新しい橋梁CADシステム“CADAMS”の開発

㈱横河技術情報　○正員　深谷俊恒
正員　花村義久

1. はじめに

橋梁業界では、ここ十数年間コンピュータとNC機器を用いた自動化システムの開発が行われ、現在では社会的な評価を得、定着している。しかし、その利用の拡大と社会状況の変化により、従来のシステムに新たな要求と問題が生じつつある。幸い、コンピュータと周辺機器の高性能化と低価格化、コンピュータ・グラフィックスやデータ・コミュニケーションの発達により、橋梁においてもCAD/CAMの実用化の可能性が生まれた。そこで、我々橋梁分野においても新しい時代の要請に応えるシステムの再構築が行われ出した。

ここでは、筆者らのところで現在開発を進めている新たなシステムのなかで特に自動製図の部分について考え方と概要について述べてみたい。

2. 従来のシステムの問題点と新たなシステムの必要性

2.1 従来のシステムの問題点

橋梁の従来型システム（一括処理型システム）は、確かに、ある限定された適用構造の中で威力を発揮してきたが、次のような問題点も指摘されるようになってきた。

① 適用できる処理範囲が狭く限定されており、機能を拡大するには多大な投資を必要とする。

② システムが柔軟性に乏しく、橋梁設計のオーダーメード的な部分に多くの付随作業が発生している。

③ 設計作業者が触れられるのは、入力と出力結果の部分だけであり、処理過程の段階には介入できない。

④ 設計作業は、本来、自由な発想に基いた、創造性豊かな能力を養いながら行う作業であった。従来型のシステムを利用した設計作業が、このようなことをすべて満しているとは言い難い。

⑤ 原寸システムへ送られるデータは、製図システムで一括して作られるが、図面の修正には対応できず、原寸以降のシステム運用効率面で問題を有していた。

2.2 新しいシステムの必要性

今後のシステムは、これらの問題点を解決し、汎用性と柔軟性を有し、かつ、より効率的な運用と保守のできるものであることが必要である。

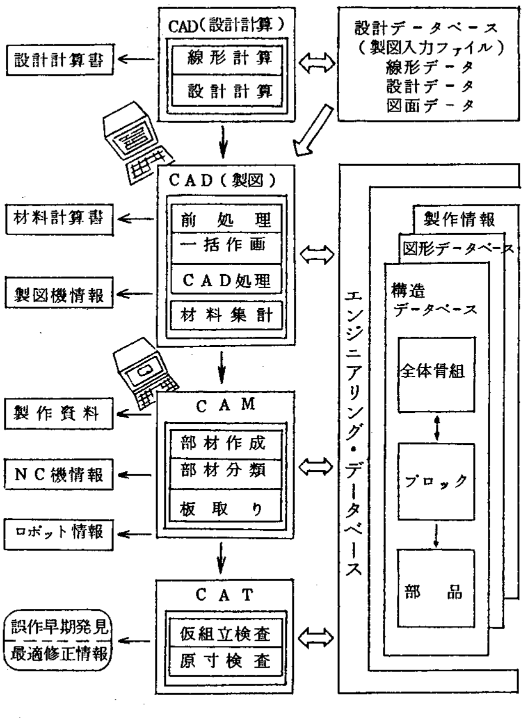
これらを実現するために、次のような新たなシステムの構築をすることにした。

① 人間（マン）と機械（マシン）が一体となったシステムを確立する。

② 設計・製作・検査を一貫したものとしてとらえる統合システムを構築する。

③ これらを実現するためのデータベースの確立をする。

図－1は、橋梁のCAD、CAM、CATの統合システム



図－1　新しい橋梁の統合システム構想

を示したものである。CADの製図部分は設計計算や線形計算によって算出される値を入力データとしてエンジニアリング・データベースを構築しながら製図を完成させて行くものである。CAMは部材の製作を効率的に、しかも、床原寸で行っているあらゆるものに対応できるようにし、また板取りなどのシステムも組み入れたものである。CATは、製作された部材を測定し、これらを完成状態に対するシミュレーションを行ないながら、製作の出来上り具合を検証するものである。

ここで、システムを効率的にするにはCADとCAMのより一層の近密な連係が必要であり、かつ、CAMを充実し、NC機やロボットを組み込むことにより、従来の製作の前処工程の自動化に加えて、後処理工程が自動化され、本格的な省力化が実現される。さらに、CATを加えることにより、橋梁製作の自動化システムが統合化され、省力効果は一層大きくなる。これら新しい橋梁製作のシステム構想の中で、最近完成したCADによる製図システムを中心に以下述べることにする。

3. 橋梁用エンジニアリング・データベースの構築

現在実用されているCADシステムは、ほとんどが図面を作成するためのシステムである。しかし、図面そのものは人間が情報を伝達するための表現形式であって、これだけでは計算機は単なる点や線の集合体としてしか認識ができない。したがって、設計・製作・検査を一貫としたものとしてとらえた統合システムを作り上げるには、計算機が図面の意味を理解する必要があり、図面の内容と同等の情報を計算機内部に作りあげねばならない。図面を作成するだけのシステムとは根本的な違いがここにある。

このため、図面と等価な情報をもつデータベースを内部モデルとして作成する、本格的な橋梁専用のCADシステムを目指すことにした。しかし、データベースといっても、現在のビジネス分野のデータの性格を基本としているデータベース・マネジメントシステム（DBMS）の考え方を利用するには、対象の記述、表現などにおいて、大分異なる面が出てくる。そこで、橋梁専用のエンジニアリング・データベースを次の事項に留意し、移植性の高いFORTRANで独自に構築することにした。

- グラフィックディスプレーに対するインタラクティブな処理では、部材単位での修正が頻繁に行われる。部材の幅、長さ、親部材の名前、位置などデータの中味が複雑多様で、しかもその処理が定型的でないことが多い。すなわち、製図が完成して行く中で、データの論理的整合性がとれている必要がある。
- 橋梁の製図は、主桁、対傾構など、ある構造単位で表現される。橋梁は軸方向が極端に長い構造物であるため、主桁などでは一つの構造であっても、多くの図面枚数を必要とする。これらの図面間で矛盾が無いことが要求される。
- 図面上では同様のものでも、縦断勾配や横断勾配、キャンバーなどが異なれば、製作情報も当然異ってくる。また、図面では全て表現されなくても垂直補剛材が必要とするスカーラップなどの加工情報は暗に設けられているなど、設計の図面だけでは表示があいまいなものに対しても、製作情報として、内部モデルは、しっかりした情報を備えていることが要求される。
- 内部モデルの情報が迅速にとらえられるように、基本的な検索用の情報をメインメモリーに常駐できるような構造にしておく必要がある。

4. 一括作画処理とCAD処理の考え方

CAD システムにおいて、入力部の効率化は、運用面での成功するための重要なポイントの一つである。特に、機械分野の金型のような大量生産型の図面と違って、多品種少量生産型の橋梁の図面の付加価値はかなり低い。すなわち、グラフィックディスプレーに向って図面を作りあげるのが、白紙に近い状態からでは、橋梁においてはなおさら実状にそぐわない。定型化されている所は、初期入力のためのモデリング用入力ジェネレーターとして、バッチ処理を充実しておくことが、実際の運用面で相当重要となってくる。

このため、バッチ処理による図面の完成度は、従来システムと同等の完成度をもつことにし、CAD処理は、このモデリングのジェネレートが終った後、バッチ処理では不適当な非定型部分に対しての処理を行うことをシステムの基本とした。

5. ファイルシステムの構成

5.1　ファイルの概要

本システムのファイルの関係の大要を図－2に示すが、それぞれのファイルの内容は以下のようである。

- 入力データファイル

  線形、設計、添接の各データからできており、通常の場合、主として自動設計計算システムから受渡される。

- 構造データベース

  全体骨組、ブロック、部品などのスキーマから成り立っているが、このデータベースで橋梁の構造はほとんど表わすことができる。

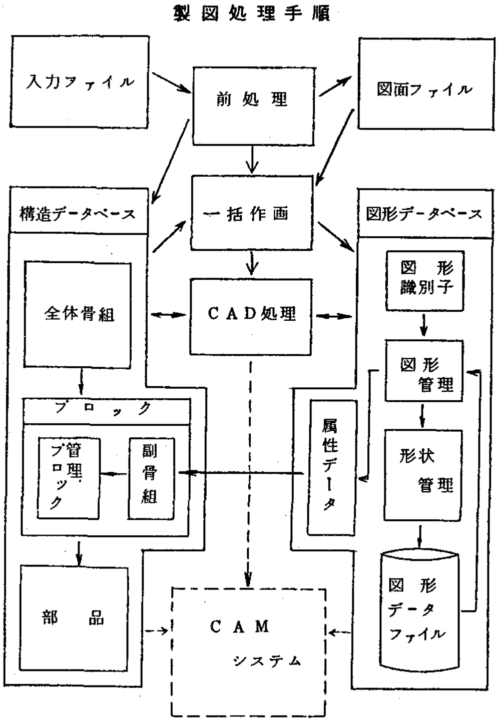
- 図面データファイル

  描画ブロックや描画範囲、図面の配置など、全体座標から図面座標への変換データが格納される。

- 図形データベース

  汎用図化システム（SSCGSP）に用意されているもので、幾何図形を表現するために必要な始点や終点の座標、文字の大きさや座標、ペン種、線質などの情報が蓄えられ、これが16の面の階層になって部材単位（図形識別子）で蓄えられる。また、属性データファイルが、ここに用意され、構造データベースを検索できるようにブロックNo.副骨組コード、部品順位などをアプリケーションサイドで図形データと対応して属性データファイルに出力し、リンク関係を保てるようにしてある。

このうち、入力ファイルの内容と構造データベースの詳細は、次項で述べることにする。



図－2　製図システム 全体ファイル概要

5.2　入力データファイル

入力データは大きく分けて、線形、設計、添接の3種類のデータが必要となる。

① 線形データ

構造物の骨組を作成するために、桁数や格点座標などの骨組設計データ、横断線番号や格点コードなどの部材定義データ、および設計データに登録されている部材断面番号との対応付けのための使用部材データなどが主なものである。

② 設計データ

設計データは、一括作画用の配置に必要な図面データと、設計断面などを蓄える設計計算データで構成される。

図面データには、図面サイズ、スケール、描画タイプ、スクリーン位置などの指定、表形式の場合の描画構造の指定などがある。

設計計算データには、主桁、横桁、対傾構、横桁、縦桁など構造種類ごとの断面形状、材質、加工、添接種類番号などがある。

③ 添接データ

構造種類ごとにゲージ、ピッチによるボルト配置、板厚・板幅などの添接板データ、およびボルトの径などの情報などが主なものとして登録できるようにしてある。

5.3 構造データベース

(1) 概要

これは、本システムの中心となるエンジニアリングデータベースであり、単品部材やブロックとして構成される橋梁構造物を整合性をもって構築できるようにしたものである。このデータベースは大きく分けて、全体骨組データ、ブロックデータ、部品データという三つのファイル群から構成されている。（図−3参照）

全体骨組は、主として入力データファイルの骨組データから構築され、基本的な骨組の情報群である。これは、主として三次元座標値の格点データとこれらを管理する全体骨組管理データから構成されている。

ブロックデータファイルは、全体骨組をブロック単位（主桁は添接間、横桁などは一台分）に分割し、それぞれのブロック内でさらに詳細な骨組にしたものである。

部品データはブロックデータによって詳細の骨組が構築された後、これに取付く部材、または部材間の関係を定義するデータ群から構成される。部材の形状を表すには、部材ごとに切欠きや孔明などのデータが必要であるが、これはサブファイルとして部品データに関係付けられている。

以上のような形で橋梁構造物はモデリンクされるが、各構造または部材単位で、設計上同一のものとみなされるものが発生する。これに対して、全体骨組、ブロック、部品の各情報を横断的なスキーマの単位で、相互が同一であるとするファイル（同種ファイル）が用意されている。

(2) 全体骨組ファイル

これは、全体骨組管理データファイルと基本骨組座標データファイル、および構造別ごとに同一とみなすかどうかの全体骨組同種データファイルから構成されている。

① 全体骨組管理データファイル

これは表−1に示す構造に分離して基本座標を管理できるようにし、点の管理は各構造（例えば主桁と対傾構）が同一の基本点を共有できるように点座標をリンクしあう形をとっている。

② 基本骨組座標データ

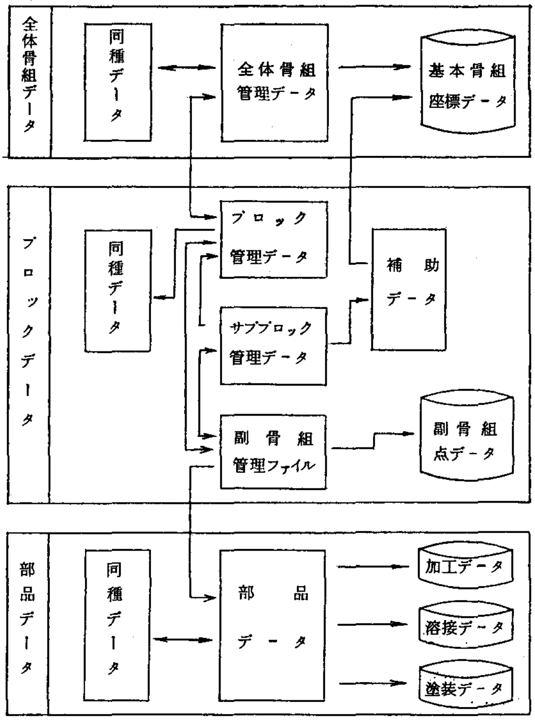
これは、主桁であれば、ウェブの上、下端の3次元座標を基本点として持つようになっている。すなわち、同一ウェブにおいて、上、下端が異なる座標（例えば梯形箱桁）にもファイル上は対応できるようになっている。また、これには、曲線桁であっても製図上は直線で描くことができるための座標や製作キャンバー値（共に三次元座標値）も持ち合わせている。

③ 同種データファイル

例えば、両外桁が同一であれば、このファイルに管理データファイルがリンクする構造になっており、主桁の桁ごとなど各構造単位で同一構造を検索できる。

(3) ブロックファイル

ブロックファイルの単位は、主桁の添接区間や対傾構一台分などである。例えば箱桁の主桁のようなものは、さらに上、下フランジ、左・右ウェブの単位に分けて管理した方が都合が良いため、ブロックデータの子供としてブロックサブデータを設けることにした。これらの基本座標は全体骨組に格納されてい



図−3 構造データベース ファイル構造

るが、対傾構などでは、この値を基本にして実際の値を求める必要がある。この実際的な骨組を基本の骨組に対して副骨組と名付けている。副骨組の作り方は、各ブロックごとの構造でかなり異なっているため（例えば、箱桁フランジと対傾構）、それぞれ構造に応じた作成手順のタイプをファイル内に用意している（補助データ）

主　桁
縦　桁
側　縦　桁
横　桁
対　傾　構
ブラケット
ダイヤフラム
横　リ　ブ
横　構
主　桁　添　接
格点（ガセット取付用）

表－1　全体骨組の構造種類

① ブロック管理データ

これと、全体骨組とはお互いにリンク関係にあり、さらに該当ブロックの前後および接続されているすべてのブロックとも互いにリンク関係を保つようになっている。また、これはブロックサブデータと連結されている。すなわち、ここではブロックとして必要な管理情報が全て格納されている。

② サブブロック管理データ

部品データを管理するためには、ブロックをさらに分割する必要がある。この箱桁フランジなどを形成するためには、骨組が必要であり（副骨組）、これに対応する補助ファイルや取付く部材のデータなどをここで管理する。

③ 副骨組管理ファイル

ブロックサブファイル（すなわちブロック）から補助データと対応して関連付けされているもので、主として副骨組を形成する点データの管理を行う。CADシステムは属性ファイルとこの副骨組管理ファイルを介することによって、構造データベースと図形データベースが関係付けされる。

④ 補助データ

副骨組の作成方法を示すファイルである。具体的には、主桁、対傾構、補剛材などを作成するための手順を示す専用のタイプが10種類程（表－2参照）設けられており、CAD処理で副骨組を基本骨組から再構築する場合、これを参照する。

平　行　移　動
比による作成
横断方向タイプ1
横断方向タイプ2
鉛直方向タイプ1
鉛直方向タイプ2
弦　材　用
斜　材　用
点　作　成
ソールプレート用

表－2　補助データ専用タイプ

⑤ 副骨組点データ

ブロック単位にかみくだいた詳細な骨組の構造を示す3次元の座標値である。これは、全体骨組と同様に、曲線部材を直線で描くための座標を実座標と対で持てるようにしてある。

⑥ ブロック同種ファイル

例えば、対傾構などタイプが同一で表形式で示すことが可能なものなどは、サブブロック管理データファイルとこのファイルを関連付けることによって、同形式であることが判断できるようにしたファイルである。

(4) 部品データ

材料や位置の情報など、部材に関する固有の情報をもつ部品データと、このファイルにリンクする形で、部材一品ごとの形状を示す加工データや溶接、塗装の情報をもったファイル群、および部品同種データより構成される。これらは、サブブロック管理データに管理される形をとっている。

① 部品データ

単品部材の幅、厚さ、材質、ネット率など、部材の材料情報の他、骨組の始点と部材始点との距離や骨組線と板厚基準面との距離など、骨組に対する位置付け情報が用意されている。このファイルは、加工などのデータを管理することと、データそのものを扱う両方の性格を有している。

② 加工データ

スカーラップ、マンホール、テーパーによるカットなど、必要な加工情報が、単品部材ごとに関連

付けられ、部材に対する形状パラメーターの役目をしている。

③ 溶接データ

溶接数、タイプ、サイズ、長さなどが単品ごとに用意される。

④ 塗装データ

工場塗装、現場塗装の別、各面の面積、ネット率が部品データと関連付けられる。

⑤ 同種データ

ブロックの同種データと同様であり、部品単位で同一であるかどうかの判断に使用する。

6. 処理システムの構成

6.1 処理システムの概要

このシステムは、図－4に示すように大きく分けて、前処理、一括作画処理、ＣＡＤ処理の三システムに分けられる。

前処理は入力ファイル群からデータを採り入れ、ここで種々のデータの内成化を行い、構造ファイルと図面の配置や枚数を指示する図面のファイルへ出力するもので、プログラムの量的割合はかなり多い。

一括作画処理は前処理で格納した構造ファイルや図面ファイルを入力し、図面に図化するためのデータを出力する。

ＣＡＤ処理は、一括作画処理で出力したものに対して、修正、追加、編集を行うものである。

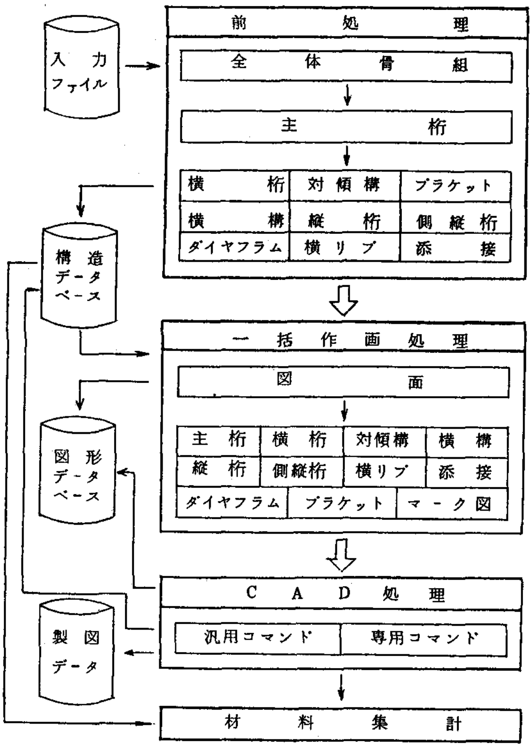
6.2 前処理

(1) 構造データベースの作成

これは、構造データベースを主桁など各構造ごとに上流から下流に向って作成して行くものであるが、主な手順は次のようである。

- 主要点より、構造の基本となる骨組を作成する。
- ブロックごとに構成される部材を作成する。
- 各部材が取付く骨組を作成する。
- 骨組に部品が取付いている状態を表現する。
- 同種のブロックや部品を結び付ける。

このようにして、構造データベースに対して、材料ファイルへの出力や、単体部材や一括して作画するための必要なパラメータが、構造物として矛盾ない形で出力される。なお、構造ごとの手順は、構造データベースの枠組を決定するため、主桁を処理することが優先され、他のプログラムの優先順位は同一である。



図－4 システムの処理手順

(2) 図面ファイルの作成

橋梁構造物は軸方向がかなり長いため、主桁などは一枚の図面に納めることはできない。これらを計算した値やフランジやウェブとのバランス、表で表現する場合の位置などを、ここで計算して図面ファイルに出力する。

6.3 一括作画処理

ここは、部材または材料や寸法を適当な位置に描画し、さらにこれらと構造データベースを関連づけるため属性データファイルへ出力する。

橋梁の図面を描く場合、独自に作りあげたファイルに対する入出力はもちろんであるが、図形を表現す

る方法にも一定のパターンがある。このパターンを開発前に綿密に分析し、すでに社内で開発されていた図化ルーチンパッケージ（SSCGSP）をベースにした橋梁図面専用の共通図化ルーチンを作り、各プログラムはこれを呼び出す形をとることにし、システムのモジール化によって開発の効率やシステムの保守のし易さをねらった。

また、図面は製作する過程で種々な用途に使われる。本システムでは図形データベースのデータ構造を層として１６画面まで扱えるようにし、表－３に示すように各構造ごとの、それぞれに必要と思われる単位で分離して、図化データを出力するようにしてある。これらを全て組み合せれば、いわゆる通常の図面となるが、工作図など部分的なものだけで良い場合には、必要な画面を組み合せることによって、好みの作図ができるようにしてある。

面No.	主桁（箱）	対傾構
1	上フランジ	上面
2	下フランジ	ユーザー領域
3	左ウェブ	正面
4	右ウェブ	ユーザー領域
5	上フランジ寸法	〃
6	下フランジ寸法	〃
7	左ウェブ寸法	正面寸法
8	右ウェブ寸法	ユーザー領域
9	材料寸法	材料寸法
10	ユーザー領域	表
11	詳細図	詳細図
12	注意書	注意書
13	その他	その他
14	ユーザー領域	ユーザー領域
15	〃	〃
16	〃	〃

表－３　作画面番号に対応する描画範囲例

このシステムの作画の機能の大要は次のようである。

橋梁の形式：　I桁、箱桁に関する直線桁、折線桁、曲線桁、斜橋、不整形桁、でウェブ変断面（上端、下端とも）が可能

主桁図面の表示形式：　上、下フランジの分離、上下フランジ一体書または上、下フランジ左、右ウェブの四面書が選べる。

主桁添接の表示形式：　主桁図への一体表示または別図表示が選べる。

横構の表示形式：　任意分割表示と桁間表示が選べる。

表の表示が可能な構造：　横桁、対傾構、縦桁、側縦桁、ブラケット、その他、ダイヤフラム、横リブの表示も可能。

6.4　CAD処理

CADシステムでは、応答速度は早ければ早い程良いことは論を待たないが、これについては総合的な観点で考える必要がある。一般的な汎用CADシステムを使用して、点や線を描画するような方式は、確かにみかけの応答性は良くても、作業全体の効率を考えると、橋梁製図には向かない。すなわち、人間に負担がかかり過ぎる。そこで構造データベースが構築されることを前提に、橋梁製図で必要と思われるコマンドの分析と、これらが使用される頻度の検討をまず行った。これによって、より特化したコマンドを作成するなどして、総合的にCAD処理入力を最小にし、特化されたコマンドでは対応できない範囲について汎用コマンドで補完できることを確認後、システム作りを行った。

汎用コマンドの中で拡大縮小は使用の頻度が多いため、図化データをグラフィックディスプレーのメモリーバッファに格納し、インテリジェント機能によって、良い応答性を得るようにしている。

汎用コマンドは１００種以上あり、これら主な機能をまとめると、次のようになる。

制御指定機能：　図面の縮尺、文字高、用紙サイズ、描画モード、画面の色指定などを行う。

描画機能：　画面に図形を表示したり、図形の移動や配置変更、画面の図形データを製図機用に変換したりする。

幾何図形作成機能：　点、線、円、集合図形、文字、寸法線などの作成、定義を行う。

幾何計算機能：　画面に表示されている図形の長さやある点からの距離などを計算する。

また、専用コマンド群は３０種強を数えるが、主な機能は次のようである。

部材の追加・修正・移動：　断面変化位置の修正や補剛材の移動など、構造データベースとリンクして図形が変更される。使用頻度が多いものは、さらに専用化されている。

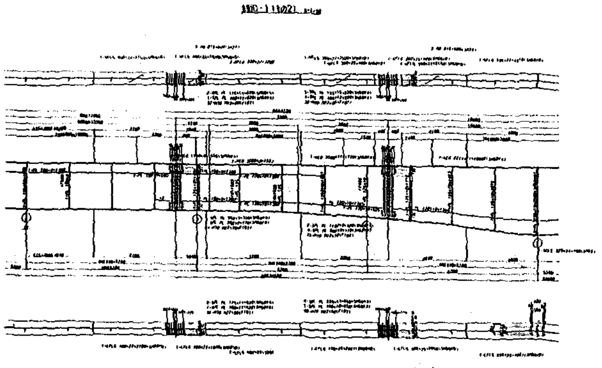
チェック機能： 画面に図化されている部材のデータベースの情報の内容や逆に指定したデータベースの内容を図化する、あるいは、視る方向を変えた部材の図化などのチェック用コマンド群がある。

図面作成機能： 図面のセットや溶接記号など、図面を仕上げる上で必要な機能がある。

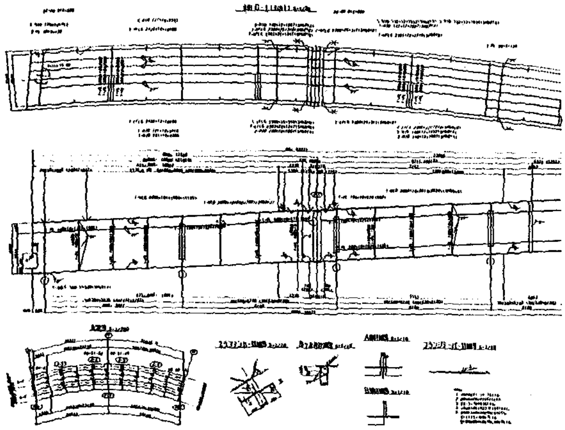
なお、メニューは、タブレットとグラフィック画面の両方に用意してあるが、グラフィック画面には、処理中の制御状態の表示と、特に多く使用されるコマンドが用意されている。

7. 出力図

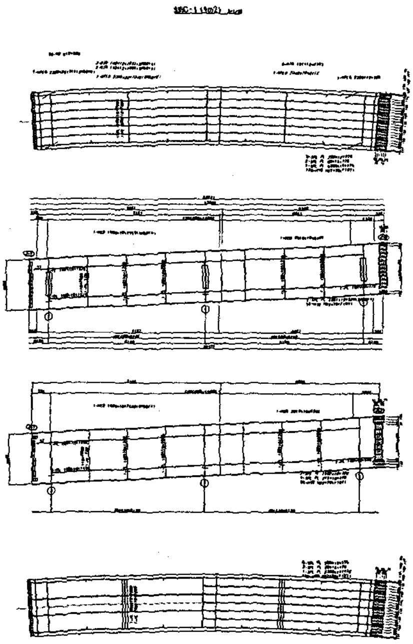
一括作画処理およびCAD処理による完成図の例を図－5に示す。



(a) 変断面Ｉ桁（一括処理例）



(b) 箱桁完成図（ＣＡＤ処理例）



(c) 箱桁（一括処理例）

図－5 図面出力例

8. おわりに

最近コンピュータと周辺機器、それにデータコミュニケーションなどめざましい発達により、システムはより身近かに、より思うままに利用できるようになった。一方において、システムは広がりを持つとともにいろいろな要素が複合される形になってきている。

本文では、現在筆者らのところで取り組んでいるものの一部を紹介した。設計から製造に関するCAD／CAMについては、すでに新たなシステムとして具体化する段階に入っており、特に製図の部分は橋梁業界１８社とともに共同開発を行い完成した。これらのシステムは規模も大きく複雑かつ高度であるために、すでに一社で開発できるようなものでなくなっている。今後とも、長期的・総合的な観点から、業界全体が一つにまとまってこの様な問題に取り組むことを切に望んでやまない。