

くじら橋の設計と施工

田辺 卓*1・吉田 優司*2・秋山 博*3・荘司 和彦*4・今牧 修二*5

1. はじめに

くじら橋は、住宅・都市整備公団が開発中の多摩ニュータウン東部に位置する稲城地区の稲城中央公園と第二公園とを結ぶ歩道橋である(写真-1)。

本橋は、平成5年に開かれた設計コンペ(今野博委員長、田島二郎副委員長)の中で、第一席となった作品(日本交通技術(株))である。その景観は、優美な3次元曲面を描きながら両公園を結び、A1橋台背部の擁壁を含めて橋面の両端部に植栽を施し、構造物であることを感じさせない「緑の環」の一部として、周辺環境と調和したものとなっている。

構造形式は、両端固定式のPC門形ラーメン橋であり、支間長100.5mは、本形式としてはこれまでにない大規模なものである。本橋は、ヒンジを持たない門形ラーメンという構造的な性格から拘束度が強く、橋軸方向プレストレスや温度変化に対する不静定力が極めて大きく、特に支点部で大きな断面力が作用するという特徴を持つ。このため、フーチングを支間中央側に寄せた他、橋脚からフーチングにかけて鉛直締めケーブルを配置したPC橋脚を採用している。

主桁断面は、舟底形をした4室箱桁形式であり、桁高は5.960~2.000mに、幅員は、24.386~16.800mへと変化している。

施工は、全区間を固定式支保工により行った。

本橋の設計では、その特異な形状から主桁の曲げ、せん断および主桁・橋脚・フーチング剛結部の応力照査について有限要素解析を用いて照査した。施工では、流動化コンクリートの採用、型枠の計画と施工、大規模支保工、および修景工などに特徴を有する。

2. 橋梁諸元

橋種：プレストレストコンクリート歩道橋
 構造形式：PC門形ラーメン橋
 橋長：107.0m(擁壁28.3m, 翼壁7.4m, 7.9m)
 支間長：100.5m
 幅員：全幅員 22.053~16.800~24.386m
 有効幅員 14.113~8.860~16.446m
 斜角：90°
 平面線形：R=∞

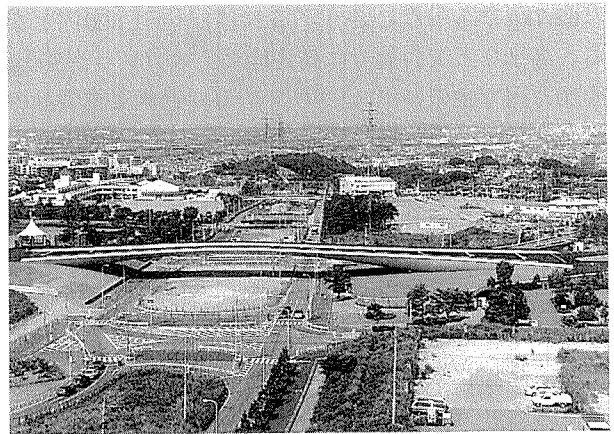


写真-1 くじら橋

縦断勾配：↗4.00% ↘4.00%, R=273.86m, V.C.L=21.891m

横断勾配：↗1.50% ↘1.50%

3. 設計

3.1 設計概要

設計は、梁理論により解析して、杭およびフーチングをRC部材として、主桁および橋脚はPC部材として設計を行った。本橋は、主桁断面形状および橋台部の形状に起因する構造特性から既往の設計理論による手法の妥当性を確認する必要があったため、以下の項目について3次元有限要素解析などを用いて検討を行った。

- 1) 曲げに対する全断面有効の仮定の確認
- 2) ベルヌーイ・オイラーの仮定の確認
- 3) 面内せん断応力度分布
- 4) せん断に対する有効高の検討
- 5) せん断に対する有効部材厚
- 6) 橋台部の応力解析

3.2 曲げに対する検討

本橋は、主桁断面が曲面で構成されており、床版支間も最大で7m以上と大きくなる。このため、荷重に対する縁応力度の不均等な分布が懸念されたこと、維ひずみの直線分布の仮定の確認などのため、3次元有限要素解析を行い、これらを照査した。解析モデルは1/4橋モデルとし、薄肉シェル要素を用いた(図-2)。

図-3は支間中央での曲げ応力度分布を示しており(自

*1 Takashi TANABE: 住宅・都市整備公団 東京支社 多摩ニュータウン事業本部 工事部工事第二課 係長

*2 Yuji YOSHIDA: 住宅・都市整備公団 東京支社 多摩ニュータウン事業本部 工事部工事第二課

*3 Hiroshi AKIYAMA: (株)銭高組 土木本部 生産システム部技術課

*4 Kazuhiko SHOJI: (株)銭高組 土木本部 生産システム部技術課

*5 Shuji IMAMAKI: 銭高・地崎建設共同企業体

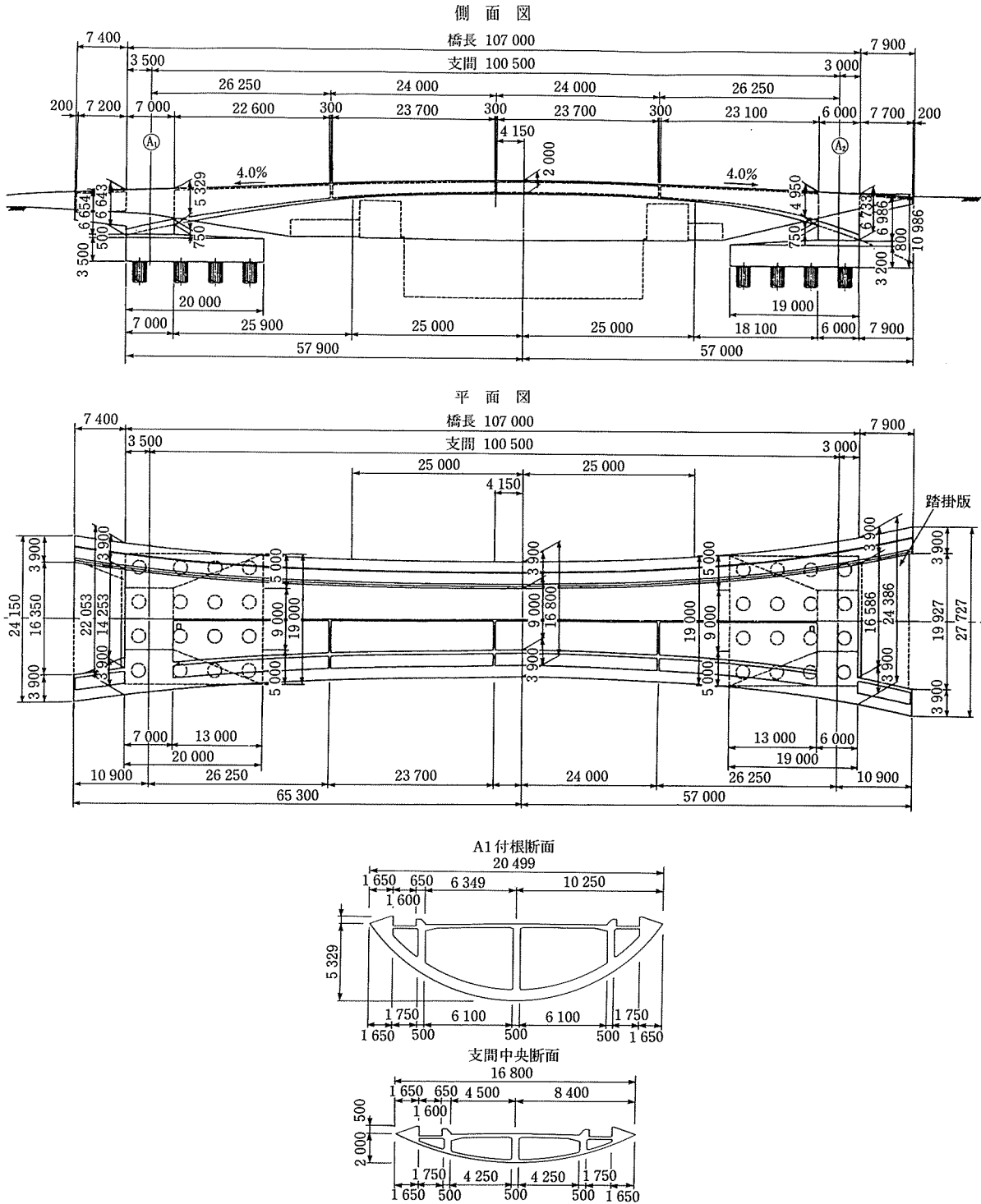


図-1 構造一般図

表-1 数量総括表

種別	仕様	上部工	下部工
コンクリート	$\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$	2 800m ³	-
	$\sigma_{ck} = 27\text{N/mm}^2$	-	2 700m ³
	$\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$	-	2 300m ³
PC鋼材	12T15.2	87t	-
	12V12.7	-	14t
鉄筋	SD295A	250t	260t
	SD345	-	250t

重+橋面+活荷重), 曲げ応力度が直線分布することが分かる。また, 各ウェブでもねじりむきがそれぞれ同一レベルとなる結果を得た。以上から, ベルヌーイ・オイラーの仮定が成立することが分かった。

また, 図-4は支間中央断面における床版の曲げ応力度分布を示したものであるが, どの部位においてもほぼ一様な応力レベルにあることから, 全断面有効の仮定が成り立

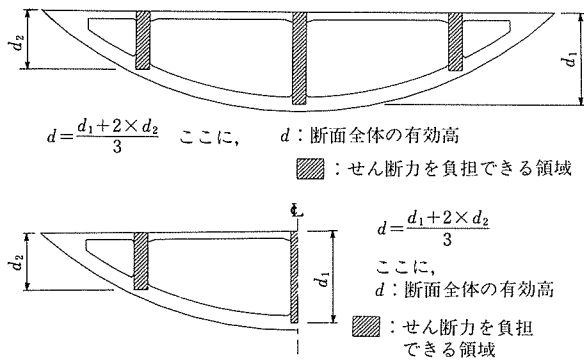


図-6 せん断抵抗部材と有効高

あり、鉛直締めPCケーブルが橋脚頂部からフーチング内部まで密に配置されている。これに伴う橋脚部のせん断変形の影響や導入プレストレスの効果を調べる必要がある。さらに、鉛直締めケーブルの下端が引張縁側に埋込み定着されており、周辺の局所的な引張応力が懸念されたため、これらを3次元有限要素解析を用いて安全性の照査を行った(図-8)。

その結果、橋台内部の応力分布に非線形性は見られるものの、梁理論による計算結果が十分に安全な設計値を与えることが確認された。

また、PCケーブル埋込み定着部の局部応力に対しては、下端定着部は杭からの反力を受けて圧縮領域にあるため十分な安全性を有することが確認された。

4. 施 工

4.1 施工試験

本橋は、主桁断面が曲面で構成されており、PC鋼材および鉄筋の密集配置のため、コンクリートの締固めなど施工性は極めて悪いものとなっている。そこで、本体工に先立ちコンクリートの仕上がりりと流動化コンクリートの施工

性確認のため、実物大(5.0×2.2×2.7m)の施工試験を行った(図-10)。

コンクリート打設は、打継ぎ目地の仕上がり状態を確認するため2回に分割して行った。また、その際に流動化コンクリートのスランプを第1回打設時には12cm、第2回打設時には15cmとした。これは、スランプを15cmとすることの妥当性を確認するためである。

試験後、第1回目の打設箇所中には、やや締固め不足の箇所が見受けられたものの、第2回目の打設箇所には施工不良箇所は認められなかった。よって、スランプ値は15cmとした。

4.2 流動化コンクリート

前述のとおり、本橋は曲面構造であるため、コンクリートの施工が通常のスランプ値8cmの普通コンクリートを用いた場合には、施工が極めて困難であることが予想された。そこで、流動化コンクリートや高流動コンクリートの検討を行った。高流動コンクリートを採用した場合には、型枠に作用する側圧が大きくなること、本橋では曲面型枠を用いること、ならびに意匠上の理由で型枠一枚あたりのセパレーターが最大6箇所制限されることなどから適当でないため、流動化コンクリートを採用することとした。

スランプ値は、スランプ8cmのベースコンクリートに流動化剤を現場添加し、15cmまでスランプを増大させることとした。スランプ値の妥当性については、先に述べたように施工試験により確認した。また、コンクリートが締固めにくい主桁形状であることや、夏期にコンクリート打設が予定されていたことなどから、良好な施工性と仕上がりを期してスランプ試験は、25m³に1回の頻度で行った。

本体工事においても、締固め不足などもなく、極めて良好な状態に仕上げることができた。

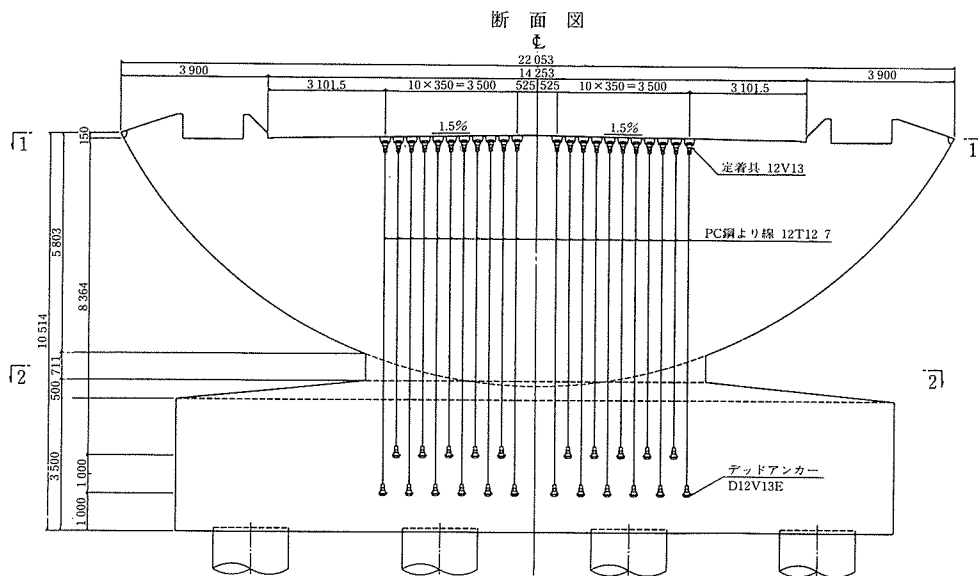


図-7 鉛直ケーブル配置図

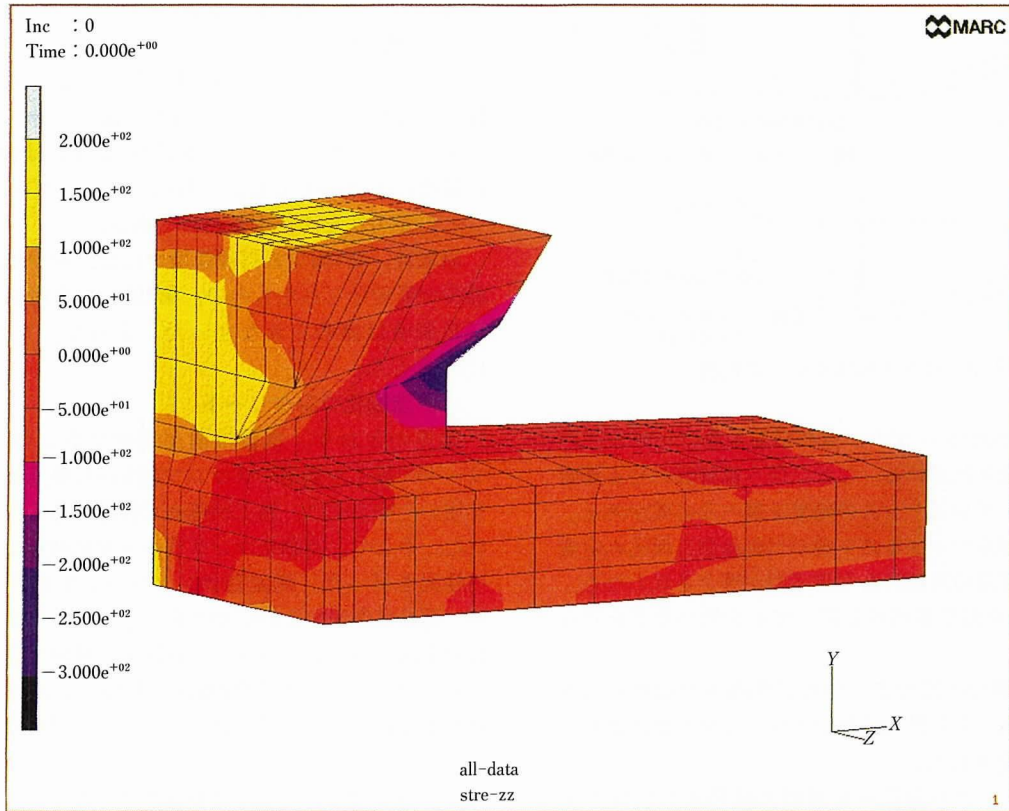


図-8 橋台部有限要素解析モデル図

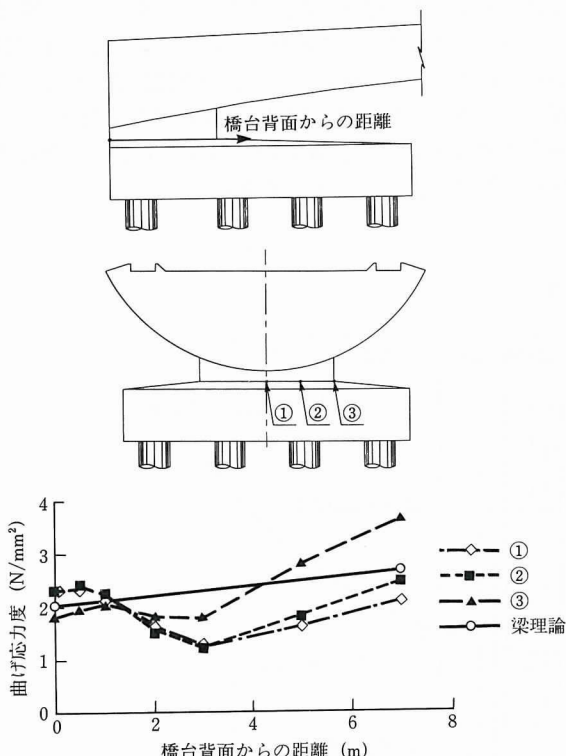


図-9 橋台部曲げ応力度分布図(死荷重時)

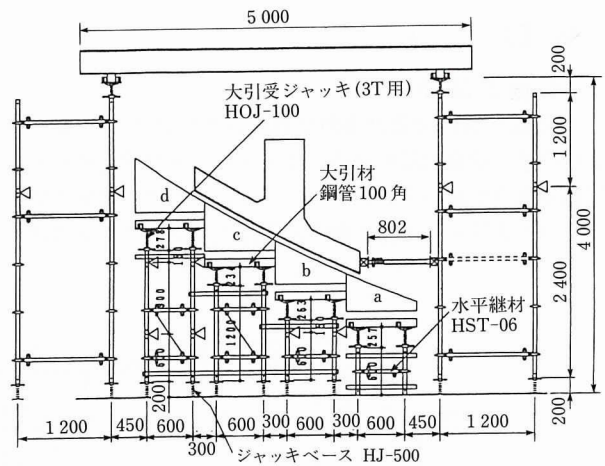


図-10 施工試験モデル図

4.3 型枠の計画と施工

本橋の型枠の計画は、①曲面型枠となること、②意匠的要求から可能な限り高い施工精度を確保すること、③型枠と櫛枠の寸法がそれぞれすべて異なること、④上越しが最大で244mmとかなり大きいことなどの問題を念頭に行った。

型枠の線形は、上越しを考慮した線形で計画し、主桁断面は、30枚の合板パネルにより構成し、型枠目地のラインが橋軸、橋軸直角方向ともに通るよう、型枠形状を変化させることとした(図-11)。

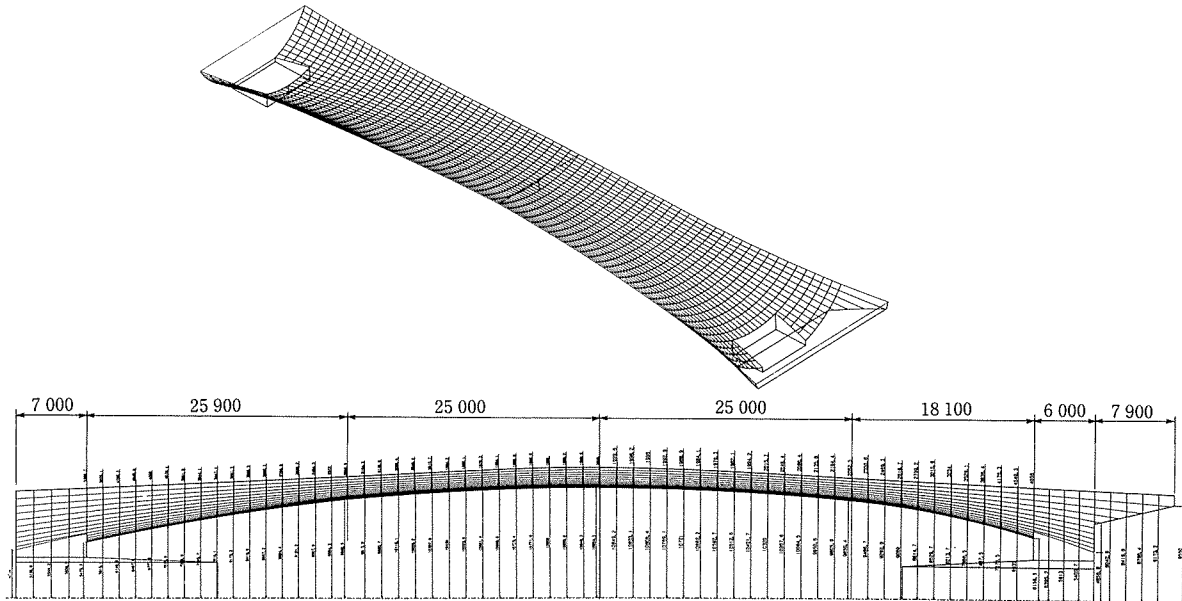


図-11 型枠計画図

一方、櫛枠は厚さ27mmの合板を用いて加工した。形状は、主桁形状に合わせるため、変化させるとともにセパレーターの取付け作業等の作業性を確保することから高さを900mm以下となるよう計画した(図-12)。櫛枠のコンクリート打設時の側圧対策としては、厚さ6mmの鉄板を裏表ともボルトで結合する方法を採用した。

本橋では、主桁形状が橋軸方向に非対称となっているため外型枠だけで2,000枚以上の型枠と4,200枚以上の櫛枠の製作を精度良く行う必要があったため、これらを、CAMシステム(Computer Aided Manufacturing System)により工場加工することとした。

型枠の施工には、一度にすべての型枠を施工する必要があったため、任意の位置での座標と型枠寸法、櫛枠寸法、型枠・櫛枠設置座標およびスターラップ加工形状などの諸データを、容易に管理できるパソコンを用いた施工管理システムを用いて施工を行った。型枠組立てにおける施工精度は、誤差が5mm以内と極めて高精度な組立てができた。

4.4 支保工

支保工は、一般部には支柱式支保工を用いた。供用中の交差道路のための開口部には、H形鋼を渡して支柱式支保工(RORO支柱)で支持する方式とした(図-13)。

型枠を受ける支保工は、主桁の縦断勾配(4%~4%)と大きな桁高変化および舟底形断面のためこれに対応する櫛枠との関係から900段余りの階段状の配置計画を行った(写真-2)。

また、交差道路が2.5%の勾配を有するために、地盤のレベルが幅員方向に上り側と下り側で約50cmの高低差が生ずる。このため、支柱式支保工基礎には橋軸直角方向に階段状(3段)のフーチングを設けて、またパイプ式支保工の基礎部分には水平になるように砕石を敷設して鋼矢板

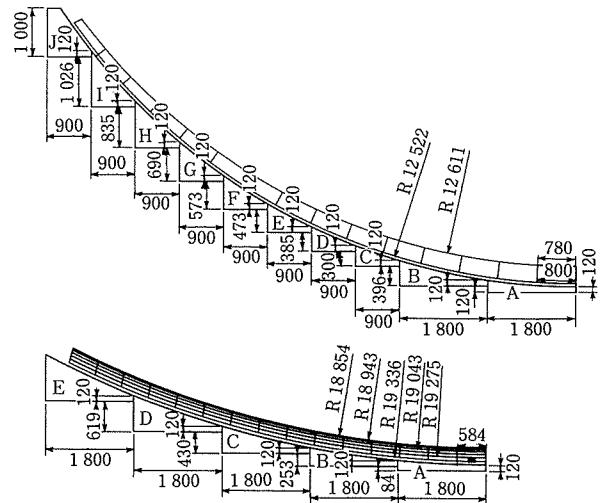


図-12 櫛枠計画図

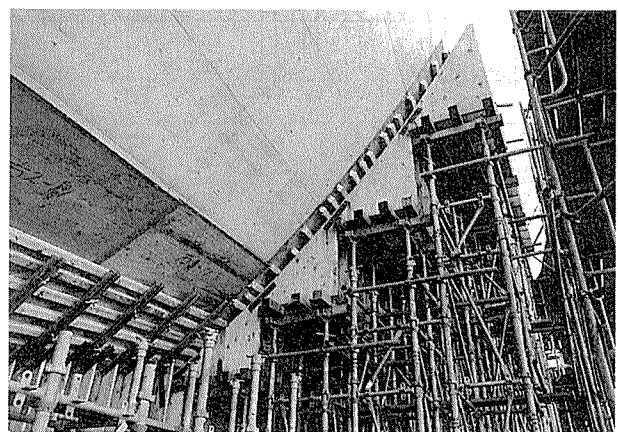


写真-2 階段状支保工配置

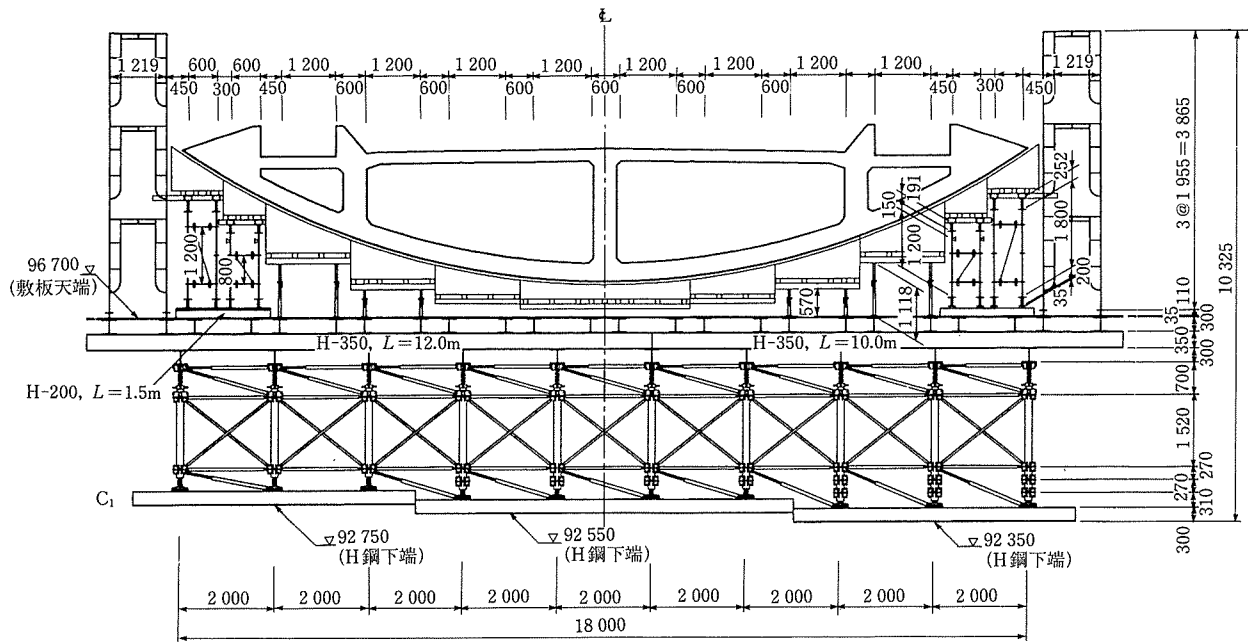


図-13.3 17-18断面

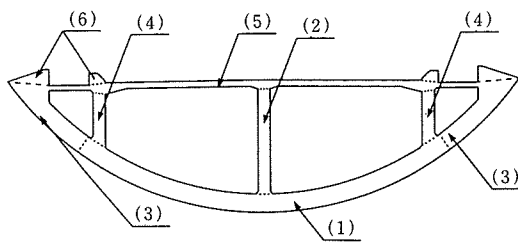


図-14 主桁コンクリート分割打設計画図

ラーメンに対するプレストレスの導入のため、水平方向の地盤と杭とのなじみが生じたことによるものと思われる。

5. 仕上げ・修景工

5.1 植栽および高欄

本橋では、植栽のため地覆を1.6m間隔で内側・外側2箇所計画した(図-15)。両側の地覆部には全橋に渡ってA1翼壁背後の擁壁部まで植栽を設けた。

高欄には、铸铁製高欄を採用し、これを植栽部に設置した。形状は、植栽の中の柵に近い形状のものとした。これは、地覆および植栽部の寸法から十分な安全性を確保しつつ、周辺の公園環境に配慮したためである。

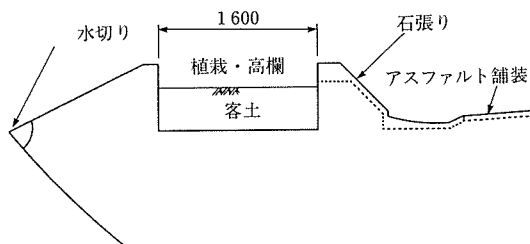


図-15 地覆・植栽部断面図

5.2 コンクリート仕上げ工

本橋の施工では、コンクリート打設に5ヶ月強を要し、型枠存置期間がかなり長くなった。このため、躯体に黄色の型枠のコーティング剤が付着するなどの理由から躯体をケレン処理し、水アカや桁下を交差する幹線道路からの排気ガスから保護し、長期的に美観を保つため撥水剤を塗布した。撥水剤には、浸透性防水効果のあるタイトシラン(30撥水型)を塗布し、さらに造膜性防水効果のあるTYトップコート(100)を塗布した。

5.3 水切りの施工

雨水による橋体側面の汚損防止対策として水切りを設置した(図-16)。材質は、質感に優れているアルミ鋳物を使用し、柔らかな主桁のラインに対しシャープな三角形をしたものを採用し、アクセントを与えている。

施工は、工場製作されたものを水切り施工用に用意した橋面台車により支間中央部より取り付け、コンクリート面との目地は変成シリコンでシーリングした。

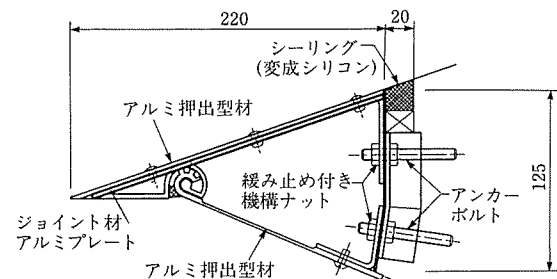


図-16 水切り標準断面

5.4 照明装置

外側の地覆部分には、アルミ製高欄の手摺り部分のよ

うな形状をした照明装置を配置し、すっきりとした景観に配慮し、桁下を通過する歩行者や車輛からも橋全体のシルエットを望めることができるものとした。

6. ま と め

設計においては、曲げに対する梁理論の仮定およびせん断に対する部材厚の決定と有効高の検証を行った。今後、大きく傾斜したウェブを持つ橋梁に対して有効な手法であると思われる。

施工では、流動化コンクリートの採用、曲面型枠の計画と施工、および本施工前の施工試験などを行い、施工品質の向上を図った。特に、CAMシステムによる型枠加工技術の採用で、本橋のような特殊形状を持つ構造物も十分な施工が可能となった。

また、施工管理システムを利用した厳しい施工管理を行った結果、施工誤差5mm以内でかつコンクリートを極めて美しく仕上げる事が出来た。

7. おわりに

本橋梁は平成9年7月22日に開通式を行い供用を開始した。「くじら橋」という名称は橋梁名を公募し、住宅・都市整備公団と稲城市とで審査し、採用された名称である。グラマラスな桁下曲線が、鯨をイメージさせたのであろう。今後、このユニークな橋が、市民と周辺環境に永く親しまれる橋となることを願う。

本工事の竣工にあたり、厳しい施工条件の中で無事故で極めて良好に仕上げることができたことに対し、関係各位の御助力に記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 村山和義, 清峰亮介: 稲城中央公園連絡橋, 明日へのJCCA, Vol.189, 1995年10月, pp.62~65.
- 2) Podolny, W.Jr., "The Cause of Cracking in Post Tensioned Concrete Box Girder Bridges and Retrofit Procedures", PCI JOURNAL, V.30, No.2, March-April 1985, pp.82~139.
- 3) 田中, 清峰, 畑田, 久保田, 田島: 稲城中央公園連絡橋-くじら橋の設計施工, 橋梁と基礎vol.31, No.11, 1997

【1997年7月20日受付】