

CADを用いた箱桁の設計システムの実用化

The Application of the CAD Using Box Girder Design System

鳥羽 勇 造* 太田 貞 次** 吉川 薫*** 小出 勝 雄****
Yuuzo TOBA Sadaji OHTA Kaoru YOSHIKAWA katsuo KOIDE

Summary

Miyaji's box girder design system combines an automatic design and drawing system with a man-machine interactive CAD system and displays its generous flexibility, as a total design system, in every aspect to allow for more complete box girder designs. Moreover, when combined with a program for joint development, this system will cause the expected economic effects to be realized sooner.

1. まえがき

今から42年前、ペンシルバニア大学のJ.P.EckertとJ.W. MauchlyによるENIACが、電算機の第一号として知られている。この18000本の真空管と重さ30tの巨大な計算機的能力は、今のマイコンにもはるかに及ばないものであった。その後、電算機とその周辺は驚異的な発達を遂げ、あらゆる産業のあらゆる分野でめざましい活躍をしている。これは橋梁建設の分野においても例外でない。橋梁は公共構造物であり、高い安全性が要求されるとともに、土木分野の中でも最新技術が結集された、大型かつ精細な構造物である。その設計から竣工に至る過程には高度な技術が駆使されており、電算機の利用は急速に進んでいる。云うなれば電算機利用の絶好な舞台であるとも云える。(図-1)

当社における電算機の利用は昭和30年代末頃、構造物の影響線を計算センターのオープン利用により行ったのが最初である。昭和46年、橋梁ファブリケータ各社に歩調を合わせるよう当社にもB-2500が導入された。当時、この最新の電算機は主記憶わずか60KB、ディスク容量2MBであった。その後、各種構造解析から自動設計、さらに生産部門での自動原寸へと利用も高まり、幾度かのハードウェア機能の向上が行われた。現在はFACOM-M360Rが稼働している。

近年、ハードウェアの大容量、高速、多機能化、さらには急激な価格低下により、データの視覚化が急速に進み、CADあるいはCAMがますますシステム化の範囲を広げている。しかし一方、視点を変えると、構造物の多様化、複雑化さらには発注者の仕様を満たす高品質、高精度化等により、電算プログラムの大型化が進み、開発費の高騰、開発フロータイムの長期化等の問題がクローズアップされている。このような背景の中で、当社では共同開発プログラムを軸に鉄桁、箱桁橋の設計トータルシステムの構築を行ってきた。本報告はこの中で特にCADを全工程に取り込んだ箱桁設計システムの紹介である。

なお本文中での「システム化」とは電算機による自動化のことを指す。

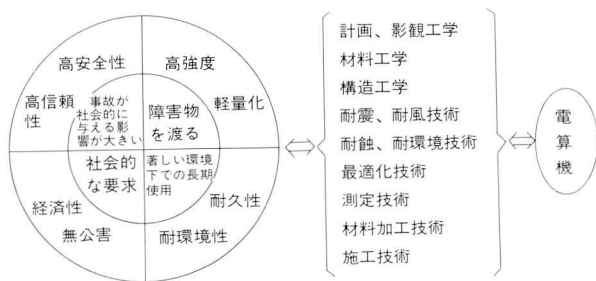


図-1 橋梁建設と電算機の係わり

* 技術本部設計部設計開発課長
** 技術本部設計部設計開発課

*** 松本工場製造部生産設計課
**** 経営企画本部企画室情報システム課

2. 自動設計導入の目的

設計作業は従来、線形計算、構造解析、断面計算等、単発的に電算機を用い、各作業間は手作業により情報の整理、受渡しがなされていた。このため時間的なロスやミスが多く、さらに主作業である仮定剛度、鋼重との取束作業に多大な工数を要し、設計の効率化は遅々としていた。又、橋梁建設に伴う情報量は製作段階で最大に膨れ上がる(図-2)。製作部門の電算化に従い、膨大なデータの入力がシステム化の大きな問題となっている。自動設計の導入は設計作業の効率化を増進し、設計から生産に至る情報のデータベース化が可能となる。導入目的を図-3に示す。

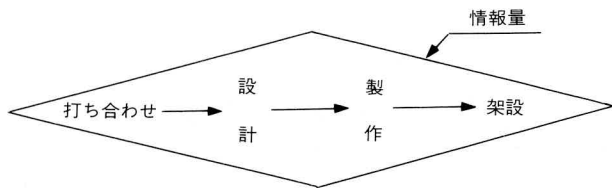


図-2 橋梁建設と情報量

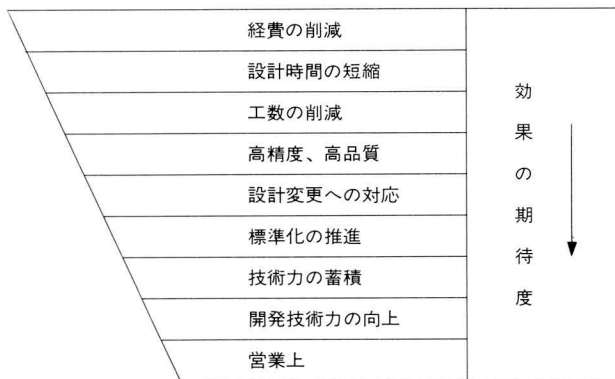


図-3 自動設計導入の目的

3. CAD導入の目的

橋梁設計の特長として次があげられる。

- ① 発注者の仕様が多样であり、標準化が困難である。
- ② 仕様に基づいて設計がその都度必要であり、流用が困難である。又、設計成果品の提出が要求される。
- ③ 定型化された設計論理だけでは処理出来ず、設計者の判断や直観が要求される。従って設計ロジックのプログラム化の難しいものが多い。
- ④ 設計段階での試行錯誤が多い。
- ⑤ 折衝段階での変更が多い。

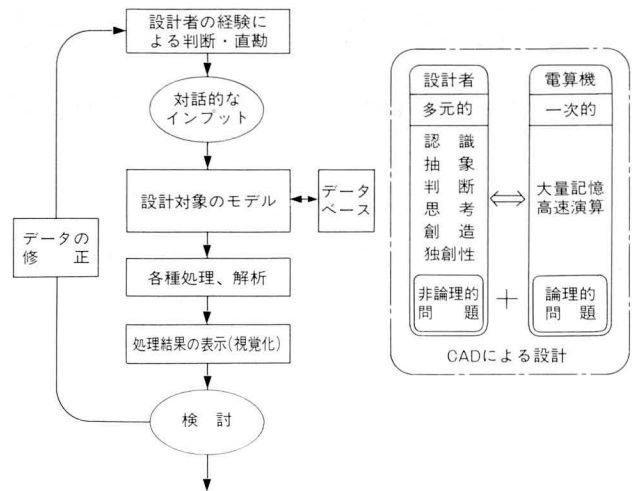


図-4 CADのイメージ

設計自動化の理想的な形は、目的に対し電算機が入力条件のもとで目的に最も近い最適化を行い、結果を打出してくれる事である。しかし将来的には人工知能等による可能性が有るとしても、現在の技術では人間の思考力や熟練による直観等をコンピュータに代行させる事は不可能である。CADはこのような環境に即して、設計者と電算機がその特長を生かして、システムとして一体化され、より効率良い設計を行うため共同作業を行うものである。CADの概念を図-4に示す。

CADの導入により

- ① 発注者あるいは設計者の厳しい要求への柔軟な対処。
- ② 設計成果の品質、完成度の向上。
- ③ 視覚情報によるデータミスの防止。
- ④ 設計作業環境の改善。
- ⑤ 設計変更への即応。
- ⑥ 電算ソフトの軽量化等の効果が期待できる。

このような観点より、箱桁設計システムでは可能な限りCADを取り込みシステムの構築を行った。

4. システムの開発形態について

本システムを開発形態面により見る時、大きな特長としてシステムの主体に日本電子計算(株)、他数社との共同ソフトを組込んでいる事が掲げられる。最近大規模なソフトあるいは新分野のソフト開発の形態に、共同開発が多く行われるようになった。共同開発の是非についての記述は本文の主旨ではなく、ここでは簡単に利点、問題

点を述べるにとどめる。利点としては、

- ① 開発費が安く、開発のフロータイムが短い。
- ② 参加各社のノウハウが結集されるため、実用度の高いシステムとなる。
- ③ 開発後、各社で使い込まれるためシステムの完成度が高まる。
- ④ 保守費用が分担できる。
- ⑤ 標準化やシステムの互換性が進む。

一方問題点としては、

- ① 開発主催会社の統率力によっては、一貫した思想のシステム造りが難しく、総花的となり易い。
- ② 自社計算機へのコンバージョンに手間がかかる。
- ③ 開発課題の消化が最重要視されるため、データチェック、ドキュメント類の整備等、運用面での使い易さが軽視される事がある。
- ④ 自社に合致したシステム造りが出来ない。
- ⑤ 特定のハードウェア、アプリケーション・プログラムに依存したシステム造りが出来ない。

などがある。

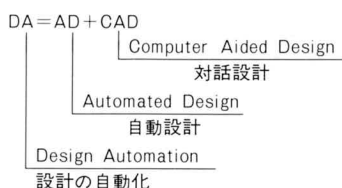
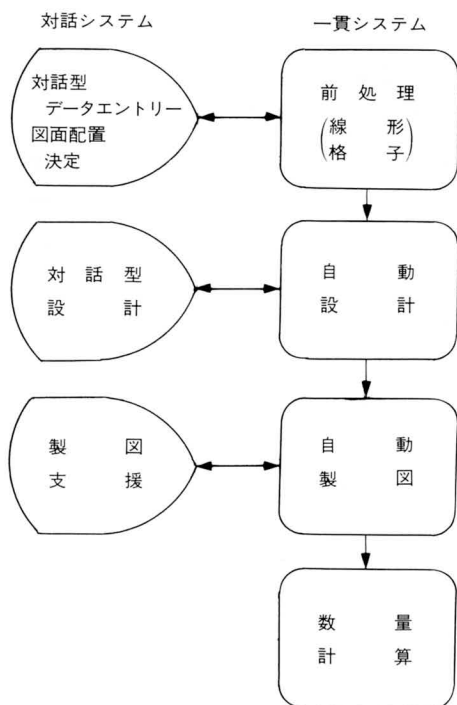


図-5 箱桁設計システムの概念図

5. 箱桁設計システムの構成

本システムは、鉄筋コンクリート床版をもつ単純合成箱桁橋、単純及び連続非合成箱桁の設計トータルシステムである。本システムの利用により、設計者はコンピュータをツールとして設計を完了させることが出来、完全な形で設計々算書、設計図、数量計算書を手にする事が出来る。本システムの概念図を図-5、処理フローを図-6、本システムの運用に使用するハードウェア構成を図-7に示す。また、CADのメニューシートを図-8に示す。システムの特長としては

- ① 可能な限りメニュー方式による会話処理を取り込み、容易な操作で入力作業が効率良く行なえる。
 - ② 一貫処理と対話処理の結合により完成度の高いシステムを実現した。
 - ③ 構成するプログラムは1つ1つが独立したシステムとして使用できる。従って自動設計処理を行わず自動製図や数量計算が可能である。
 - ④ 拡張性の高いシステムである。多様性に富む箱桁形式の総てを包括するシステム造りは時間がかかるため、適用性の高い形式からシステム化を計り、実効を上げながら順次拡張が行なえる。
 - ⑤ データをマスターファイルで管理することにより、データは一元化されている。又システム資源の有効活用が出来る。
- 等がある。

6. 前処理

前処理システムは次の機能別プログラムより構成される。

- ① 基本条件の定義一工事情報、処理履歴、基本設計条件等の入力
- ② 線形計算、形状認識、ハンチ計算処理
- ③ 格子桁断面力の計算処理
- ④ 線形図、断面力図の作成処理、図面配置決定処理

これらの処理は実処理時間に比べ、従来は手作業による入力データ作成に多くの時間を費していた。又、データミスの発生度も高く、発見が遅れると先システムに迄影響を与えることとなる。さらに線形計算や格子桁解析は単独処理のみの使用も多い。当社ではシステムの運用は原則として設計者が行うため、入力作業効率向上のため、データ入力は会話型としている。基本条件の入力画

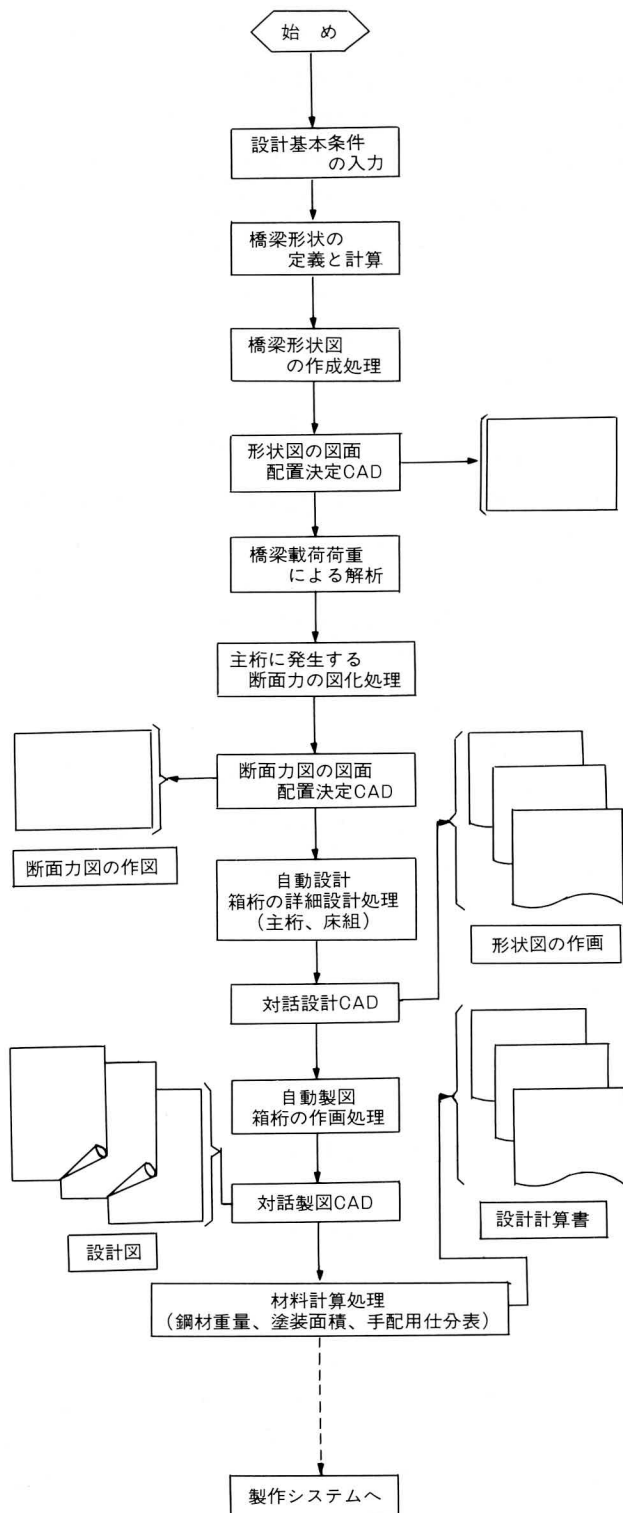


図-6 箱桁設計システム処理の流れ

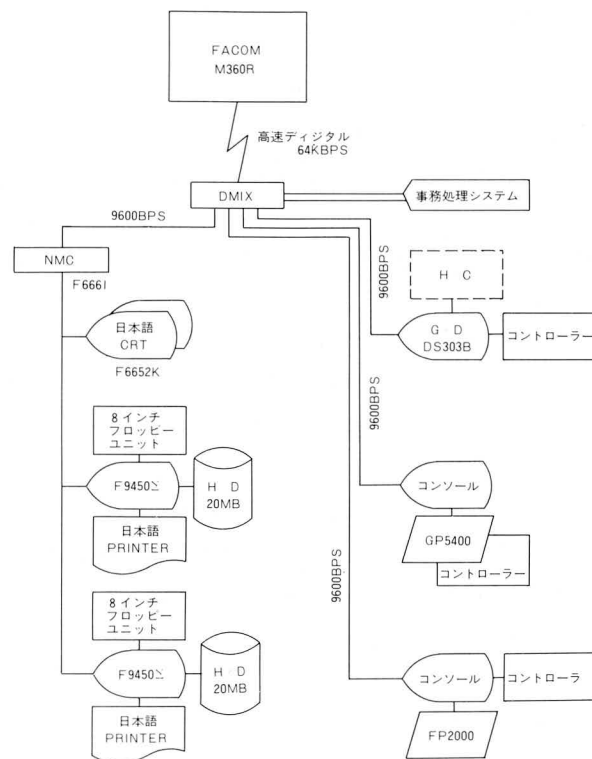


図-7 ハードウェア構成

面の一部を写真-1, 2、格子桁データの入力を写真-3, 4に示す。特に格子桁の入力は、図-9に示すように画面分割を行い、マウスによる作業コマンドの指定により入力作業が行なえる。このような入力方法の採用により、作業者の入力時の緊張感、疲労感が緩和され円滑に入力が行なえる。又視覚情報による入力ミスの発見も出来、効率の面で大きな効果がある。

写真-5は線形図の配置決定画面の一部を示す。従来、線形図や応力図の図面配置は、プロッターへの出力試行を繰り返す等、勘による方法によっていた。本システムではディスプレイ上で図面の配置を会話式に確認しながら決定することができる。

以上紹介した会話機能は、パソコン独自の機能によりオフライン処理で行われる。低価格なパソコンの描画機能をフルに活用する事により、高価なグラフィック・ディスプレイを本来のCADへ専念させる事ができ、システム資源の有効活用が計れる。パソコンは汎用機と専用回線により結合されており、処理データはメニュー指定により直ちにホスト側へ送信される。

1. 工事番号

2. 工事名 (「入力」を押して下さい)

3. 橋 格

4. 発注先

5. 担当部署

6. 担当者 (「入力」を押して下さい)

7. 設計進数

8. 各進毎の橋架形式

[1]	Br.1	単純合成版橋
[2]	Br.2	2径間連続非合成版橋
[3]	Br.3	3径間連続非合成版橋
[4]	Br.4	2径間連続非合成版橋
[5]	Br.5	単純合成版橋

修正がありますか Y/N

写真-1 基本データの入力

ア-ク項目 入力方法 制込メニュー

剛度	1: 橋脚剛度	2: 断面剛度
主桁剛重	1: 一定	2: 橋脚変位
ハンチ位置	1: 主桁の位置	2: 主桁の位置以外
ハンチ重量	1: 一定	2: 橋脚変位
型枠	1: 全幅載荷	2: 載/除荷幅指定
	3: 型枠なし	
中央分擔荷	1: 載荷しない	2: 載荷する
活荷重載荷	3: 中央分擔荷なし	
TT43荷重	1: 考慮しない	2: 日本道路公団基準
	3: 既得・本四公団基準	4: 直接載荷
等分布付加荷重	1: 全幅全橋一定	2: その他
	3: 無し	

未入力 入力済 選択

A1 A2 修正 制込 マウスでメニューをピックアップして下さい

第2メニュー入力 画面終了
第3メニュー移動 初期 画面終了

写真-4 格子解析データの入力

1. 工 事

2. 設計橋架

3. 橋 名 (出力時の表題になります)

4. ファイル名 (英数字に限りません)

5. 主桁本数 (ひと桁の時は「入力」を押して下さい)

6. 計算項目 下記より選択して下さい

[1]	線形計算プログラム実行
[2]	ハンチ計算プログラム実行
[3]	線形図作成プログラム実行
[4]	橋造図(部分線形図)作成プログラム実行
[5]	断面力図(応力図)作成プログラム実行
[6]	格子計算プログラム実行
[7]	自動設計計算プログラム実行
[8]	自動断面計算プログラム実行
[9]	材料計算プログラム実行

修正しますか Y/N

写真-2 処理選択メニュー

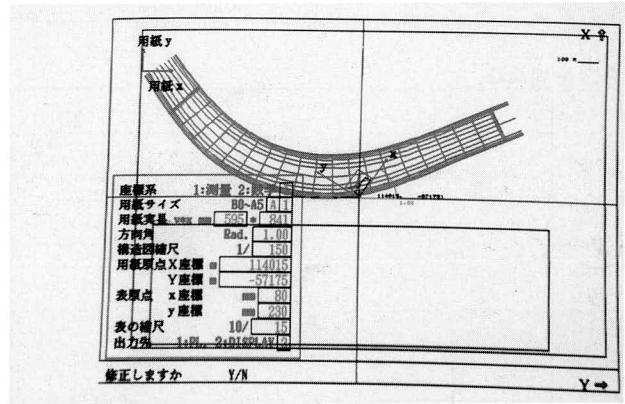


写真-5 線形図配置決定 CAD

ア-ク項目 橋造寸法 単位: m 主メニュー

全 幅	11.0000	左端~G1	2.5000
車 道 幅	7.3000	G1~G2	6.0000
左端~高欄	0.1000	G2~右端	2.5000
~高欄	0.2000		
~防壁	0.0000		
右端~高欄	0.1000		
~高欄	0.2000		
~防壁	0.0000		
左 地盤幅	0.4000		
歩道幅	0.2500		
中央分擔幅	0.3000		
右 歩道幅	0.2000		
地盤幅	0.4000		
中央分擔幅	0.3000		
左 歩道幅	0.2500		
地盤幅	0.4000		

未入力 入力済 選択

A1 A2 修正 制込 入力キーを押して下さい

写真-3 格子解析データの入力

全設計を対話的に行うこともできる。システムの特長としては

- ① 自動設計の主桁項目については、二軸、横リブ、切欠きも含み機能面で全てを包括している。
- ② チェック機能により、板厚差、逆テーパ、ボルト最小、最大間隔、縁端距離等に抵触する時はエラー表示がなされる。
- ③ 仮定剛度と実剛度の比較、剛比チェックを行う。又格間平均、支間平均の計算が可能である。
- ④ 1断面につき、6個迄の検討断面を保持出来る。登録時、その中より最適断面を選定する。
- ⑤ 主桁断面構成、継手部ボルト配置、支点上補剛材、横リブ等を図表示する。

等が掲げられる。システムの操作は、メニュー方式を用い逐次選択方式(システムの機能を階層構造化し、画面上のメニューを逐次選択する事により目的の処理を行う)とメニューシート方式(逐次選択メニューの中で各メニュー共通な機能や、処理途中での割込メニューを予めメニューシートに用意し、タブレットよりスタイラスペンにより選択を行う)を併用し、操作性を上げている。メニュー方式の採用により、システムを操作する設計者は処理に必要なメニューが文章で表示されるため、特別なコマンドやオペランドを覚える必要はなく、入力効率が向上出来る。システムの機能を図-11、ディスプレイ画面の一部を写真-6、7、8に示す。又、メニューシートについては図-8を参照にされたい。

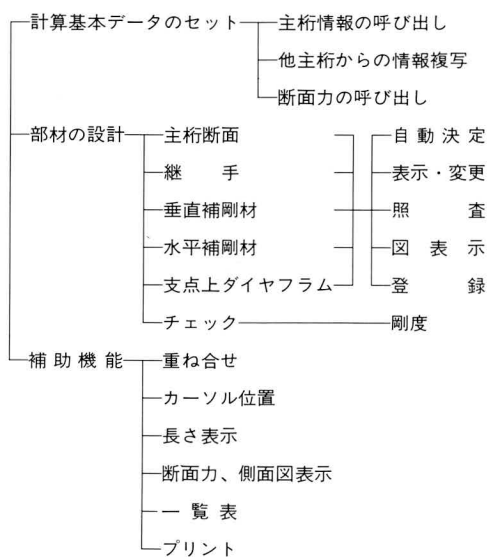


図-11 対話型設計システムの機能

8. 自動製図支援システム

(1) 自動製図処理

自動製図システムの構成は其を支援するCADシステムと深い係わりを持つ。本システムを構築する上での基本条件としては、次の項目があげられる。

- ① 適用範囲を箱桁のみに絞らず、拡張性を持たせる。
- ② 図面と材料情報の一括管理が可能とする。
- ③ レスポンス時間を保証する。

本システムの主体は、実物大の橋梁全体の二次元モデル(モデルファイル)と、このモデルからの切出しによる完成図面(パネルファイル)の二つの図面情報により成る。又、部材形状の決定ロジックを部材毎の手続きデータとしてファイル化し、プログラム外部より与える。

これにより前述の拡張性や材料との整合性が保たれ、後述するようなCADの機能が可能となる。

箱桁製図は、ダイヤフラムの横桁取合内部補強構造一つを見ても、十数のパターンがあり、システム化が難しい。従って必然的に機能の圧縮がはかられ、結果として全システムを通しての制約条件がこの部分で決まると云える。図-12に本箱桁設計システム全体の適用範囲面からの概念図を示す。又本製図システムの適用範囲を図-13に示す。

(2) 製図支援処理

本システムは自動製図処理によってデータベース上に構築された図面情報に対し、対話的に修正、変更を加え図面を完成させる機能を持ったCADである。システムの特長としては

- ① 図形、材料はデータ(簡易言語)で定義されているため、変更、修正が出来、柔軟性に富む。

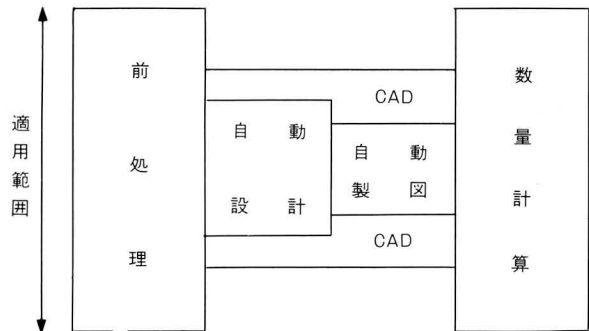


図-12 箱桁設計システムの機能範囲概念図

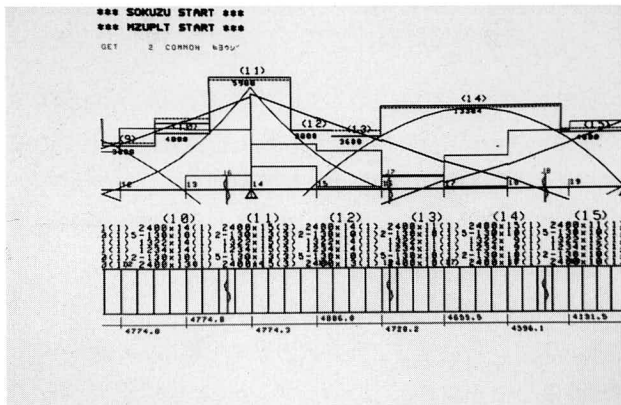


写真-6 対話設計 C A D (断面計算)

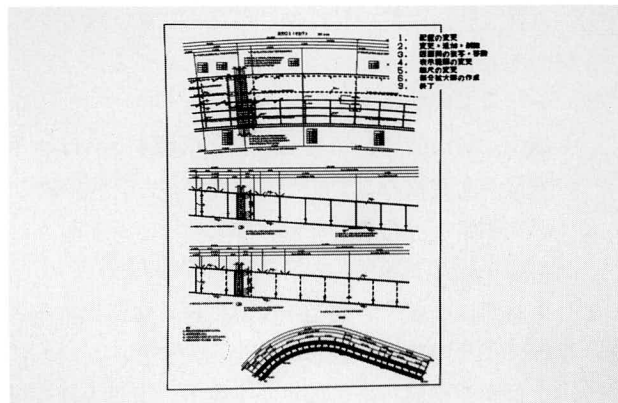


写真-9 製図 C A D

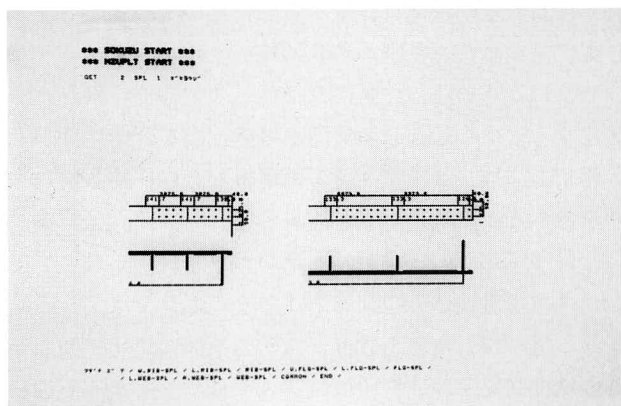


写真-7 対話設計 C A D (添接計算)

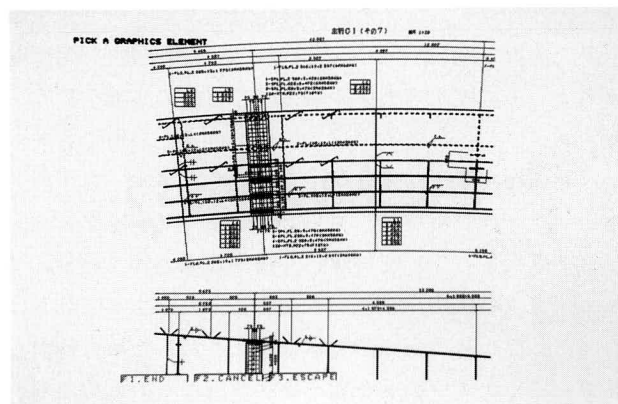


写真-10 製図 C A D (部分拡大表示)

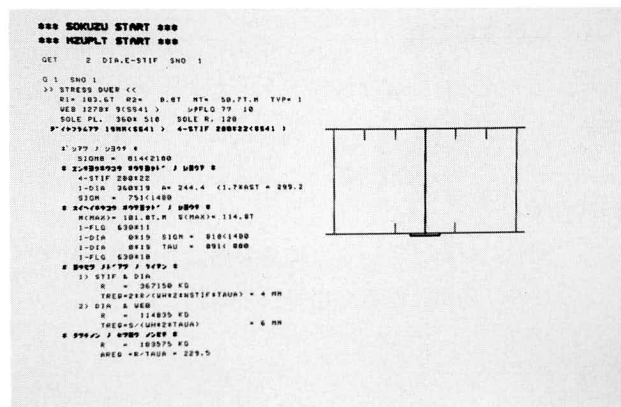
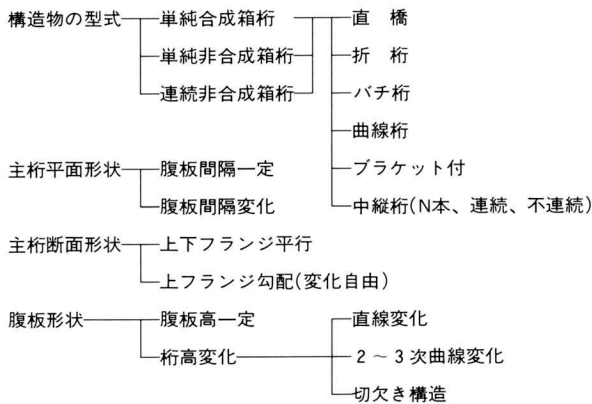


写真-8 対話設計 C A D (ダイヤフラム設計)



作画範囲——主桁、横桁、ダイヤフラム、横リブ、ブラケット、中間縦桁、側縦桁、キャンパー図、横断寸法図、部分詳細図(ジベル、スラブアンカー、吊金具、ソールプレート、ハンドホール、水抜き、スカーラップ、その他) 図面にはマーク図、溶接記号、特記文字が書かれる。

図-13 自動製図システムの機能

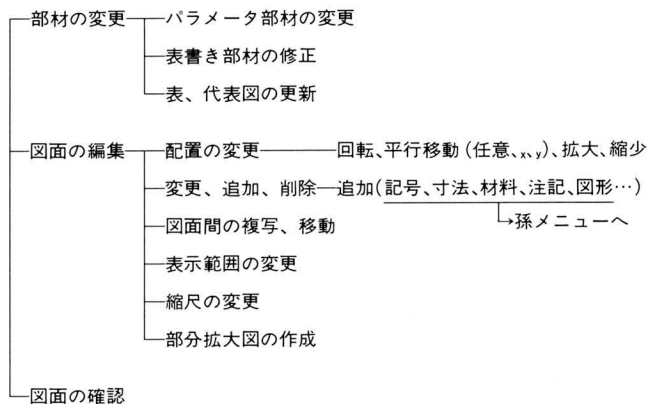


図-15 製図支援システムのメニュー

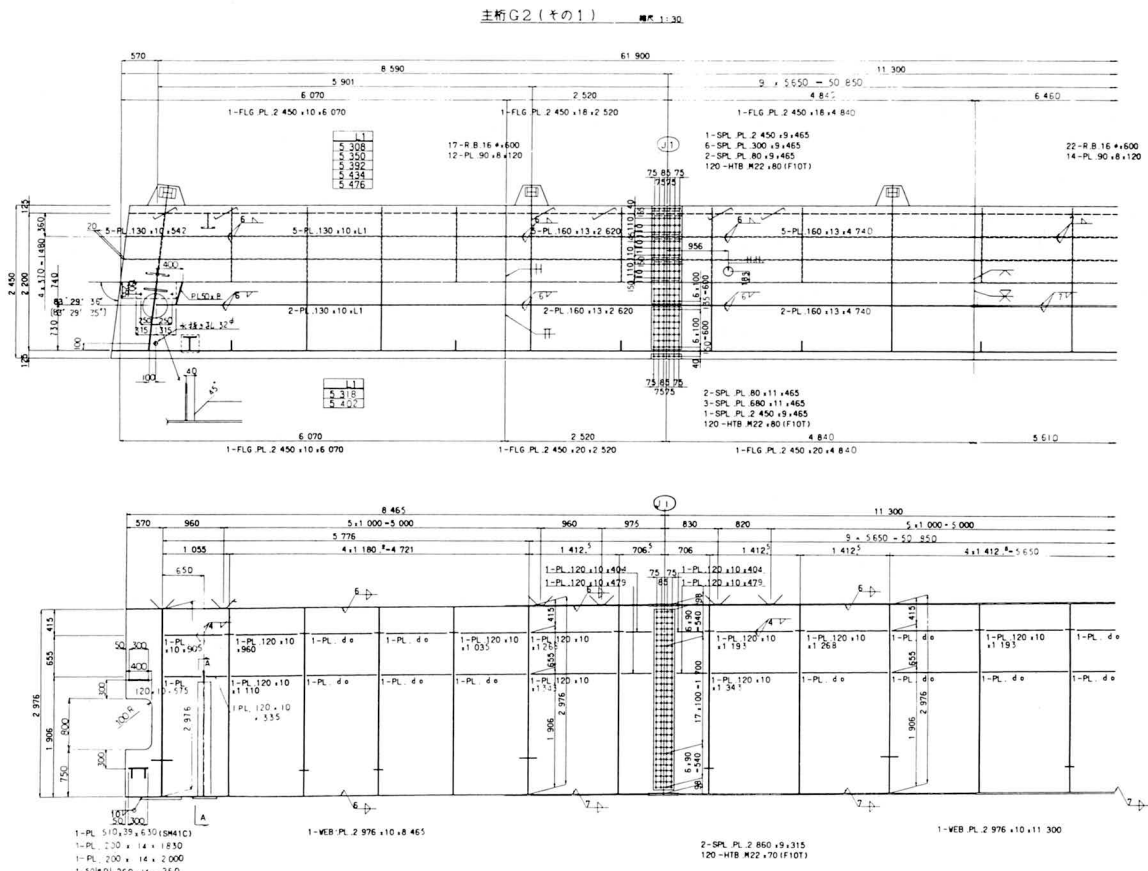


図-14 主桁設計図

- ② 操作は誘導メニューによるので、操作は容易である。
- ③ 図面上での変更は材料情報に反映されるため、図面と材料の整合性が完全である。
- ④ データ構造は階層モデル形式のデータベースであり、任意の階層へのアクセスが可能である。従って部分修正において、階層構造中のあるレベルでの修正を、自動的に下位のレベルに反映させることが出来る。
- ⑤ 部分拡大図作成、図面の他図面への移動、複写が容易に可能である。
- ⑥ 作画範囲の変更、縮尺の変更ができる。
- ⑦ 指定によりGross, Netどちらかの材料表示が選べる。

等が掲げられる。自動製図及び製図支援システムによる作図例を図-14に示す。システムの操作は、対話設計と同じ、逐次選択方式とメニュー方式両方を使い分けしている。メニューシートは図-8を参照されたい。ディスプレイへの表示状況を写真-9、10に示す。又、メニュー体系を図-15に示す。メニュー項目により本システムの、機能の概要がおわかり戴けると思う。

9. 数量計算処理

製図情報より材料計算処理を行い、各種数量帳票を出力するシステムである。本システムはジェネレータープログラムを挟むことにより、箱桁のみならず、钣桁や他のあらゆる形式の数量計算が可能である。出力帳票とし

ては、鋼材重量計算として重量計算書、鋼材仕分表、ボルト総括表、ブロック重量表、全体総括表がある。又、塗装面積計算としては面積計算書、ブロック別仕分表、総括表等が出力される。特長としては、

- ① 発注者の方式に合った計算方法が選べる。
- ② ネット、グロス of 材料指定が可能である。
- ③ 一部材につき6種類の塗装区分が可能である。
- ④ 追加、削除、修正が自由にできる。
- ⑤ 基本データは外部ファイル化しており、変更が容易である。
- ⑥ 集計選択データにより、橋梁の任意部分の集計が可能である。

等がある。なお、本システムは後続の生産システムと連結を行い、材料に関するトータルシステムの構築を現在進めている。

10. 現システムの問題点と今後の課題

本システムは既に幾つかの運用を終えており、当初の目的に対し一応の成果を見ている。一つのシステムが完成を見るのは、そのシステムが役割を終える時だとも云われている。今後、信頼性の向上と機能の拡充により、完成度を高めてゆく考えである。現時点における問題点としては、

- 1) CADの応答性が悪い...

本CADシステムは多くの機能に富む反面、応答性が犠牲となり、特に情報量の多い製図システムにおいてそれは顕著である。

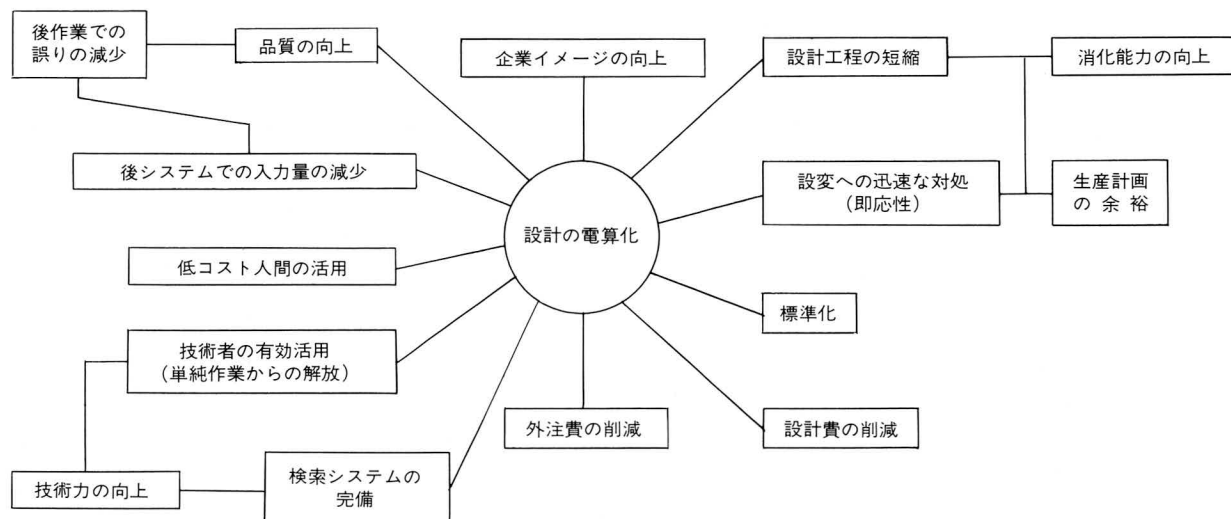


図-16 システム化の効果

2) 処理フローが円滑でない…

運用への不慣れもあるが、データミスや変更により再処理が多く、一貫システムとしての処理リードタイムがかかりすぎる。

3) プログラム機能の不足…

運用を行った橋梁が何らかの形でプログラム上の制約に抵触している。箱桁の多様性の証でもある。等である。

1)の製図CADについては、CAD機能の実用面からの見なおしも含め、応答性の改善が急がれる。設計対話CADについては応答性を含め操作性もほぼ満足の結果であり、設計の有力なツールとして活躍が期待出来る。

2)については、変更が局部的再処理のみで済むようなプログラム構成が出来れば理想的と云えるが、システムの基本思想に係わる問題であり、システム運用面での工夫により対応する考えである。

3)については梯形断面桁、鋼床版橋においては将来と言わず、着手容易な部分からの機能拡充は早急に必要である。又、一面、現システムが採用した標準化への歩み寄りには設計者さらには発注者へお願いするものである。

11. システムの効果

システムが完成して間もないこと、又、処理した箱桁の形態も多様であるため、省力効果、経済性を云々することは現時点では難しい。一般に自動化システムは開発投資額が高く、開発費、設備費、保守費等の累積投資と、累積利益の交点である損益分岐点迄には長期間を要すと云われている。本システムはその点、共同開発ソフトの組み込みにより全体の開発費は縮小され、早期の経済的效果が望める。又、現在整理中であるが、工程の短縮面でもかなりの効果が期待でき、その他、定性的効果も多い。システムのもたらす効果を図-16にまとめて示す。

12. あとがき

以上、当社のシステム的一端である箱桁設計システムの概略をご理解いただけたと思う。橋梁業界では、CADの歴史は浅く、まだ創世期にあると云える。従ってCADについては使って見なければわからないというのが現実であろう。本箱桁システムでは多々問題を含んではいるが、一応CADの有効性を確かめる事が出来た。今後、さらに設計者の意見を取り込み、機能向上を行ってゆく予定である。皆様のご批判、ご指導をお願いする次第である。

最後に私見を述べしめくりとする。昔から現在に至る迄、図面は情報伝達の中心である。特に橋梁図面は一枚の図面に設計、生産、施工情報を積み込み、さらに発注者へ成果品の役割も兼ねた密度の濃いものとなっている。現在のシステム化は、従来からの伝統的な手作業を単にそのまま電算機へ踏襲したものが多く、計算機の出力も手書き計算書や前述した濃密度の手書き図面にいかに類似させるかを競っている。最初に述べたように、橋梁建設が電算機の絶好の舞台であるにもかかわらず、システム化は他業種程進んでいない。それは、橋梁業界が多品種少量生産の典型であるゆえに持つ要因の他に、前述のようなシステム化の方法自体にも一因があるのではないだろうか。現在の手法を見なおし、もっとシステム化に合致した手法への改革も必要である。これは設計システムに限った事ではない。例えば前述の橋梁図面においても、自動化やCAD化の容易な図面の機能別簡素化等の研究が必要である。又さらに図面以外のメディアによる情報伝達法の研究も必要であろう。

本システムの構築にあたり援助をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、今後もより一層のご支援をお願いする次第である。