

早稲田大学所沢キャンパス 101号館ブリッジの設計・施工

八木 毅*1・戸田 忠秀*2・西森 久和*3・松岡 昭文*4

3次元曲面で構成されたブリッジが計画された。このデザインされ、複雑な形状をした化粧打放しのプレストレストコンクリート構造物を、設計施工の優位性を活かした3次元CADの活用により、高品質を確保しつつ、短工期で建設することができたのでここに工事報告を行う。

キーワード：ブリッジ、プレストレストコンクリート、交差柱、3次元CAD

1. はじめに

本計画は早稲田大学の新教室・研究室棟の新築計画である。「一枚の葉」をモチーフとし、織重なる繊細な手摺と3次元曲面で構成されたブリッジを渡り、アプローチする。

本稿では、建築計画、構造計画を述べたのち、設計施工の優位性を活かした3次元CADを活用した施工方法について詳細に報告する。

2. 建築計画概要

本体建物は、所沢キャンパスの豊かな自然に抱かれる教室・研究室棟である。風にそよぐ柔らかな「ペール」をイメージした外装スクリーンは、室内の明るさの確保と、熱負荷低減をバランスよく両立させる、開口率40%のアルミパンチングメタルで構成している。優しいカーブを描くユニットをランダムに重ね合わせることで、深い陰影を与え、柔らかく繊細な表情をもたせている。また、全体に大きなふくらみをもたせることで、わずかな「ゆらぎ」の曲面を与え、遠景にも柔らかく優しい表情をもたせている。このスクリーンは、野鳥保護のため窓ガラスへの衝突を防ぐとともに、将来理系の施設に改修する場合、外壁面に露出する配管類を隠す機能をもたせている。環境に配慮した「サステイナブル教室棟」を目指して計画している。

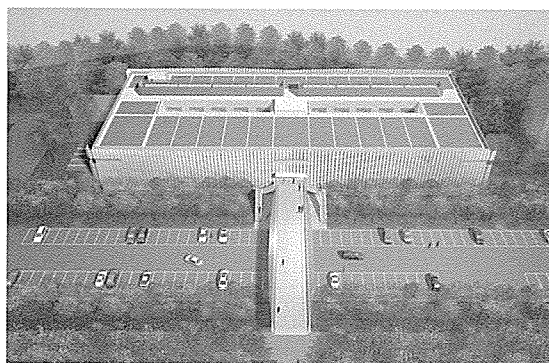


図 - 1 建物全景 (イメージ図)

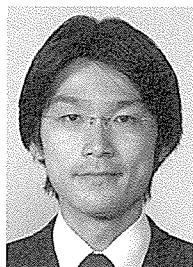


図 - 2 建設地



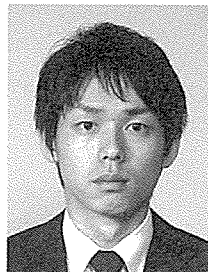
*1 Takeshi YAGI

(株) 竹中工務店 北海道支店
設計部 構造グループ



*2 Tadahide TODA

(株) 竹中工務店 東京本店
設計部 設計グループ



*3 Hisakazu NISHIMORI

(株) 竹中工務店 東京本店
設計部 プロダクト設計
グループ



*4 Akifumi MATSUOKA

(株) 竹中工務店 東京本店
設計部 作業所 (北関東)

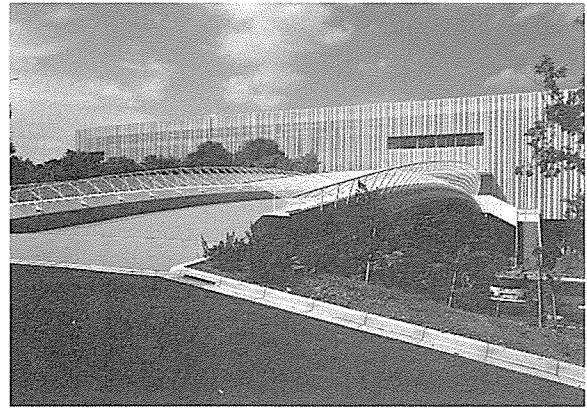
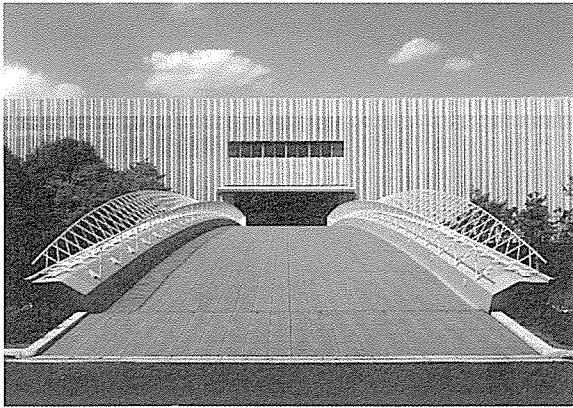


写真 - 1 建物写真

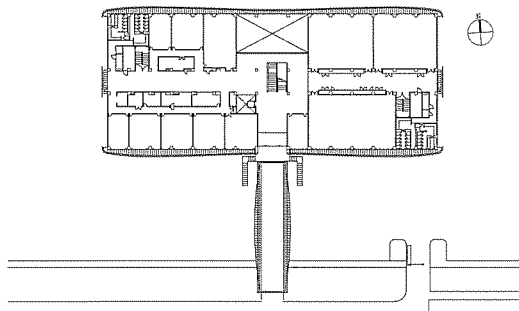


図 - 3 2階平面図

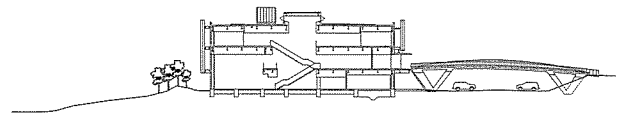


図 - 4 断面図

4. 構造概要

4.1 構造計画概要

ブリッジは、約8m×約36mの平面形状をしており、本体建屋とはエクspansionジョイントにより分離した。敷地内ブリッジのため適用法規は建築基準法となるが、確認申請上も別棟扱いしており、法第20条における4号建物の扱いである。構造種別は、鉄筋コンクリート造とし、約19mのスパン方向梁をプレストレスト梁とした。また3本の斜め柱支持のため、常時発生する引張軸力に抵抗するため直交方向梁にも一部プレストレストを導入した。

基礎は、常時発生する水平スラスト力に抵抗させるため、杭基礎（既存コンクリート杭）を採用した（本体建屋は深層混合処理地盤改良による直接基礎）。

コンクリート強度は、基礎部分はFc27、スパン方向PC梁はFc54とし、その他の部分はFc30と打ち分けた。当初PC梁部分をプレキャスト化する計画案もあったが、コンクリート打放し仕上げであり、梁の部分とその他の部分においてコンクリートの質感が変化することはデザイン上許容できないため見送った。

全体工事工程に制約があるうえ、ブリッジ架設が工事終盤に行わざるを得ないため、ブリッジ工事は、短工期で確実な施工が要求された。

4.2 プレストレスト梁の概要

PC梁の断面を図-9に示す。断面はデザインのため一部切欠いた断面となった。PC鋼より線（7本より15.2Φ、SWPR7B）を1ケーブル、図-8に示す配線図のように配置した。摩擦損失量を少なくするため、緊張方法は両引きとした。アンカー工法にはVSL工法を採用した。断面設計は、X、Y両方向ともに、『プレストレストコンクリート造設計施工指針（日本建築センター）』に準拠し、パー

- 建築主：学校法人早稲田大学
- 所在地：埼玉県所沢市
- 主要用途：大学
- 基本計画・総合監理：早稲田大学キャンパス企画部
- 設計施工：竹中工務店
- 敷地面積：229 314.55 m²
- 建築面積：3 858.08 m²
- 延床面積：10 144.56 m²
- 階数：地上3階
- 工期：2008.7～2009.6

3. ブリッジ概要

- 全長：36.3 m 通路幅：6.0 m スラブ下高さ：4.5 m
- 投影面積：253.47 m²
- 建物構造：RC造（梁プレストレストコンクリート：Fc54 N/mm²）

- 仕上げ：コンクリート打放し
- 手摺：ST丸パイプ溶融亜鉛メッキの上 フッ素系塗装

- 設計ニーズ：「一枚の葉」をイメージした軽快なブリッジデザイン

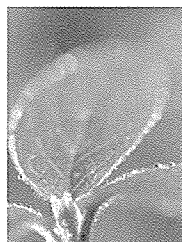


写真 - 2 一枚の葉

○特集/工事報告○

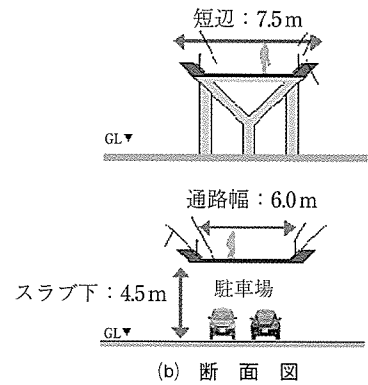
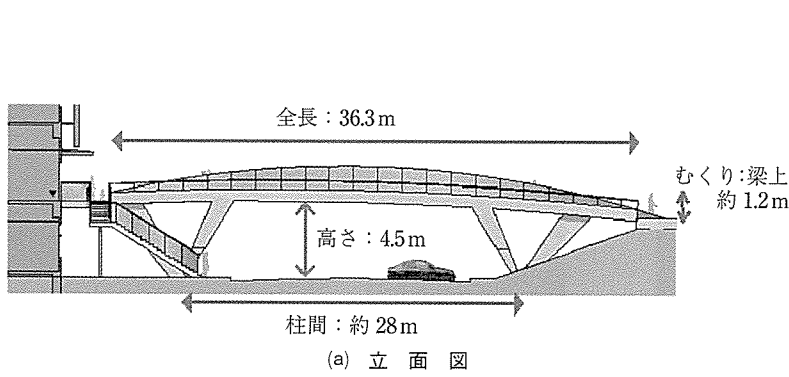


図 - 5 ブリッジの概要



写真 - 3 ブリッジ写真

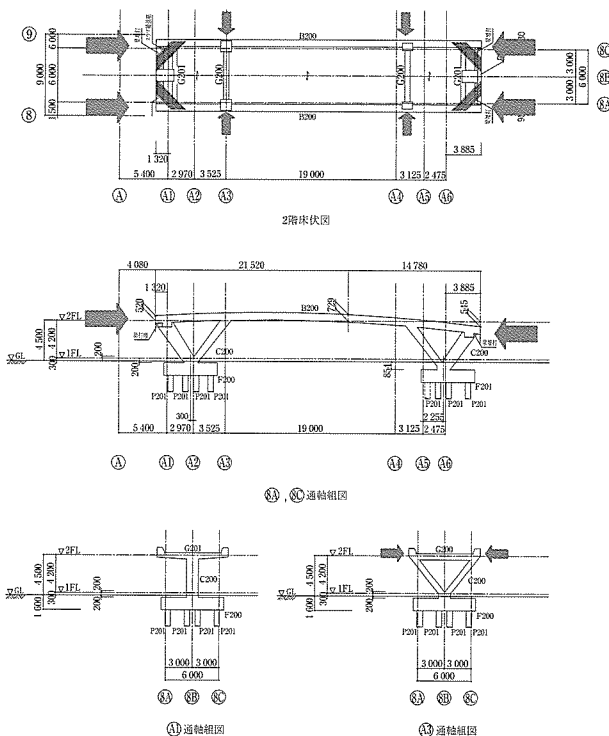


図 - 6 伏図・軸組図

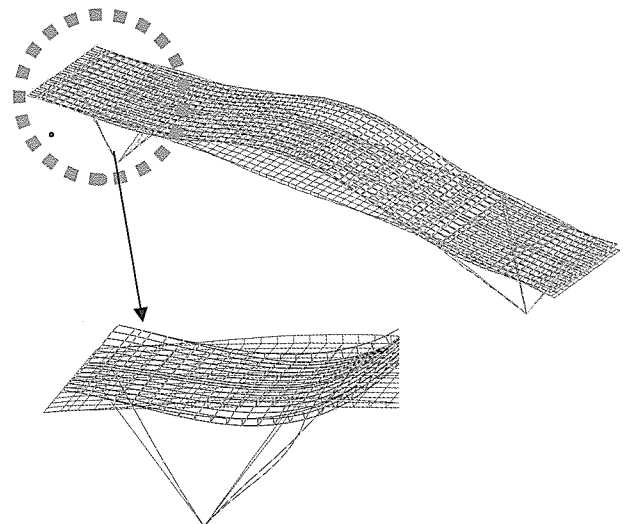


図 - 7 解析モデルおよび変形図 (PC 導入時)

シャルプレストレスングとして縁応力がコンクリート許容引張応力度以内となることを確認している。

解析モデルを図 - 7 に示す。ブリッジそのものがデザ

インされたものであり、アーチ状になっているうえ、3本の斜め柱で支持されており、加えて工期短縮の観点から柱、梁、床が一体となった状態でPC導入を行う必要があるため、ブリッジ全体をFEMにてモデル化して解析を行った。これにより、長期応力状態 (G + P) はもちろん、PC緊張力がその他の構造体に与える影響を把握できた。さらにPC導入時の局所的変形 (応力) に対し、適切な補強鉄筋を配置し、ひび割れの低減に寄与できた。

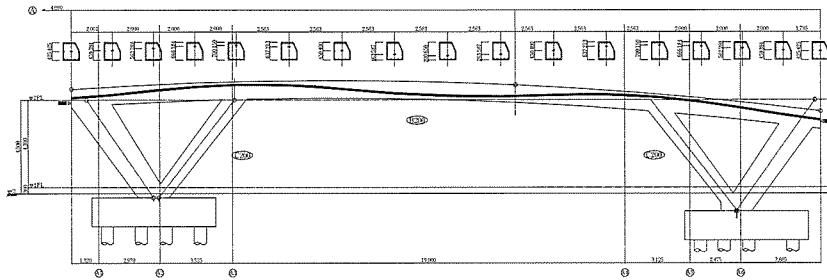


図 - 8 PC ケーブル配線図

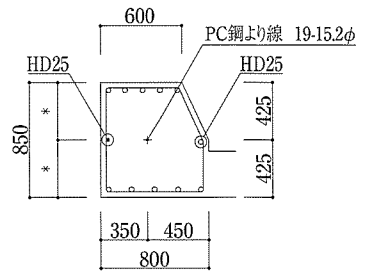


図 - 9 PC 梁断面

4.3 歩行時の振動性状

本ブリッジは、建屋への主動線の役割を担っており、始業時などには集団での歩行が行われることが予想される。そのため、歩行時の振動性状を解析的に確かめた。

振動解析プログラムは『MIDAS/Gen』を使用した。解析モデル（平面モデル）を図 - 10 に示す。

歩道橋全体に 200 人がランダムに歩行した状態を想定し、スラブ全体に 100 カ所にて二人歩行荷重を入力して、振動性能を検証した。歩行荷重は、図 - 11 に示す格子点 100 カ所を A ~ E の 5 グループに分け、図 - 12 に示す加振力（Baumann 波、二人歩行、継続時間 10 秒）を入力した。加振力は、その周波数を変え、A (1.6 Hz, 10 カ所), B (1.8 Hz, 20 カ所), C (2 Hz, 40 カ所), D (2.2 Hz, 20 カ所), E (2.4 Hz, 10 カ所) とし、さらに各グループを加振開始時刻によって、

1 (0 sec), 2 (+ 1/5 周期後), 3 (+ 2/5 周期後), 4 (+ 3/5 周期後), 5 (+ 4/5 周期後) の 5 セットに分けた 5 グループ 5 セットの計 25 セット (A1 ~ E5) にて 10 回の加振を行った。

受振点は、スパン中央、スラブ中央とした。減衰定数は 0.03 とした。

スパン中央のスラブ中央での最大応答加速度を図 - 13 に示す。解析結果は、最大値で 0.1394 m/s² となった。また一次固有振動数は 4.32 Hz であった。

得られた結果を『これからの歩道橋（日本鋼構造協会編）』にある「各種の振動限度および規制値」図にプロットしたものを図 - 14 に示す。

「梶川（歩行時：少し感じた）」を下回っており、歩道橋として十分な振動性能を有することを確認した。

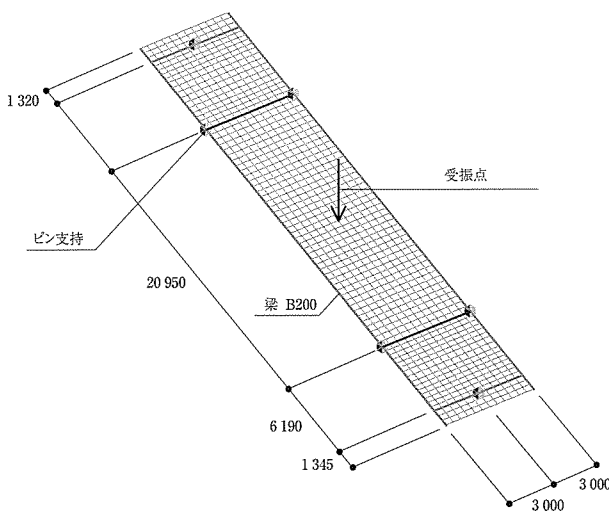


図 - 10 解析モデル

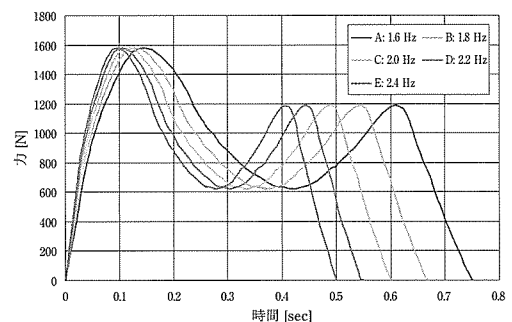


図 - 12 歩行荷重波形 (Baumann 波, 二人)

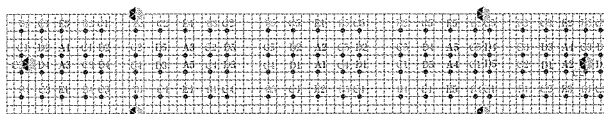


図 - 11 加振点

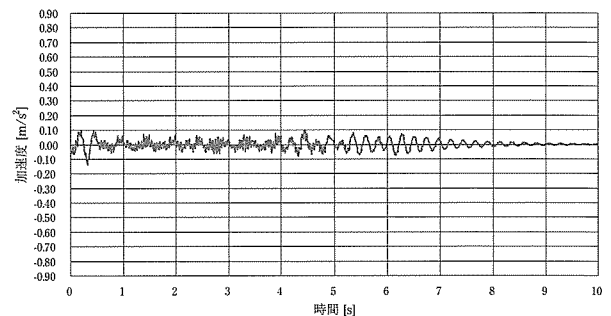


図 - 13 最大加速度 (スパン中央, スラブ中央)

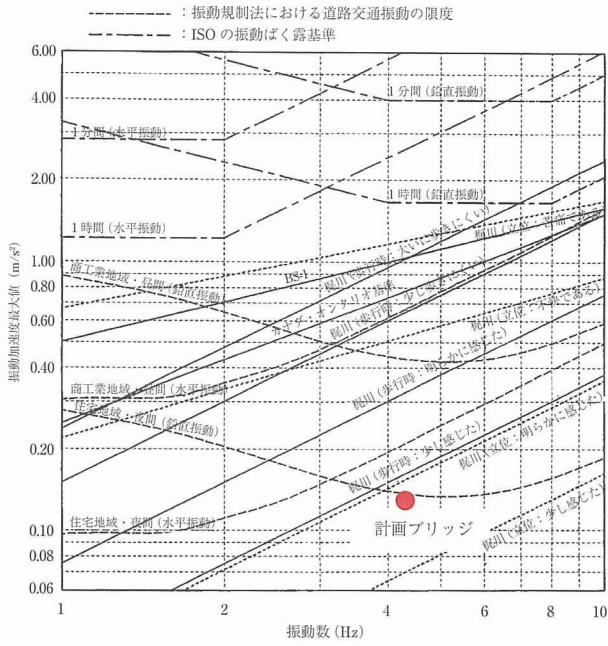


図 - 14 各種の振動許限度および規制値

5. 3次元 CAD の活用

これまでに述べたように、本ブリッジ工事は、デザインされ、複雑な形状をした化粧打放しのプレストレストコンクリート構造物である。一方、全体工程に制約があるなか、短工期で確実に施工することが要求され、難工事が予想された。

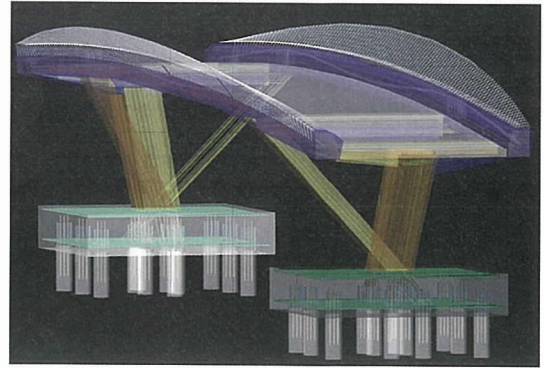


図 - 15 3次元 CAD の採用

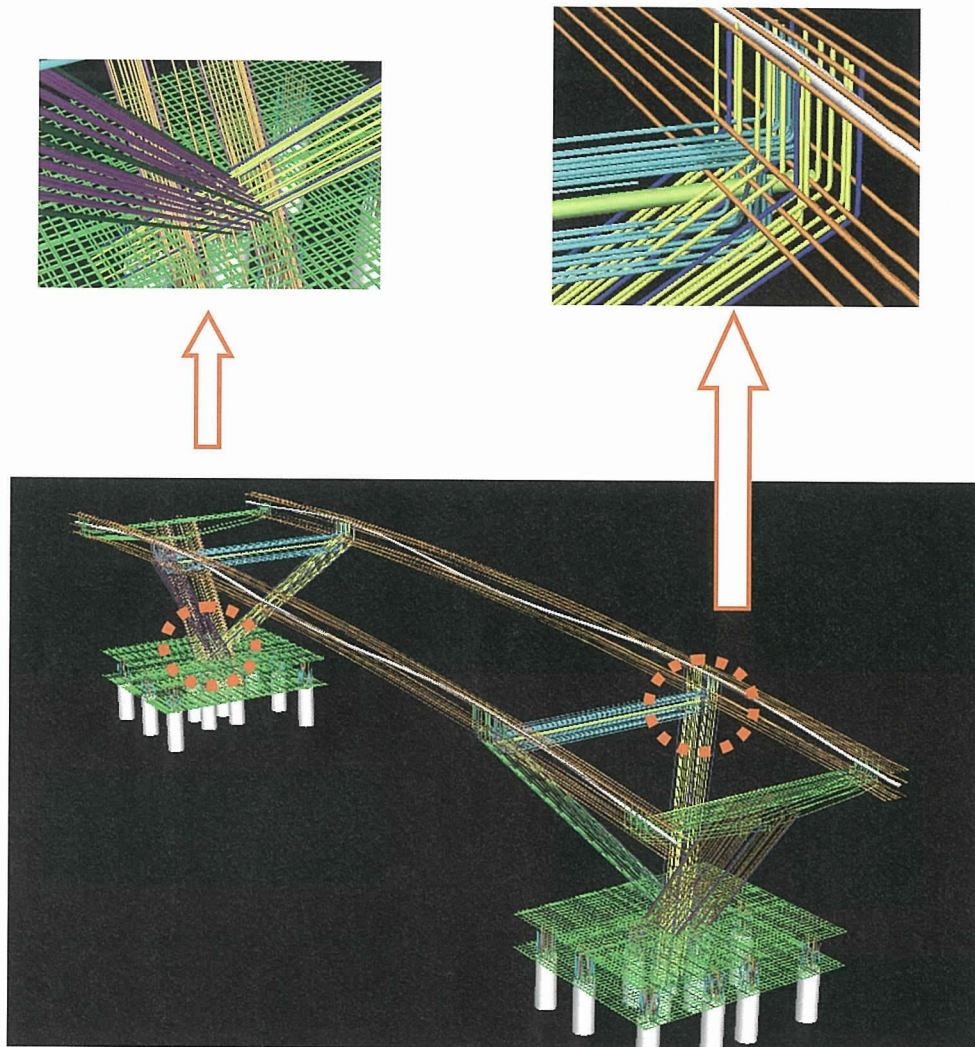


図 - 16 3次元 CAD による配筋納まり検討

そのため設計施工の優位性を活かし、設計段階から設計、施工部門ならびに協力会社が一体となり、工事に手戻りが発生をしないよう検討を行った。

その一つとして、設計段階から3次元CADによる配筋等の事前検討を行い、作成したCADデータを利用して鉄筋加工および型枠製作等を行うこととした。

とくに3本の柱が集まる柱脚部の鉄筋納まりは、断面上の制約があるため、12面(3本×4面)の鉄筋をmm単位で調整し、奇跡的に納めた。

6. 施工概要

6.1 鉄筋工事

3次元CADにより配筋を検討した結果、とくに柱の配筋が複雑に交差している部分があるため、斜めの角度管理も含めmm単位の正確な配筋が必要であることが分かった。

そこで、柱鉄筋工事の施工法としては、柱脚・柱中央・柱頭の3つのレベルで鉄筋xyz位置を座標管理し、それらを結ぶように配筋することにした。3次元CAD配筋モデルを活用することで、鉄筋の座標位置の精度をより正確なものとすることができた。以下に施工におけるポイントを示す。

① 主筋断面図の作成

3次元CAD配筋モデルから、配筋断面を切り出し、主筋位置の座標をmm単位で抽出した。

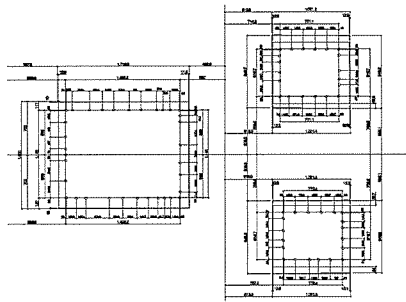


図 - 17 主筋断面図

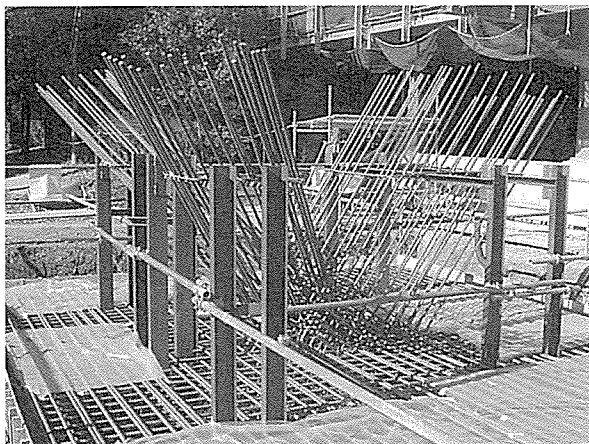


写真 - 4 架台設置状況

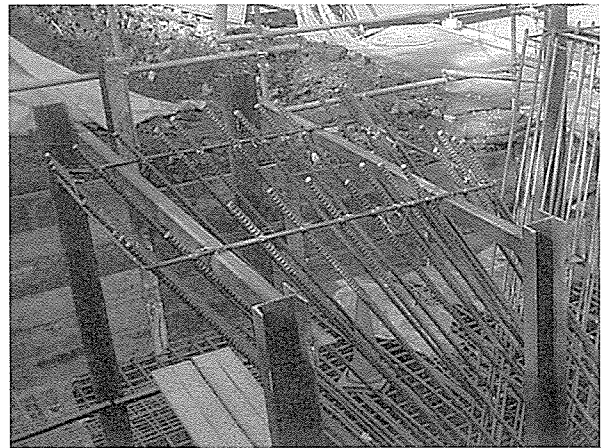


写真 - 5 捨てフープ設置

② 架台を用いての座標管理配筋の手順

1. 断面を切り出した各レベルの位置に架台を設置した。
2. そこに鉄筋配置の墨を出した捨てフープを配置した。
3. それらを結ぶように配筋を行った。

③ 折れ曲がり部の定着配筋の重ね継手施工

柱と梁のパネルゾーンの形状がクランクしている部分で、鉄筋の折れ曲がり位置が1本1本違うため、どのように折れ曲がり位置に正確に配置するかが課題であった。施工法としては、柱主筋を柱頭レベルまで止め、3次元CAD配筋モデルから折れ曲がり角度を算出し、その角度で加工した定着長さが確保された短い鉄筋を重ね継手とした。こうすることで折れ曲がり部の定着長さの不足や形状内に鉄筋が納まらなかった場合の鉄筋再加工のリスクを回避した。

④ 帯筋の4分割割ばん溶接

柱の形状は頂点の角度が同じ菱形で、かつ、上部につれて徐々に広がる形状のため、帯筋の大きさが1つ1つ違う形状であった。そこで配筋モデル図から頂点の角度と辺の長さが記載された帯筋形状図を各レベルごとにアウトプットし、4辺の長さがそれぞれ違うことを考慮し、1組の帯筋を4分割にして、CADデータ寸法に基づき鉄筋を加工

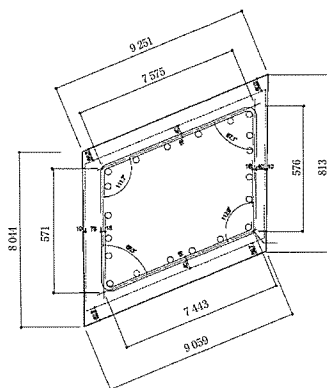


図 - 18 帯筋形状図

した。これを現地で柱主筋に合せ、お互いを溶接にて施工を行った。

6.2 型枠工事

複雑な形状に対する型枠パネル加工の取組みとしては、3次元CADより型枠展開図を作成し、これをもとに工場で事前に加工したものを現場にて組み立てる方法で行った。3次元CADデータにより、パネル形状やアーチスラブのレベルが把握できたため在来型枠工法を採用した。その成果として型枠工事の合理化およびスラブ型枠パネルが転用できたことがあげられる。以下に施工におけるポイントを示す。

① 型枠展開図をもとに工場加工

型枠展開図をもとに、その形状を工場でプレ加工を行い、現場で組み立てる。あらかじめ模型などを作成し、形状の整合性が取れているか確認することで、躯体の精度を確保した。

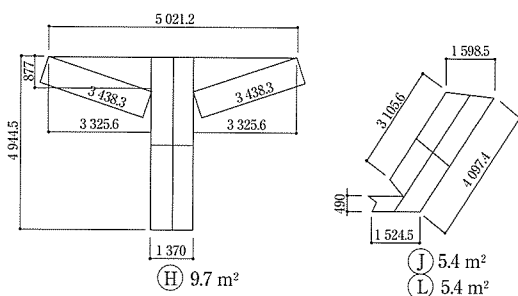


図 - 19 型枠展開図

② 在来型枠工法の採用

アーチスラブの型枠施工において、アーチ曲面に合せ加工した型枠を用いて行う方法もあったが、在来工法を採用した。アーチ曲線の施工法は支保工のジャッキレベルをアーチに合せて配置し、型枠パネルで近似曲線状にアーチを実現した。構内学生駐車場通路路上部、3本柱のデルタゾ

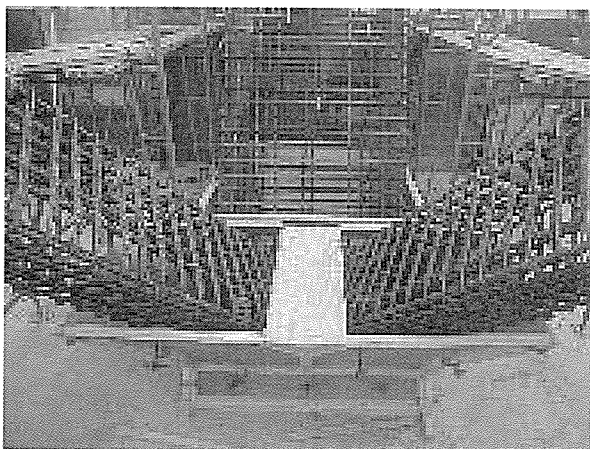


写真 - 6 柱脚部型枠組立て

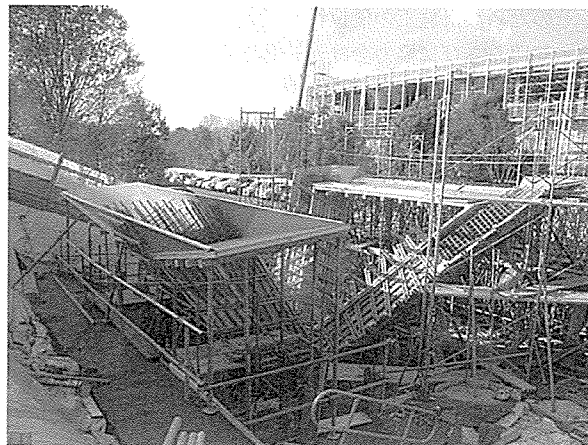


写真 - 7 柱型枠組立て

ーンのようなスパンの飛ぶ部分はH形鋼を設置して、その上にジャッキを設置した。

③ 学生駐車場で施工に配慮した支保工計画

2車線車両が通行できるように計画し、スラブ下高さについては施工中でも消防車が通行できる高さとして4m確保した。スラブ型枠の下に形枠と養生シートを敷き詰め落



写真 - 8 駐車場で支保工計画

下物に対する配慮を徹底した。

6.3 PC工事

PC工事の課題である緊張時に構造体に与えるさまざまな影響について、問題点をあらかじめ検討し、重点管理ポイントとして設定した。以下にそのポイントを示す。

- ① 4点同時緊張を行う際、緊張力を荷重ステップごとに計測・管理し、適切に緊張力が導入されていることを確認する。
- ② 緊張時の構造体の変位量を事前予測し、計測管理した。梁中央部変位量比較は、解析結果と計測値でほぼ一致した。
- ③ ひび割れの入りそうな箇所を事前予測し、乾燥収縮ひび割れも1本1本管理し、各荷重ステップにおいてひび割れ幅を計測。有害なひび割れ幅に進展しないように管理を行った。

またこれとともに、構造グループおよび監理グループによる厳格な工事監理が行われた。

これらにより、施工品質を確保しつつ、短工期での施工が実現できた。

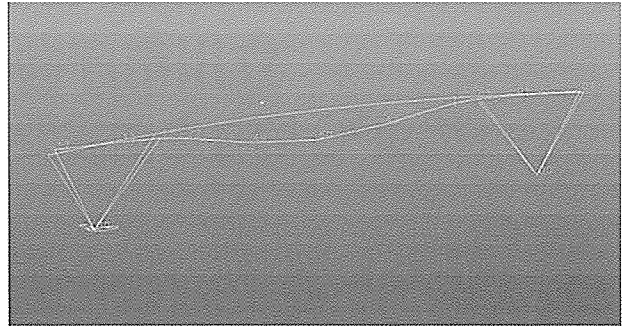


図 - 20 緊張時変位量解析図



写真 - 9 躯体変位量観測

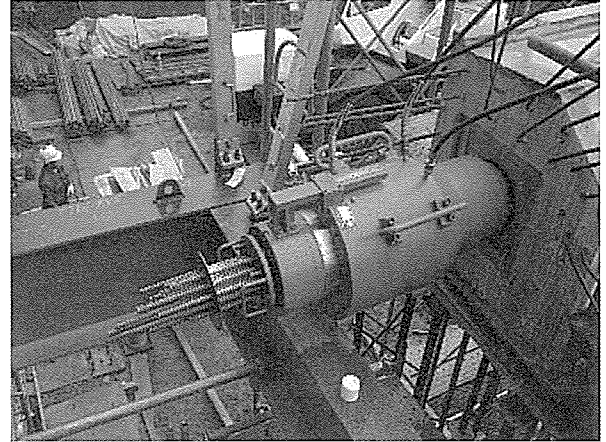


写真 - 11 緊張用ジャッキ

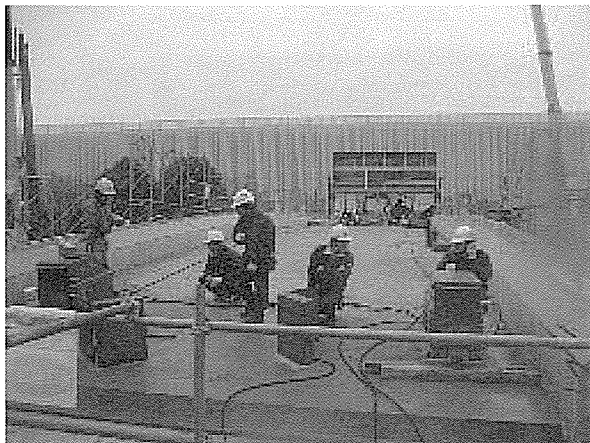


写真 - 10 PC 緊張状況



写真 - 12 ブリッジ完成写真

7. おわりに

「一枚の葉」をモチーフとし、3次元曲面で構成された軽快なブリッジ。このデザインされ、複雑な形状をした化粧打放しのプレストレストコンクリート構造物を、全体工程に制約があるなか、短工期で確実に施工することが要求される工事であった。

基本計画段階から、設計、施工部門ならびに協力会社が一体となりプロジェクトを推進し、設計施工の優位性を活かした3次元CADの活用等により、高品質を確保しつつ、短工期にて建設することができた。

最後に、本作品の設計および施工において、つねに一体となりながら、ご指導とご協力をいただいた多くの皆様にご場を借りて厚く御礼申し上げます。

【2010年4月23日受付】