

# コンピュータープログラム手法によるウェブフレームの計画と施工 —地下鉄大江戸線飯田橋駅建築工事—

中山正吾\*

地下鉄大江戸線飯田橋駅建築工事は全長 376.5m 掘削深さ（最深）GL-38.0 mに構築された駅舎の仕上工事である。土木とのコラボレーション、コンピューターとのコラボレーションをコンセプトとし設計され、2002 年日本建築学会賞他、多くの賞を受賞した作品である。本報文はコンピューターとのコラボレーションの実践として「ウェブフレーム」の計画と施工についてまとめたものである。

キーワード：地下鉄，ウェブフレーム，3D CAD

## 1. はじめに

大江戸線（地下鉄 12 号線）は光が丘から練馬都庁前を經由し、新宿、国立競技場、六本木、大門、月島、森下、蔵前、上野御徒町、春日、飯田橋、新宿西口などを通して再び都庁前に至る全長 40.7 km（営業キロ）の路線である。

東京の都心部は、オフィス化が進み、夜間人口が減少している。これに対し大江戸線環状部は、26 駅のうち 21 駅で地下鉄・JR 各線と連結し、都心部を活性化する役割が期待されている。各駅が歴史ある沿線の個性に相応しい顔を持つことが必要だと考えられ、地下鉄としては初めての試みとして、設計者の選定には公募プロポーザル方式が採用された。

また、各駅改札付近には、民間企業などからの協賛を得て、「ゆりの空間」というテーマのもとに独自のパブリックアートが設置されている。これは、アート手法を柔軟に織り込むことで地下空間における閉塞感や狭隘感を和らげ、乗降客に“やすらぎ”や“潤い”を提供することを目指している。

当社は、新宿区と文京区にまたがる全長 376.5 m，地上との出入口 3ヶ所を有する飯田橋駅舎（土木・建築共）を施工した。建築工事の設計・監理は渡辺 誠/アーキテクト オフィスである。



Fig-1 大江戸線路線図



Photo-1 ウェブフレーム\*



Photo-2 コリドー\*

\* 首都圏支社 東京工事事務所

## 2. 工事概要

工事名称：地下鉄12号線環状部飯田橋駅建築工事  
 工事場所：東京都文京区後楽2丁目1番地先  
 工期：平成11年3月4日～平成12年10月31日  
 発注者：東京都地下鉄建設株式会社  
 設計者：渡辺 誠/アーキテクト オフィス  
 監理者：渡辺 誠/アーキテクト オフィス  
 施工者：熊谷・白石・森・坂田建設共同企業体  
 工事内容：地下6層の地下駅舎の建築仕上げ工事及び換気塔新築工事

敷地面積：1,526 m<sup>2</sup> (461.62 坪)  
 延床面積：11,697 m<sup>2</sup> (3,538.34 坪)  
 延長長さ：376.5m

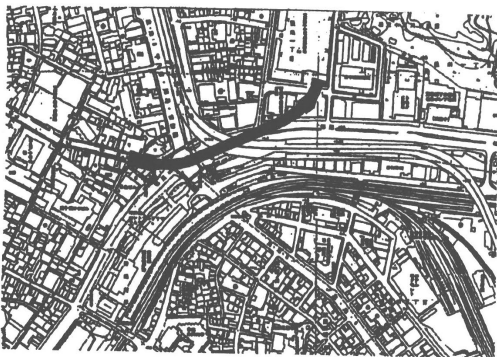


Fig-2 配置図

### 仕上概要：

#### 駅舎部

天井 コンコース B(神楽坂側)ステンレスエキ  
 スパンドメタル  
 コンコース A(後楽側)アルミスパンドレ  
 ル  
 壁 コンコース A,B 共 アルミスパンドレ  
 ル RC化粧仕上  
 床 コンコース A,B 共 無機質系塗り床

#### シールド部

天井 通路 A,B 共 RC化粧仕上  
 壁 通路 A ガリバリウム鋼板パネル  
 通路 B アルミスパンドレル  
 アルミガラススパンドレル  
 床 通路 A,B 共 無機質系塗り床  
 天井 プラットホーム RC化粧仕上  
 柱 プラットホーム 大理石 (10本)  
 プラットホーム RC化粧仕上 (52本)  
 プラットホーム 合せガラス (8本)  
 床 プラットホーム  
 磁器質タイル (400x400)  
 先端ノンスリップゴム入り御影石  
 (400 x 1000)  
 階段 A,B 天井ウェブフレーム

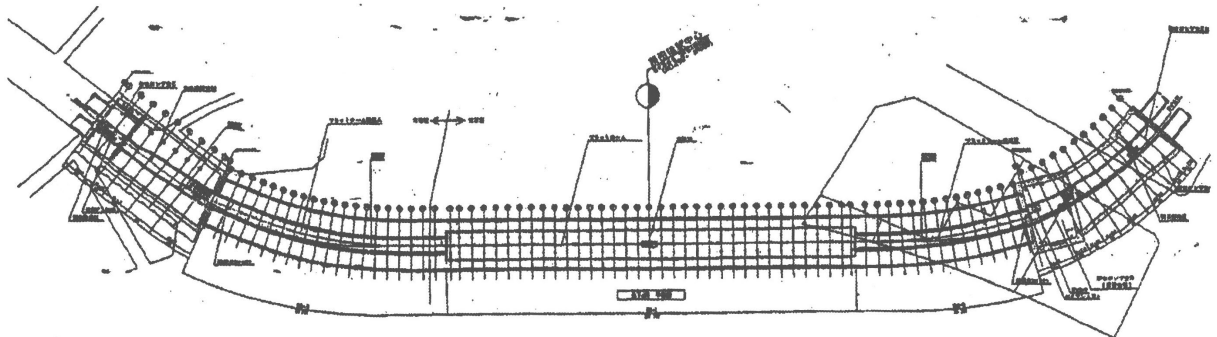


Fig-3 プラットホーム平面図

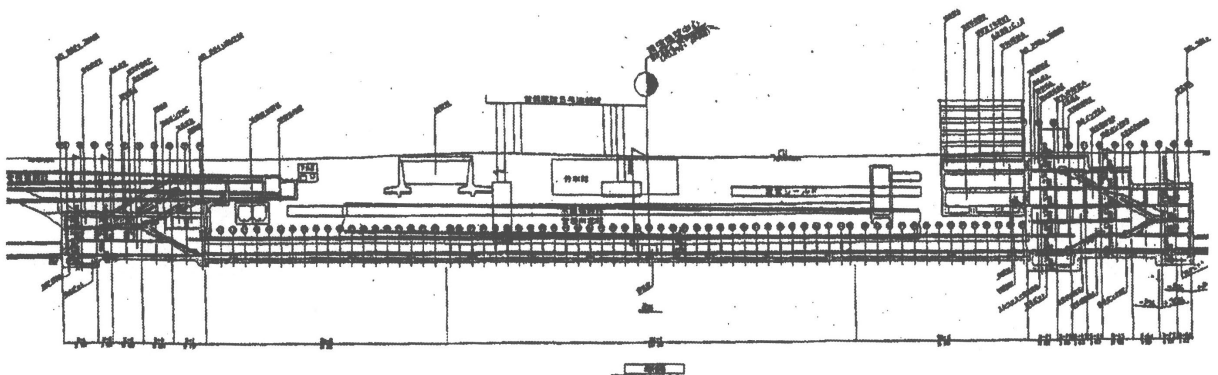


Fig-4 断面図

### 3. 施工上の問題点と基本方針

今回の工事の内、換気塔 (Photo-3) と駅舎出入り口階段

上部に設置されたウェブフレーム (Photo-4) はコンピュータープログラム手法により設計されている。これは、一般的に使用されているCADによる設計とは根本的に異なる。複雑系 (注-1) の概念に基づき、コンピュータープログラムにて条件を解きながら形態を生成させる方法である。従っ

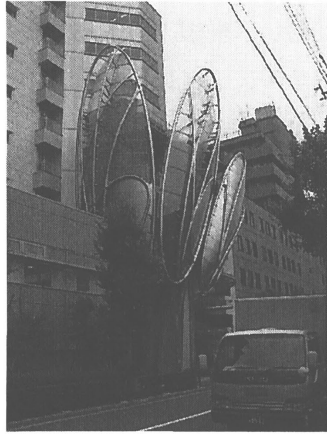


Photo-3 換気塔ウイング

て、設計図は存在しても、実態は電子データとしての存在であり、これを現実の形としてあらしめるには、従来に無い取り組みが必要であった。

#### 3.1 施工にあたっての問題点

①コンピューターにより設計された複雑な形状 (電子データとしての存在) をどのように実現 (現実の空間の中の形) するか。

② 設計から施工図作成、工場製作、施工の各段階における情報の受け渡し、変換、調整をどのようにするか。



Photo-4 ウェブフレーム

#### 3.2 解決にあたっての基本方針

- ① 数値化された電子データにより情報を受け渡しコンピューターにより変換、調整を行う。
- ② コンピューターに優れた技術を持った専門工事業者を選定する。
- ③ 発注者、設計者、熊谷組JV、専門工事業者が、目的意識を共有し、前向きに問題解決に取り組む。

換気塔、ウェブフレームとも、以上の方針の基に取り組み完成に至った。本稿では紙面の関係上、ウェブフレームの取り組みについて設計から施工に至るプロセスに従い報告する。

### 4. ウェブフレームの計画と施工

#### 4.1 コンピュータープログラム手法による設計 (注-2)

設計者のウェブフレームのデザインコンセプトは、次の通りである。①照明であると同時に天井の役割を果たし、長く単調な階段にリズムを与える。②地下鉄が都市・情報のネットワークであること

を象徴する。③地元後樂園の木々の緑が地下に伸びる自由な架構をイメージする。これを実体にする設計手法として、建築界では世界で初めての試みである「インダクションデザイン」と名づけられたコンピュータープログラム手法を用いている。ウェブフレーム生成プログラム

(Fig-5 参照) は、躯体の形状等の「絶対条件」とあいまいな「設計者の意図」の2つの条件の基に、自然発生に近い仕組み

で「架構」を生成する。数多く生成された「架構」の中から設計者が選別を行い決定した (Fig-6)。

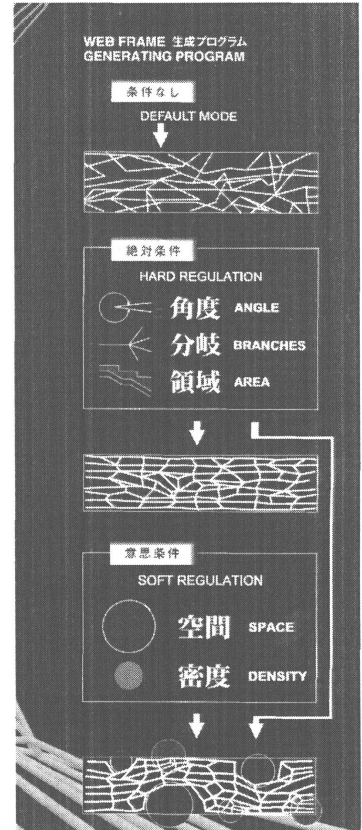


Fig-5 ウェブフレーム生成プログラム\*

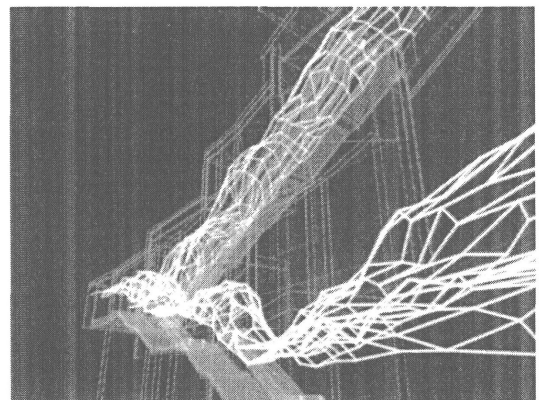


Fig-6 コンピュータープログラムの生成したウェブフレーム\*

#### 4.2 実施計画

コンピュータープログラム手法により設計されたウェブフレームを、実際の空間の中に「架構」として実現する為に、設計者と施工者がどのように取り組んだかを Fig-7 のフローに示す。

実測した躯体データをコンピューターに取り込み、設計事務所にて作成したウェブフレームCADデータと統合した。コンピューターグラフィックス処理により3次元画像 (Fig-8) を作成し、様々なアングルから全体をシミュレートした (Fig-9)。同時に、3DCADにより施工図とディテールの作成を行い、問題点を検討した。主な検討項目は次の3点であった。①接合点の納まり検討。例えば、角度差1度以内で5点以上が交わることは避ける。②ウェブフレームの径、全体配置、照明器具と照度の関係等の検討。③荷重検討。吊治具、ワイヤー、壁面固定方法等。問題点に対し解決策を設計者と施工者で協議し、変更、修正案を策定した。これに従いデータ及びプログラムの修正を行い、コンピューター上の3D画像を修正し、再度検討した。

数回のシミュレートを行い最終決定した。途中の段階では、ノートパソコンを現場に持ちこみ、実際の空間と3D画像を見比べて検討することも行った。当初設計と最終実施計画との差異を Fig-10 に示す。照度確保の為、ウェブフレームの密度が増し、総延長と部材数が大幅に増えた。一つとして同じ部品が無く、総延長 2,203m、接合点 803 箇所の全てが異なっている。

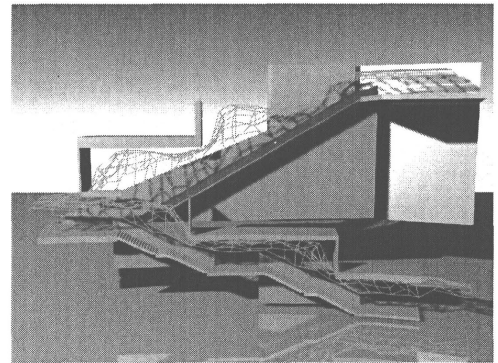


Fig-8 3D CADによる3次元画像例

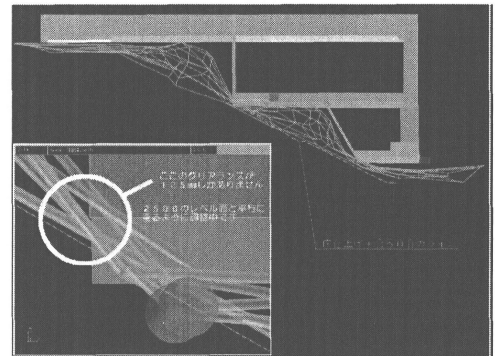


Fig-9 3D CADによる問題の検討例

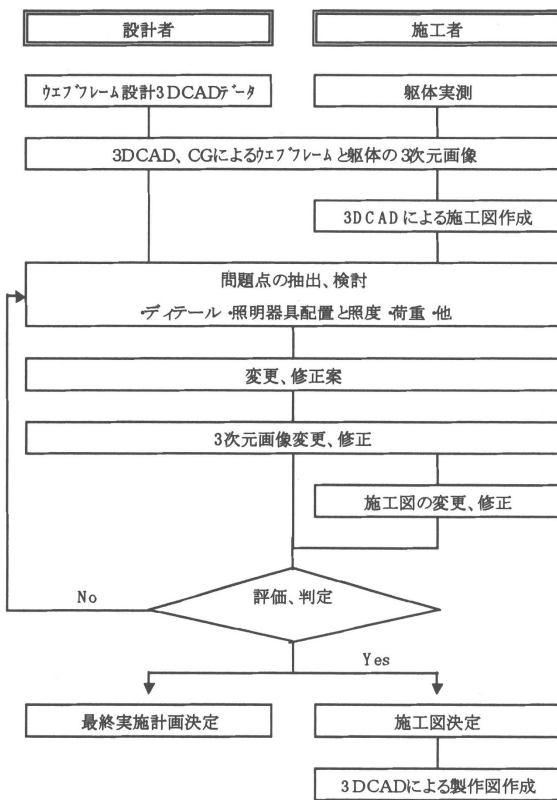


Fig-7 実施計画のフロー

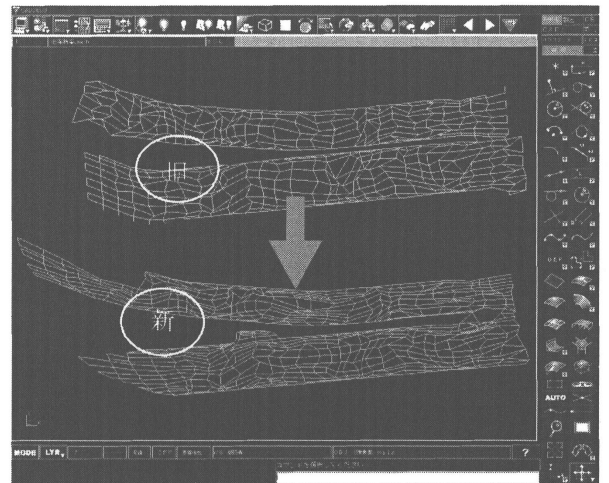


Fig-10 ウェブフレームの設計と実施計画

### 4.3 工場製作

決定した施工図よりコンピューターにて個別部材の工作図を作成し工場にて製作した。以下に主な工程と注意点を記す。

#### 4.3.1 主資材

スチール鋼管 JIS-G3444 (一般構造用炭素鋼管)

径 76.3mm 厚み 2.3mm

#### 4.3.2 機械加工

工作図及び検査基準に基づき、専用機械治具を使用し、相対位置をよく確認して正確に加工を行った (Photo-5)。

##### (1) 切断加工 (Photo-6)

板材はシャーリングマシン又はターレットパンチプレスで、棒材は高速切断機を用いて工作図指示寸法にて切断した。

その切断寸法の許容差を下表に示す。

Table-1 切断寸法許容差 (単位: mm)

長さ	許容差	
	板材	型鋼
1,000 以下	±0.5	±0.5
1,001~3,000	±0.1	±0.1

##### (2) 切欠き・孔明け加工

プレス及びボール盤を用いて工作図指示寸法にて正確に加工した。機械加工寸法の許容誤差を下表に示す。

Table-2 機械加工寸法許容差 (単位: mm)

加工	許容差
切欠き・穴明位置	±0.5
切欠き・穴寸法	±0.5

#### 4.3.3 溶接及び溶植

##### (1) スチールの溶接 (ウェブフレーム吊り元)

① 溶接はアルゴンガスアーク溶接 (TIG) を行いクラック、アンダーカット、オーバーラップ等に充分注意して、強度、雨仕舞に影響しないように行った。

② 吊り元の溶接部はビード残しとした。

#### 4.3.4 組立

組立治具を用い寸法、角度、方向に注意して組み立てた (Photo-7~11)。

#### 4.3.5 防錆処理、表面処理

鋼管の防錆処理は、亜鉛電気メッキ処理を行った上にエポキシ樹脂塗料を1回塗布とした。

表面処理は、ウレタン樹脂系蛍光塗料塗装 (常乾) とした。

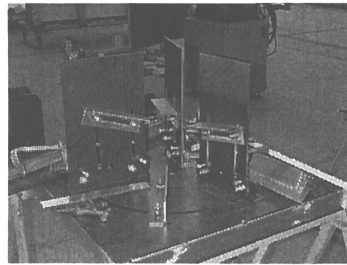


Photo-5 ジョイント部製作収具の作成

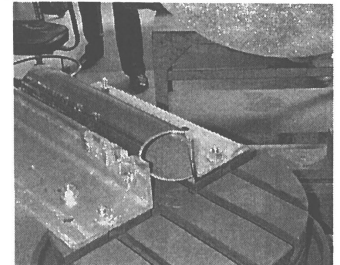


Photo-6 シャーリング

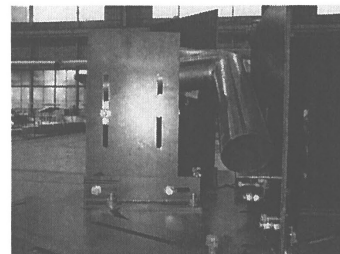


Photo-7 組立1

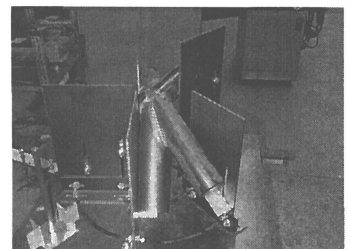


Photo-8 組立2

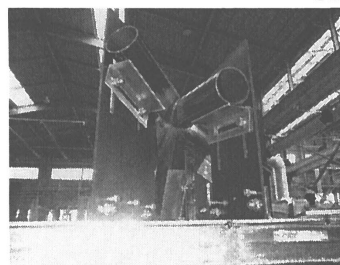


Photo-9 組立3

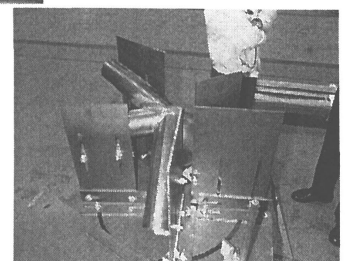


Photo-10 組立4



Photo-11 溶接部

#### 4.4 施工

ウェブフレームの施工図例を Fig-11 に示す。スラブ下の部分はジョイントフレームの位置に数本のワイヤーを掛けて吊り、壁取り合い部はボルトを用いて固定することにより、ウェブフレーム全体を空間に保持した。施工フローを Fig-12 に、現場取り付け状況を Photo12~19 に示す。ジョイントフレームを先行して吊り下げ、鋼管パイプ（センターフレーム）にてその間を繋ぐ手順とした。また、全体を8ブロック（Fig-13）に分け、工程計画に従い施工した。足場組立の事前検討には3次元CG（Fig-14）を活用したが、複雑な形や躯体の関係が一目で理解でき、施工者間の共通認識を短時間で正確に行うことができた。

約 2,000 点の部材がすべて異なるため、各都合番図を作成し、部材に符号を付け管理した。また、重要な施工管理項目である空間への位置決めは、各ジョイントフレームの三次元座標により決定した。座標図（Fig-15）は計算に多大な手間を要し膨大な量となるため、ミスがないように独自の座標抽出プログラムを作成し対応した。

まず、ジョイントフレームの平面的位置をスラブ下躯体に墨出し、ベースプレートを取り付けた。ジョイントフレームを仮吊りした後、高さ位置をレベルにより測定し決定した。これで全体の位置が決まったことになる。次にセンターフレームを取り付けた。ジョイント部に5mmのクリアーを設ける納まりとしたが、施工状況は良好であった。

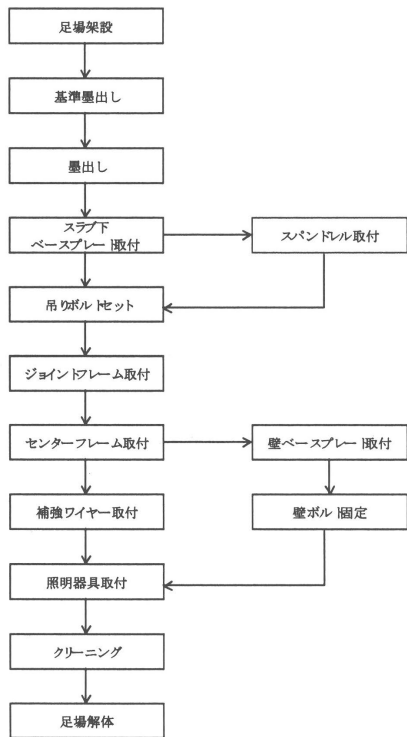


Fig-12 施工フロー

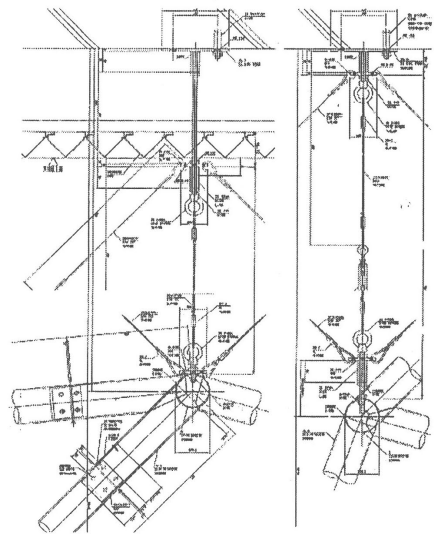


Fig-11 ウェブフレーム施工図  
ジョイントフレーム部分

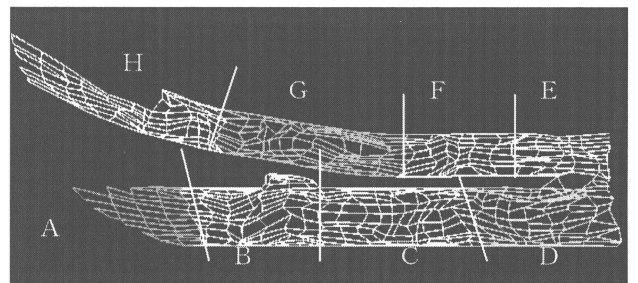


Fig-13 ブロック割

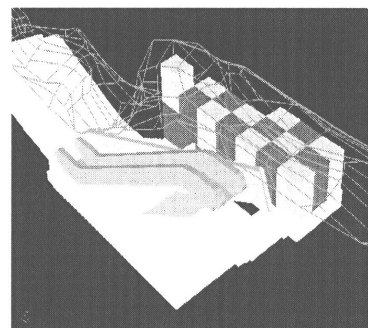


Fig-14 3次元データを活用した足場組立の事前検討例

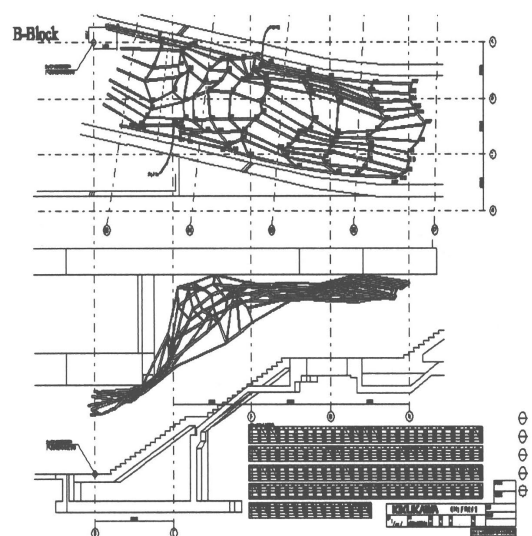


Fig-15 座標図の作成例

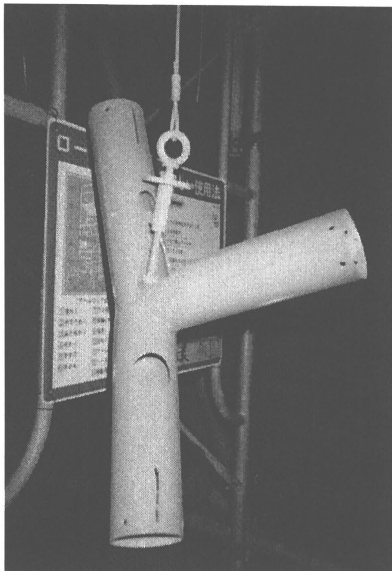


Photo-12 ジョイントフレーム振り吊り

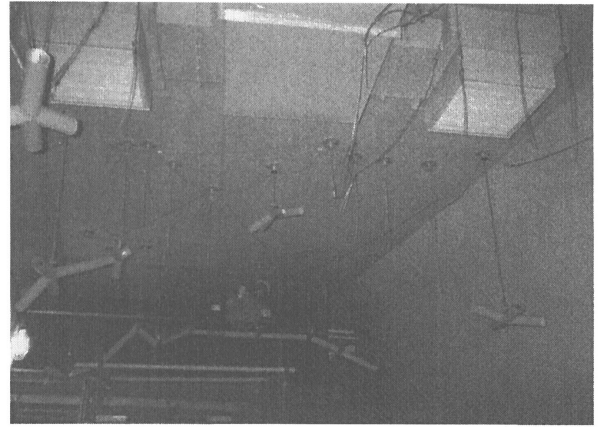


Photo-13 ジョイントフレーム吊り下げ状況



Photo-14 ジョイントサヤ管取付



Photo-15 センターフレーム取付

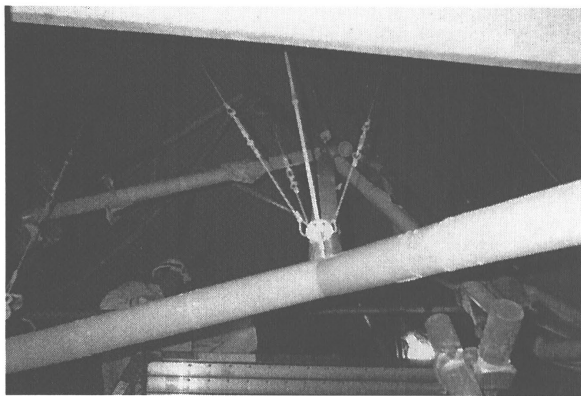


Photo-16 補強ワイヤー取付

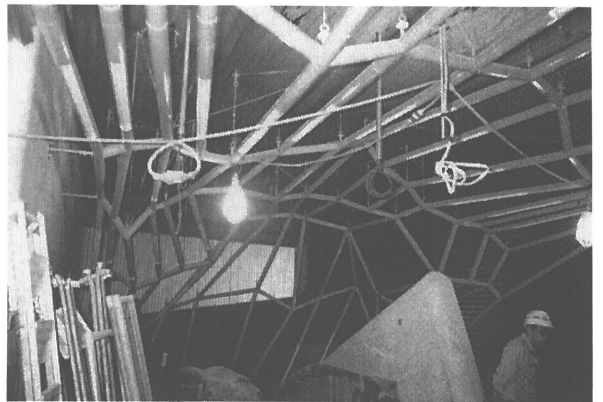


Photo-17 ウェブフレーム取付状況(1)



Photo-18 ウェブフレーム取付状況(2)

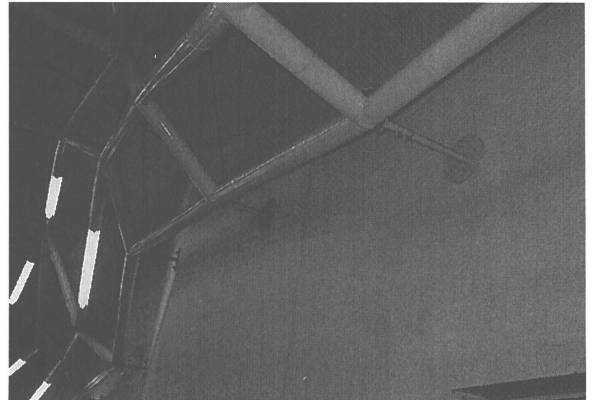


Photo-19 壁取り付け部固定状況 白抜き部照明

## 5. まとめ

以上のプロセスにより設計者の意図するウェブフレームを現実の空間に「架構」として実現することができた。

換気塔も同様に、コンピューターによる解析を活用して完成した。換気塔は、構造解析と一体にデザインされた鉄骨と、複雑な曲面形状をしたウイングフレームから構成されている。ウイングフレームは、3次元にうねるステンレスパイプにガラスと金属パネルが点で取り付けられている。構造は当社設計部も協力した。ウイングフレームの工場での仮組み状況を写真-20に示す。

このように設計から施工まで一貫してコンピューターを活用したプロジェクトは、当社にとっても建築業にとっても初の試みであり、コンピューターと建築の関わり合いに新たな一石を投じたものと思われる。

最先端のコンピュータープログラム手法による設計を、最終的に実態化したのは工場や現場取付の職人の技である。いわゆる職人が最終的なものづくりの行為者であることは、今後とも基本的には変わらないであろう。見方を変えれば、複雑なシミュレーション解析を行うコンピューターを操作しているのも人であり、職人と言って良い。一つの形に仕上げるまでの様々な分野の人々が、共通の目的を認識し柔軟に粘り強く問題に立ち向かうことで道は開かれると信ずる。

また同時に、道具としてのCADを含むIT技術の有効性と、新たなプログラム開発による可能性の拡大を認識し、この分野における人材育成と知識の吸収に努めることも重要である。

最後に、渡辺誠氏の言葉を添えて終わりとす。

「設計が脳とコンピューターのコラボレーションであると同様に、施工も手仕事とコンピューターの協力による。複雑多様な架構は、厳密な数値解析と職人の勘、コラボレーションで実現する。」\*

### 謝辞

発注者の東京都地下鉄建設株式会社、設計監理のアーキテツ オフィス渡辺誠氏、専門工事業者の菊川工業株式会社、その他多くの工事関係者各位に深く感謝する。

また、渡辺誠氏の御好意により、※を付した文、図、写真につきましては、下記著作より転載させて頂きました。

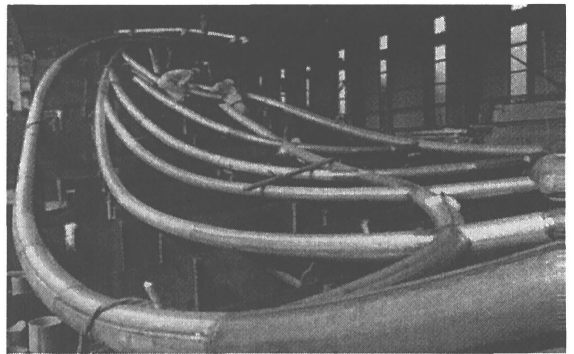


Photo-20 換気塔ウイングフレームの工場での仮組み\*

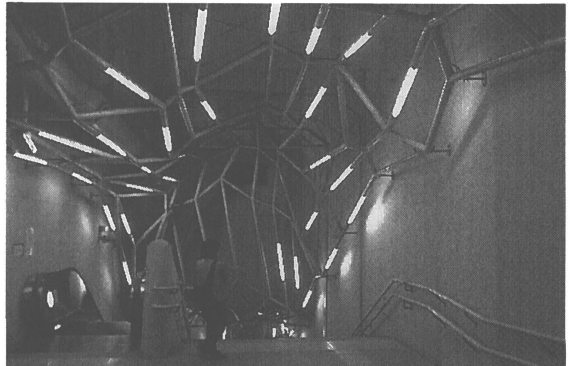


Photo-21 ウェブフレーム

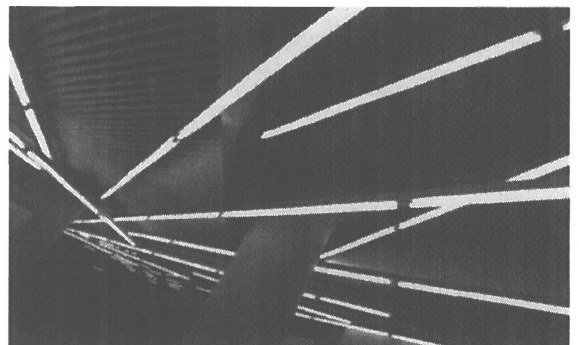


Photo-22 コンコース\*

注-1:複雑系

多くの要素からなり、部分が全体に、全体が部分に影響しあって複雑に振る舞う系。それぞれの要素からは予測できない特性が出現したり、微細な変化が系全体の激動をひき起こしたりする。従来の要素還元による分析では捉えることが困難な生命・気象・経済などの現象に見られる。高精度の測定技術、カオス、フラクタルなどの新概念の導入、コンピューターの活用などによって新しい研究対象になりつつある。

注-2:ウェブフレームの設計

ウェブフレームの設計については、渡辺誠氏の下記著作に詳しい。

### 参考資料

- 1)渡辺誠:建築は、柔らかい科学に近づく、建築資料研究社、
- 2)菊川工業(株) 本プロジェクト資料、3DCAD 施工写真 他



## **Design and Construction of Web-Frame using Computer Program Method**

**Shougo NAKAYAMA**

### **Abstract**

The construction of the Iidabashi station on the Oedo Subway Line consisted of finishing work for a station with a total length of 376.5 m and an excavation depth (at the deepest point) of 38.0 m below ground. Combining the applied expertise of civil engineers with computer design, this project received a number of prizes, including the Architectural Institute of Japan Prize in 2002. This report summarizes the planning and execution of the web-frame as an example of computer-assisted design.

**Keywords :** subway, web-frame, 3D-CAD

---