を行った。

- ①基本設計では、既設脚をモデル化せず支点扱いとしていたが、本構造は地震時の挙動が複雑で変形の大きい構造のため、既設脚をモデル化した。
- ②地震時の応答卓越方向が限定困難なことから、動的解析を実施した。その際、8方向45°ピッチに地震波を入力し、最大・最小値を抽出した。
- ③地震時水平力に対して、上部工重量の影響が大きいことから、橋面工(覆蓋・遮音壁)荷重を詳細に見直した。

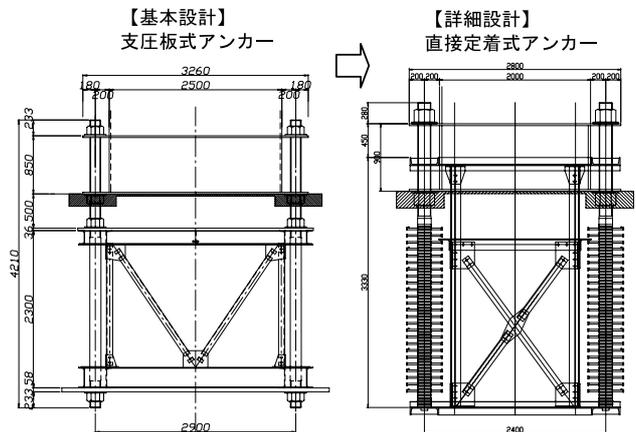


図-17 Pbd-1 橋脚アンカー

## 5. 架設検討

本橋では、架設条件から Pbd-2 橋脚および Pb-3 橋脚において、架設中の支口調整が難しい場合に適用する「ヒンジ連結」として設計・製作を行っている。(図-18)。

B 連結路 Pbd-1 ~ Pbd-2 径間の架設計画を図-19 に示す。J7 ~ Pbd-2 間は高速渋谷 3 号線を跨ぐ位置条件から、大ブロック架設工法を適用している。また、架設順序から J6 ~ J7 間が閉合ブロックとなるが、本橋の曲率や構造系に起因して、閉合時には J7 の仕口相対差が懸念される。しかし、事前の施工ステップ解析による検討で、架設時の調整作業で閉合可能であると判断し、当該ジョイント部は「モーメント連結」として設計した。

## 6. 付属物

### (1) 裏面吸音板・覆蓋・遮音壁

本橋は都市市街地の条件から、騒音・環境・景観に配慮して、裏面吸音板・覆蓋・遮音壁の設置している(図-20)。

- ①裏面吸音板：街路交通からの反射音による騒音および景観に配慮して設置
- ②覆蓋：ループ部からの一定範囲について覆蓋構造を設置し、ループ部と一体として排気および景観に配慮する。

### (2) 壁高欄の両面鋼製型枠の採用

本工事では、工程の制約から橋面工の工期短縮が課題となり、壁高欄には両面鋼製型枠を採用している(図-21)。覆蓋・遮音壁の構造として 2m 間隔で支柱が配置されるが、両面鋼製型枠を採用したことで、壁高欄コンクリート打設前に先行して覆蓋の支柱建て込みが可能となる。

工場で鋼版上にピースを取り付け、現場では型枠パネルをボルト取付する構造であり、橋面上からの施工性に配慮した構造としている。

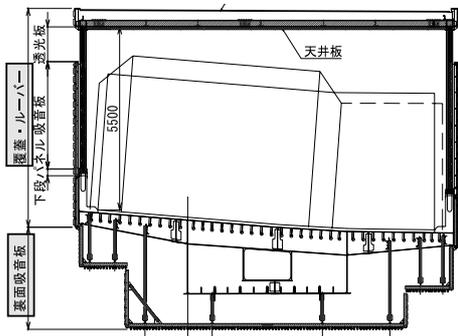


図-20 裏面吸音板・覆蓋・遮音壁

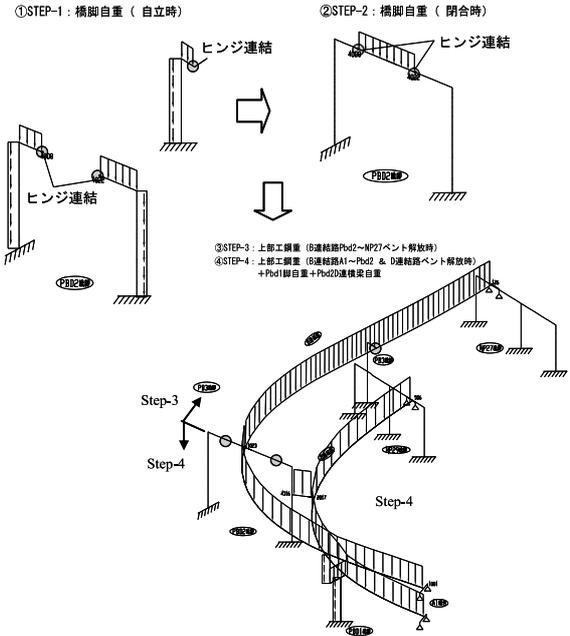


図-18 架設ステップ図

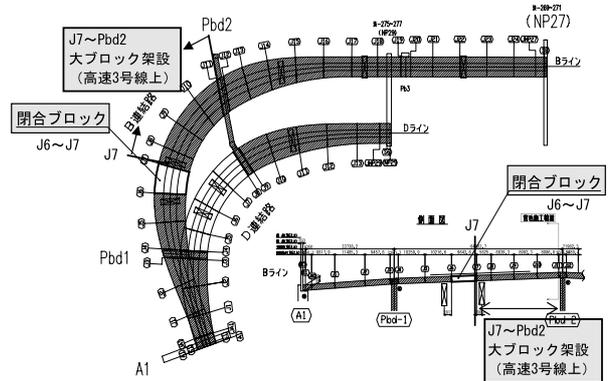


図-19 B 連結路 Pbd-1 ~ Pbd-2 の架設計画

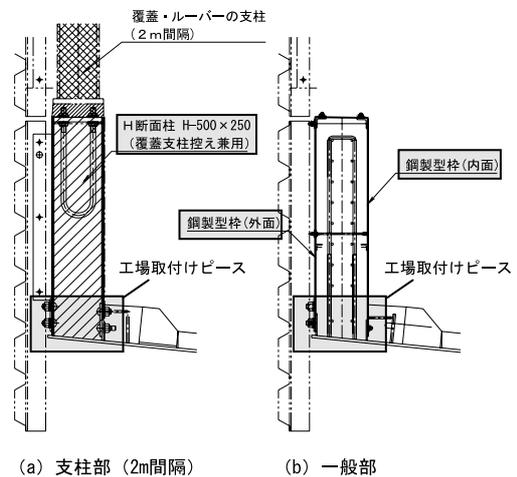


図-21 両面鋼製型枠の壁高欄



写真-4 B・D連結路主桁の全景 (R=43m・48m)



写真-5 Pbd-1 橋脚の全景

## 7. おわりに

本工事は現在、設計および製作を完了し、主桁の工場仮組みを実施中である。今後は現場架設に移るが、本橋の諸条件から、難易度の高い架設工事であると考えられる。これより設計・製作・架設の各部門で連携を図り、無事の工事竣工に向けて努力していく所存である。

最後に本橋の設計を実施するにあたっては、首都高速設計第一グループ各位を筆頭に、隣接工区の設計担当者各位よりご指導頂いたことに対して、ここに感謝の意を示させていただきます。

## <参考文献>

- 1) 首都高・大橋ジャンクション, 日経コンストラクション, 第439号, pp.16～17, 2008.1
- 2) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 平成14年3月
- 3) 首都高速道路公団: 橋梁構造物設計要領, 平成15年5月

2009.2.13 受付

## グラビア写真説明

### 伏木万葉大橋

富山・伏木港は日本海沿岸のほぼ中央にあり、沿岸交易の要港として栄えてきました。

本橋梁は、伏木～吉久地内を結ぶ臨港道路伏木外港1号線として発注され“伏木万葉大橋”となります。高欄は波が表現され、照明は防護柵と一体感のある形状で、万葉の優雅な世界を表現しています。

近くには源義経で有名な“如意の渡し”浄土真宗の名刹“勝興寺”があります。

(永田 公一)

### 高速2号線 鋼上下部工事 (国道2号交差部工区)

広島高速2号線は既に供用中の広島高速1号線と3号線を結ぶ延長5.9kmで平成21年度末供用開始の予定です。

高速2号線 鋼上下部工事 (国道2号交差部工区) は非常に交通量の多い国道2号を跨ぐ高架橋で三菱・宮地・大島建設工事共同企業体で施工しております。

架設は国道2号を跨ぐ3径間を送出し工法、2径間をトラッククレーンベント工法を採用。国道2号を夜間交通止めして架設するため、技術提案により1回の送出しは最大115mと大きくして交通止めの回数を減らした。架設は計画どおり完了し、現在橋面工を施工中です。

(国実 昭義)