

# 鉄道下土木BOX構造物 設計製図システム

全日本コンサルタント(株) 正員 藤村 守  
全日本コンサルタント(株) 正員 ○奥平 敬  
近畿日本鉄道(株) 正員 後久 義昭

## 1. はじめに

設計は、図面を成果の表現や情報伝達のツールとして進める創作作業である。そこでは設計者の経験的ノウハウが大きくモノをいうが、規格化された図面をベースとして設計作業が成り立っているのも事実である。従来のほとんどの汎用CADシステムは、この図面をデータモデルとして扱っており、高級ドラフティングシステムの域を出なかった。したがって、設計対象固有のモデリングや解析・検証の機能については個別にアプリケーションシステムとして開発せざるを得ず、これと汎用CADシステムとを連携させる方法をとっていた。著者らが開発した土木用骨組RC構造物CADシステム（以下、RCCADという）はこの方式の典型であり、設計工程のほとんどをカバーする完成度の高い専用CADシステムであるが、多大な開発コストと時間を要し、かつ今後のメンテナンスに課題を残している。

CADの最近の動向は、図面そのものをモデル化する方式から、設計工程全般あるいは製造工程をも包含して扱うことの出来るプロダクトモデルと呼ばれるデータベースを用いる方式のCADシステムが顕著になりつつあることである。これは、すべての自然物体を表現しようとする3次元形状モデリングなどの形状表現と、製品を属性そのもので表現しようとするフィーチャーモデルで代表される属性表現の両面で研究開発が進んでいる。これらの動きの中で実用システムとして普及してきているのが、カスタマイズ機能を備えたパラメトリックCADである。

著者らが開発した電線路支持物CADシステムは汎用のパラメトリックCAD（CADFORM）をカスタマイズし、専用CADシステム並の機能を持たせたものである。このケースでは構造物がもともと標準的な要素部品で構成されていたので、パラメトリックCADの特徴を生かしてモデル化、製図、解析、積算の機能を有するトータルシステムとして構築することができた。本稿では、このパラメトリックCADシステムを、トポロジーが不変の要素部品の組合せで構成することの困難な、土木RC構造物を対象とするCADシステムに適用した例を報告する。

対象モデルは、鉄道下を横断する、地下駅舎および通路を有する1層で最大4径間の箱型（BOX）構造物である。駅舎、通路、階段などの要素にわけパラメトリックモデルとして表現し、これに解析、検証、積算などに必要な属性を持たせることとした。

鉄道下横断構造物の設計業務は、今後も増加傾向にあり、申請および設計においては、いずれも期間が短い上に種々の変更が多く設計作業が非常に頻雑で、発注者、設計者とも多くの負担をかかえていた。このため、設計業務をシステム化し、作業を簡略化することが急がれていた。

一方、RC-BOX構造物は、一般のRC構造物にくらべ設計方法が簡素化されており、設計手順を個々に分析・整理し、汎用パラメトリックCADを用いれば計算過程をシステム化することは、比較的容易であり、短い開発期間で充分効果のあるシステムを構築することが期待できる。

## 2. システム概要

### 2-1 対象構造物

本システムの対象モデルは、鉄道下を横断する地下通路（歩道または車歩道）および地下駅舎からなるRC箱型構造物であり、構造形式は1層最大4径間の壁構造とした。

設計計算方式は、近鉄構造物設計要領に準拠しており、特に荷重計算においては同要領に特化した専用の機能を備えているが、他社の要領への対応は容易である。

## 2-2 ハードウェア構成

本システムで使用するハードウェア構成を図-1に示す。システム開発と運用のシステム環境は同一である。ホストコンピュータは、EWS（エンジニアリングワークステーション）VAX-Station4000を使用した。設計担当者は、EWSを会話型で直接操作し、入力データ、計算結果をEWSのスクリーンで確認、照査しながら設計を進める。また、静電プロッタより図面を、レーザープリンタよりA4版の計算書をそれぞれ出力する。

## 2-3 情報関連図

本システムの情報関連図を図-2に示す。データベースの内容は、以下の通りとなっている。

### ① 標準図形DB

対象構造物をトポロジーの不変な構造要素に分解しパラメトリックモデルとして標準図形DBに登録する。各構造要素の平面図と複数の断面図および数量計算式で1組の標準図形を構成する。

### ② 一般図DB

実際の工事に使用する設計データモデルを扱うデータベースを一般図DBと称し以下に示す階層構造を持つ。

工事名称  
 構造図名称（属性を含む）  
 標準図形（平面図）  
 標準図形（断面図）

### ③ 設計計算DB

荷重計算、応力解析・合成、断面設計の設計条件および各設計計算過程で得られる結果を設計計算DBに登録する。1つの断面図につき1組の設計計算データが対応する。

### ④ 配筋図DB

主筋組立図、配筋図、加工図、加工表を登録するデータベースである。1組の設計計算データにつき1つの配筋図データが対応する。

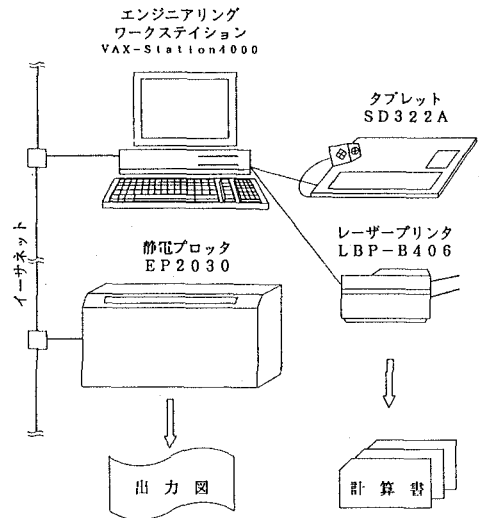


図-1 ハードウェア構成

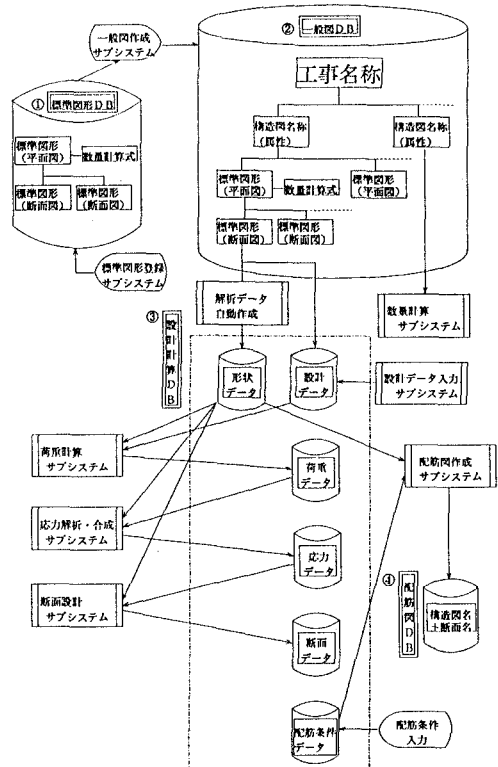


図-2 情報関連図

### 3. 処理手順

本システムの全体処理フローを図-3に示す。

各サブシステムは、それぞれ独立したシステムで、データは全てファイルを介し、受渡する。

各サブシステムの基本機能を以下に示す。

#### 3-1 標準図形登録サブシステム

一般図作成に必要な部品要素としての平面図、断面図および数量計算式の登録を会話型で行い、これらの関連付けを行って、標準図形DBに登録する。

標準図形とは、平面図と複数の断面図で構成し、一般図の部品図形として使用する。標準図形の例を図-4に示す。

標準図の名称は、最大8文字まで設定可能で、その意味を図-5に示す。

#### 3-2 一般図作成サブシステム

登録済の標準図形を組合わせて、平面図、横断面図、縦断面図を会話型で作成し、一般図DBに登録する。一般図は、標準図形を配置し、パラメータの値を決定することによって作成する。このとき寸法値入力、図面装飾等の作業はCADF-

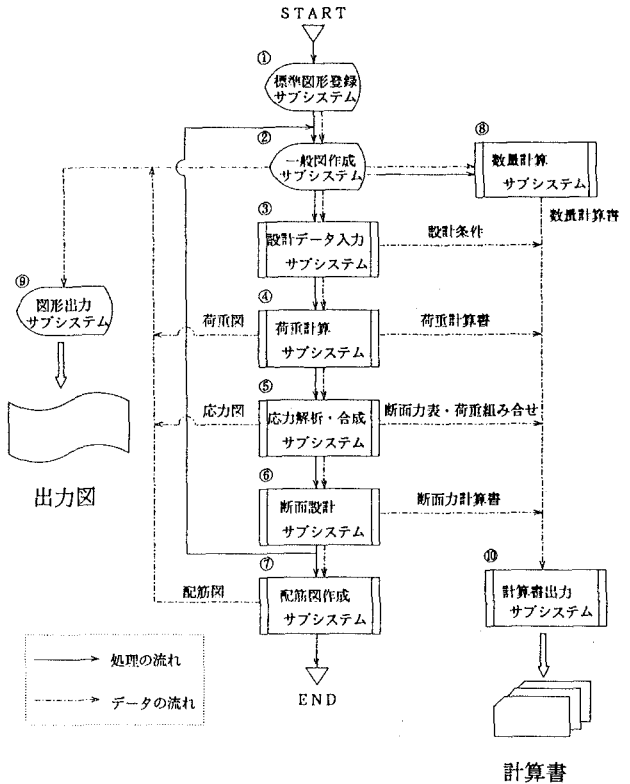


図-3 システム処理フロー

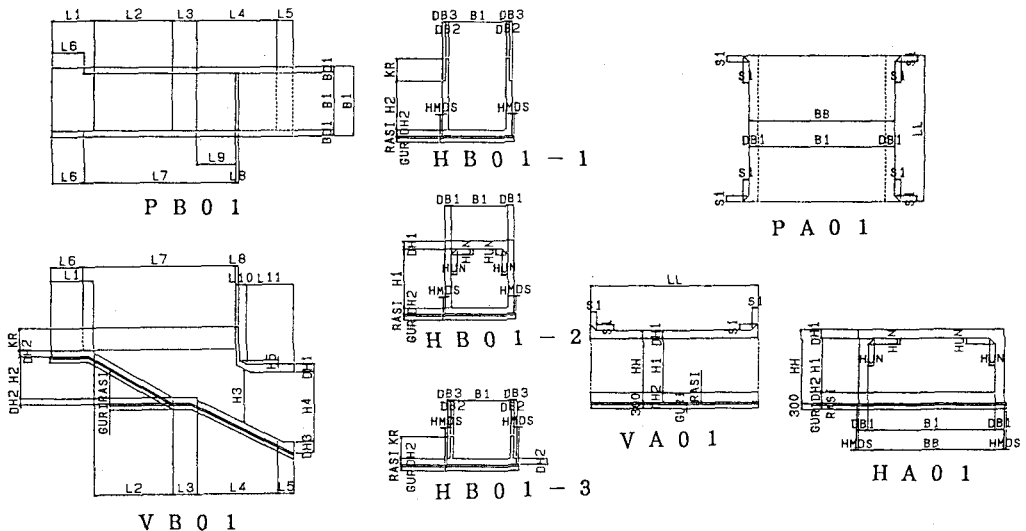


図-4 標準図形

ORMの機能を利用する。また、土質データを入力し、土質柱状図を自動的に作成する。以下に手順を示す。

- ① 工事名、構造図名および属性入力
- ② 平面図の作成
- ③ 断面図の作成
- ④ 土質条件入力および土質柱状図配置
- ⑤ 図面枠および標題の配置
- ⑥ RL、FLおよび標高の表示
- ⑦ 位置図の作成
- ⑧ 図面の修正
- ⑨ 図面出力

一般図の出力例を図-6(a)(b)に示す。

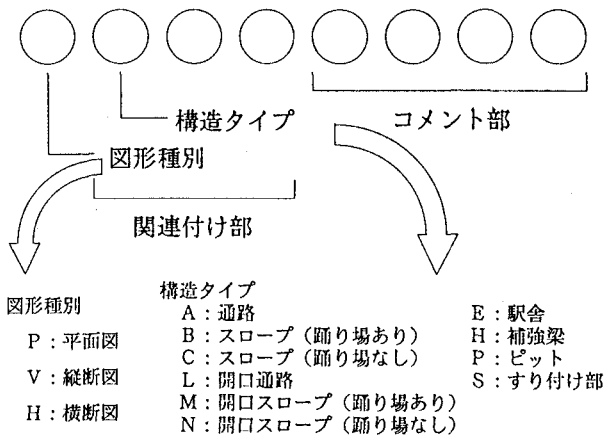


図-5 標準図形の名称定義

### 3-3 設計データ入力サブシステム

設計条件、荷重条件、土被りデータ、軌道構造、設計断面位置等以下のサブシステムに必要となる共通データを会話型で入力する。また、一般図データから応力解析で使用するスケルトン、断面および着目点位置データを生成する。これらのデータは、設計計算DBに登録する。以下に手順を示す。

- ① 設計断面の指示
- ② 解析スケルトンの生成
- ③ 着目点の生成
- ④ 設計条件の入力

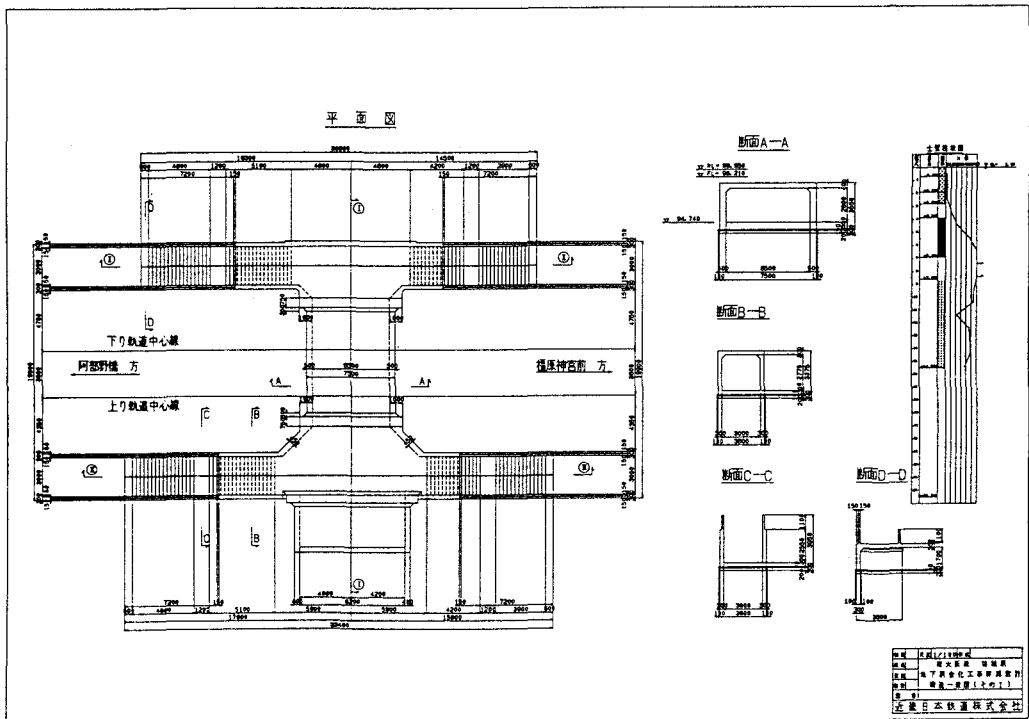


図-6(a) 構造一般図

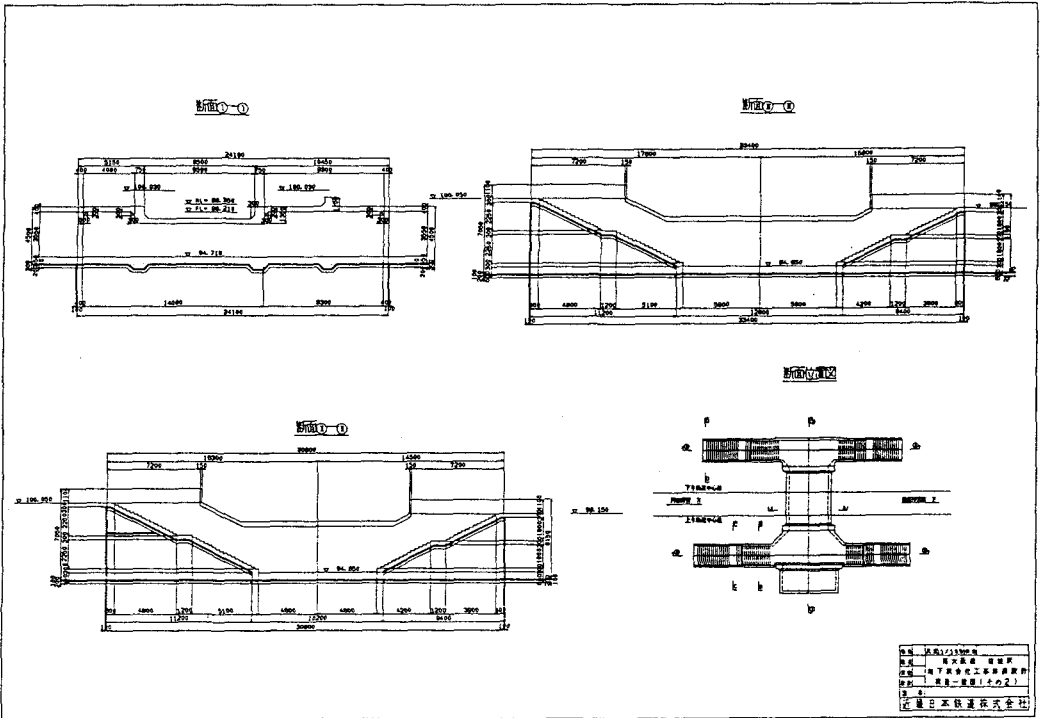


図 - 6 ( b ) 構造一般図

### 3-4 荷重計算サブシステム

形状寸法、設計条件、軌道構造、土被りおよび土質データから、自重、列車荷重、上載荷重、土圧および列車側圧を自動計算し、設計計算DBに登録する。計算項目は、以下の通り。

- ① 死荷重
- ② 鉛直土圧
- ③ 水平土圧+水圧
- ④ 水平土圧の70%+水圧
- ⑤ 列車荷重(曲げモーメント算出用)
- ⑥ 列車荷重(せん断力算出用)
- ⑦ 列車側圧

### 3-5 応力解析および合成サブシステム

荷重計算結果を用いて、変位法による解析と荷重組合せに基づいた断面力の合成を自動的に行い、結果を設計計算DBに登録する。

### 3-6 断面設計サブシステム

スケルトン、断面データおよび解析で得られた断面力を用いて、曲げ応力度、せん断応力度、疲労およびひび割れの検討、斜引張鉄筋の計算および抵抗モーメントの計算を会話型で行い、結果を設計計算DBに登録する。

### 3-7 配筋図作成サブシステム

断面設計で得られた主筋情報に配力筋、鉄筋のラップ位置および定着長等のデータを加え、これらのデータから配筋図、鉄筋加工図および加工表データを自動的に作成し、配筋図DBに登録する。以下に作成手順を示す。

① 配筋条件入力

以下の項目について入力を行う。

- 配筋筋の斜め配筋の指示
- 配筋筋およびスターラップの入力
- 隅角部鉄筋の曲げ半径、曲げ長さの入力
- 鉄筋の継手位置の入力
- 継手長の入力
- 端部定着長、隅角部の配筋筋およびスターラップの入力
- 配筋図の紙サイズ、縮尺の指定

② 配筋図の生成

生成する図面の種類は以下の通り。

- 主筋組立図
- 床版および壁の配筋図
- 鉄筋加工図
- 鉄筋表

③ 図面出力

主筋組立図、配筋図、鉄筋加工表、鉄筋表を出力する。出力例を図-7に示す。

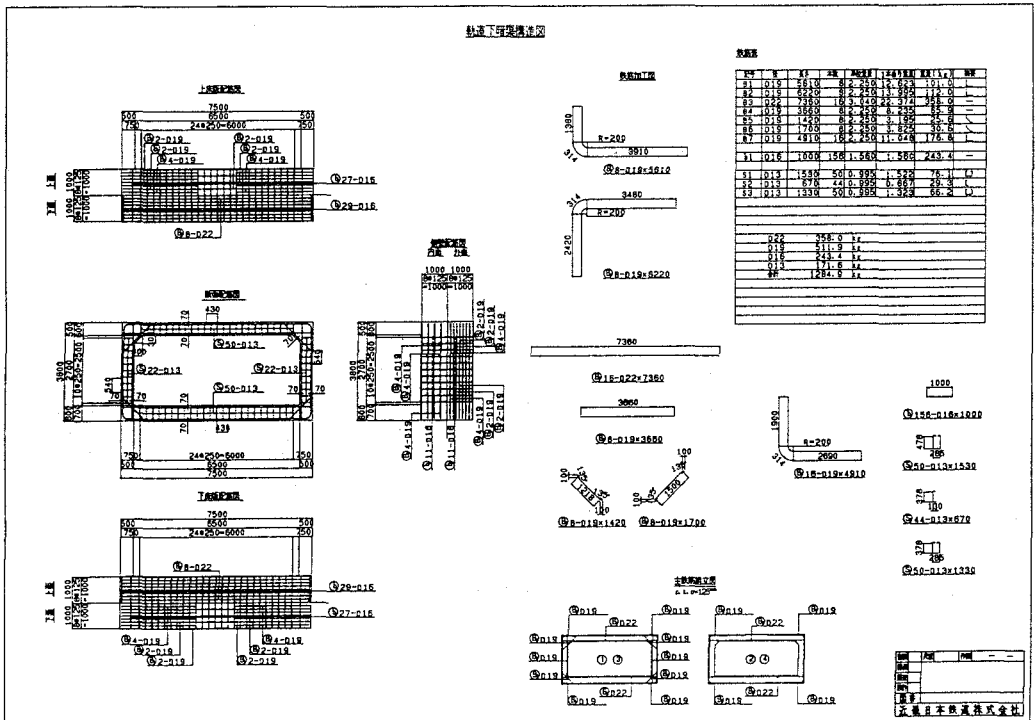


図-7 配筋図

3-8 数量計算サブシステム

一般寸法図のデータを基にコンクリート体積、型枠面積、均しコンクリートおよび栗石体積を数量計算式により、自動的に算出する。

数量計算は、構造物のパターンごとに計算式を用意しなければ処理できない。しかし、今回のBOX構

造物の形状は、パターンが多く、形状ごとに計算式をプログラムに組み込むことは大変な労力を要する。したがって、計算式を簡単に追加出来る機能が必要となる。

そこで、以下の手順で数量計算を行うこととした。

- ① 標準図ごとに計算式を標準図形のパラメータ名を用いたFORTRAN算術式で登録する。
- ② 一般図の標準図形名をもとに、計算式を取り出し、式内の変数に対応する数値と組み合わせ、ソースプログラムを作成する。
- ③ ②で作成したソースプログラムをFORTRANコンパイル、リンク、および実行を行い、数量計算を行う。
- ④ この計算結果と図形データより、数量計算書を作成する。

### 3-9 図面出力サブシステム

各サブシステムで得られた結果を用いて、以下の図面をA1版で出力する。

- 一般図作成サブシステム …… 一般寸法図
- 荷重計算サブシステム …… 荷重図
- 応力解析・合成サブシステム …… 応力図、応力度表
- 配筋図作成サブシステム …… 配筋図、加工図、加工表、組立図

### 3-10 計算書出力サブシステム

荷重計算サブシステムおよび断面設計サブシステムで計算された結果をA4版の書式で出力する。

## 4. 汎用パラメトリックCADシステム

本システムは、パラメトリックタイプの汎用図形処理システムCADFORM（神戸ソフトウェア㈱製）をベースとし、このカスタマイズ機能を使用して専用のアプリケーション機能を開発した。CADFORMを採用した理由は以下の通りである。

- ① 本システム構築にあたって有効な作図機能、パラメトリック図形処理およびダイナミックディメンジョン機能（寸法線の値を変更することで図形を寸法値どうりの形に変化させる機能）を有しており、システム開発の効率化を図ることができる。
- ② RCCADの図形処理サブシステム、電路CADシステムで既に採用しているため、オペレーションが統一できる。

本システムでは、標準図形の作成、一般図の作成、出力、荷重図、応力図および配筋図の出力においてCADFORMの機能を使用している。

## 5. あとがき

一般に土木設計は、特にRC構造物を対象とした場合、自然環境その他の影響を受け易いため標準化が難しい。これは、汎用CADシステムを用いてシステム化する場合の大きな阻害要因となる。

最近、より柔軟な構造モデルを取り扱うことのできるプロダクトモデラータイプのCADシステムが現れ、汎用CADシステムも少しは期待が持てるようになってきた。本稿で述べたRC-BOX構造物CADシステムは、汎用CADとしてパラメトリックタイプのCADである「CADFORM」を用いたが、これはプロダクトモデラーを指向する初期のシステムともいうべきものである。ユーザー側からは、属性表現機能はもちろん、カスタマイズの機能面でもまだまだ不十分という評価をせざるを得ないが、従来の汎用CADシステム開発のアプローチ方法に比べ今回は、開発工期を大幅に削減でき、また、下記のような特徴を持つシステムを開発することができた。

- ① 一般寸法図は、あらかじめ登録した標準図形の組合せで作成するため、オペレーション操作によりどんな形状でも作成できる。
- ② 一般図作成後、指示した断面位置で、荷重計算、応力解析および断面設計が自動計算できるので、一般図を作る段階で全ての部材厚のチェックが可能である。
- ③ 土質柱状図が土質データを数値入力するだけで簡単に作成できる。
- ④ 数量計算の算出式を標準図形単位にオペレーションで登録する機能を実現できたので、プログラムの変更、修正なしに、随時発生する任意形状の数量計算機能を組み込むことができる。
- ⑤ 変更設計および類似設計は、寸法値の変更のみ行えばよい。
- ⑥ 出力する設計計算書および図面は、成果品として提出できる体裁を整えている。

また、現状での課題は次の通りである。

- ① 標準図形の登録は、形状と寸法線および寸法値を同時に行う。このとき、複雑な形状になればなるほど、寸法線の自己矛盾がおこり易くなり、登録に多大な時間を要するケースが多々ある。これを改善する方法としては、登録する標準図について作業効率が上がる範囲、形状を模索する必要がある。
- ② 地下駅舎の平面図に排出ピットを付け加えるという簡単な作業では、ピットの図形登録を行ってから、平面図および断面図にピットを加える作業となるため、変更に多くの時間がかかる。これについては、ピット付きの図形登録を行う方法が有効と考えられる。
- ③ 階段等の高さに変化する図形を組み合わせていく場合、現状はオペレーションで位置合わせを行っているためかなりの処理時間がかかっている。これについては、高さ合わせの機能をシステムとして追加し、効率を上げる必要がある。

本システムは、平成3年度中に基本システムの開発を完了し、次年度からは業務への適用を図り、そこからフィードバックされる問題点を解決する形でレベルアップを図っていく所存である。

#### 参 考 文 献

- 1) 中島、堤、佐藤、後久；コンピュータグラフィックスを利用した土木用骨組みRC構造物の自動設計製図システム 近鉄技報 Vol. 17 (1986)
- 2) 中島、堤、後久；コンピュータグラフィックスを利用した土木用骨組みRC構造物の自動設計製図システム(第2報) 近鉄技報 Vol. 18 (1987)
- 3) 中島、有司、後久；コンピュータグラフィックスを利用した土木用骨組みRC構造物の自動設計製図システム(第3報) 近鉄技報 Vol. 19 (1988)
- 4) 中島、有司、後久；コンピュータグラフィックスを利用した土木用骨組みRC構造物の自動設計製図システム(第4報) 近鉄技報 Vol. 20 (1989)
- 5) 藤村、杉村、中島、後久；コンピュータグラフィックスを利用した土木用骨組みRC構造物の自動設計製図システム(第5報) 近鉄技報 Vol. 21 (1990)
- 6) 山田、東野、古谷、後久；電線路支持物設計製図システム 近鉄技報 Vol. 22 (1991)
- 7) 近畿日本鉄道；構造物設計要領 昭和63年2月
- 8) 土木学会；国鉄建造物設計標準解説 昭和58年5月