

橋梁の設計現図一貫電算システム

上野 誠* ・三神 昭五**
 田中 征登*** ・亀村 利彦****
 丸安 雄二*****

1. はじめに

橋梁の設計から製作に至るまでを一貫してコンピューターを使って処理しようとする、いわゆるトータル・システムについては、一般の橋梁では非常に典型的なものが多いということを考えれば、その可能性は大きいといえる。とくに設計から現図までについてみると、ソフト・

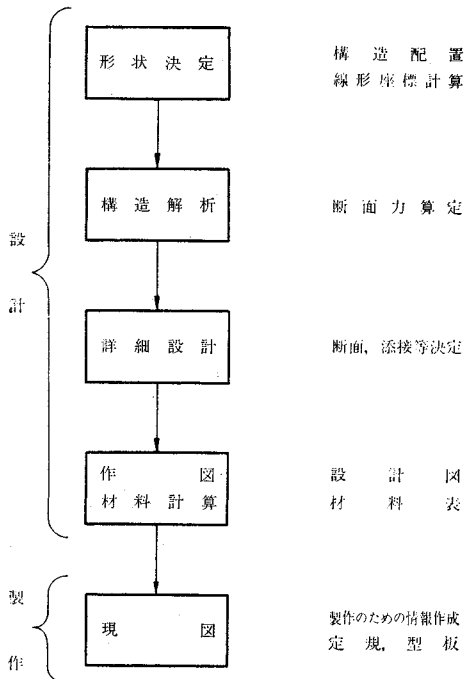


図-1 業務の流れ

* 正会員 工博 日本鋼管(株) 第二重工設計部長
 ** 正会員 日本鋼管(株) 海洋産業部課長
 *** 正会員 日本鋼管(株) 第二重工設計部土木設計室係長
 **** 正会員 日本鋼管(株) 第二重工設計部土木設計室
 ***** 正会員 日本鋼管(株) 第二重工設計部土木設計室

ウェアの占める比率が高く、システム化を比較的容易にしている。

橋梁の構造形式および大小のいかんを問わず、設計から現図までの業務は図-1のように5個に分割して表現できる。構造形式その他により、ある部分が他より作業の量として少ないものも、またフィード・バックがあるものもあるが、基本的には5個の直列の要素から成り立っている。ところで、ここにいう現図とは、設計図を製作に必要なように再編集したものであり、両者は最終的な橋梁形状情報の表現形態の違いであるといえる。このことから、設計図、現図のわくを取りはずし一体化することが考えられる。

一般的に、システムの開発は多くの時間と費用を必要とするため、頻度の少ないものについて行っても、投資効果という点では、それほど期待できない。加えて、システムの使い易さということは大いなる問題である。使い易いシステムは非常に効果的であるが、開発に大きな労力を必要とする。頻度の少ない分野で労力をかけるのは得策ではない。一般の橋梁は、頻度および類似性からみると、他の分野に比較してシステム化の意義は大きいといえる。

日本鋼管では、以上のような点を考慮して約3年前よりこのトータル・システムをめざして開発を進めてきたが、その構成をここに報告したい。

2. システムの概要

本システムは橋梁の設計から現図に至る工程を総括的に含めようとするものであって、桁橋の処理を中心としたシステム構成である。桁橋以外のアーチ、トラス等はそれぞれ固有のプログラム群で補完し、また、Hビーム使用橋梁は、その特殊性によって他と独立している。図-2にシステムの概念図を示す。

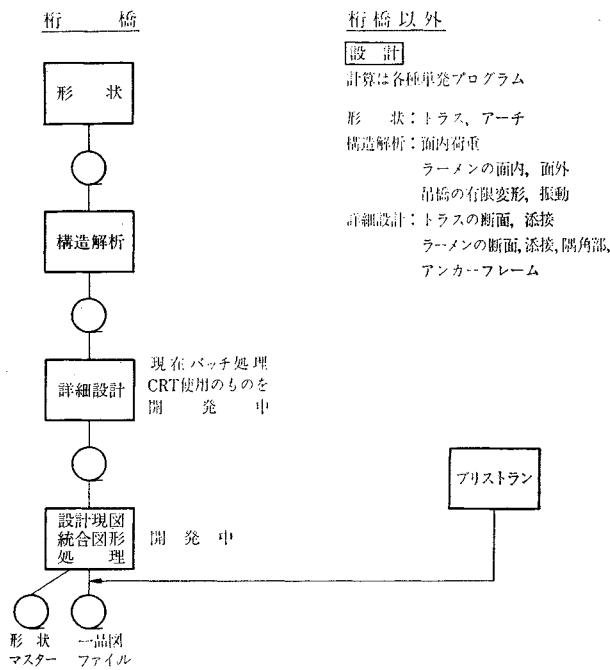


図-2 システム概念図

① 桁橋：一般橋梁の中では桁橋の比率が圧倒的に高い。設計から現図までを一貫したシステムとする。部品の原形ファイルを生成し、製作部門の参照可能ならしめる。別に形状マスターから製作時必要な諸寸法値が算出される。

② 桁橋以外：桁橋に比べると頻度が少ない。設計計算プログラムはほぼ完備している。設計図の自動化は行わない。部品の原形ファイルは BRISTLAN NC 現寸システムによって作成される。

③ H ビーム使用橋梁：非常に頻度が多い。構造が簡単なものであるため自動設計製図の方式をとる。

以下各部門について詳述する。

3. 桁橋のシステム

一般橋梁の中で桁橋の占める割合が大部分である。そのため、形状、設計条件あるいは製作条件等の変更、追

桁橋以外

設計

計算は各種単発プログラム

形状：トラス、アーチ

構造解析：面内荷重

ラーメンの面内、面外
吊橋の有限変形、振動

詳細設計：トラスの断面、添接
ラーメンの断面、添接、隅角部、
アンカーフレーム

加、削除にたえる便利なシステムにしておかなければならない。

直橋の合成工桁の自動設計製図というような方法は採用しない。そのような閉じたシステムは、汎用性、柔軟性の面で欠けると思われるからである。このシステムは、以上に示すとおり4個のサブ・システムから構成されている。ROAD サブ・システム、GRID サブ・システム、詳細設計サブ・システムおよび統合図形処理サブ・システムである。これらは、桁橋の特殊性を網羅したモジュラリティーに従い、それぞれ固有の機能を持ち、独立して使用することも可能である。

(1) ROAD サブ・システム

いわゆる線形計算プログラムであって、設計計算、NC 現寸システムの一環として使用されている。平面、縦横断等の道路形状と橋脚配置、主桁および横桁配置を定義すると必要な座標値等を計算する。

入力は簡単なコマンドを使って定義されるが、これらは下記に示される条件を備えていなければならない。

第一の条件は汎用性である。道路形状、橋脚配置および主桁、横桁の配置はさまざまである。さらに定義方法は独立に定義できるものと、従属して定義されるもの等あって汎用性とはこれらの多様性への対応といえよう。すでに200橋近く適用されたが既存のコマンドで十分定義可能である。

第二の条件は、定義の容易性である。簡単な形状の定義を行うということは、とくにシステムの設計に際し留意した点である。

① コマンドは通常設計のとき使用する言語の簡略形を用いて親しみやすいものとする。

② 入力チェック・ルーチンを設定する。線形計算を行う前に、論理的なエラーを検出する。入力ミスの早期発見ができ、エラーの内容を明示して修正を容易ならしめる。これは、コンピューターの使用効率を高めると同時に、このシステムの普遍性を約束するものといえよう。

③ 入力は形状定義に限り処理方法とは独立している。独立に定義されるものと従属して定義されるものとの処理順序はユーザーは無関心である。システムはこの順序を決定し、相互参照等の矛盾をチェックする。

コマンド形式は図-3に示す階層で構成されている。

処理結果は座標値等の数表および平面図、縦断図、横断図等により表現される。また、構造解析サブ・システムに対するファイルを生成する。

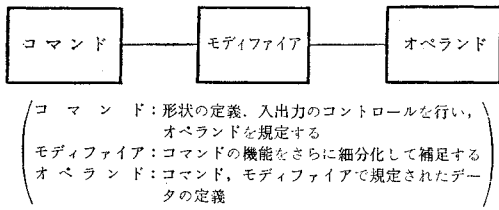


図-3 コマンド形式

(2) GRID サブ・システム

構造解析のサブ・システムで変形法を使用する。変形法の入力は、単独に使用する際、格子桁については、形状、剛性、荷重等の入力データが多くて容易でないが、本システムでは、大部分 ROAD ファイルより参照して生成される。結果は、主桁、横桁単位に編集される。ユーザーは、節点番号、部材番号等に関知しなくてよい。入力データに関して若干説明する。

① 形状データ：整形、不整形ともに ROAD サブ・システムの出力ファイルを参照して形状認識を行う。これにより、節点座標値、節点番号、部材番号、支持条件等が生成される。

② 部材末端条件：あらかじめ定められた条件を用いるが、変更も可能である。

③ 剛度データ：桁高、使用材質を別に入力して、応力法による近似計算ルーチンより求める。

④ 荷重データ：ROAD サブ・システムの出力ファイルより、道路線、主桁等を基準に荷重を定義する。

入力は節点数 200 くらいでカード 20 枚程度である。出力は、合成桁でも同じページに合成前、合成後が印刷される。本プログラムは、非合成桁、合成桁また I 桁、箱桁とも利用できる。結果は、詳細設計サブ・システムに対してファイルされる。

(3) 詳細設計サブ・システム

構造解析サブ・システムの出力ファイルを参照して主桁断面、添接、スチフナー、ジベル、対傾構、横構を決定する。現在はバッチ処理のシステムを使用している。しかし、詳細設計の決定項目は膨大な自由度で相関関係をもつものを、自由にまたは相当程度の条件を与えて一定のアルゴリズムで決定するのであるが、必ずしも設計者の十分満足した設計がなされない。そのため、入力データを修正して再度処理するため、リード・タイムが長くなる欠点がある。このため、バッチ処理システムにかえてグラフィック・ディスプレイを使用したマン・マシン・システムを現在開発中である。グラフィック・ディスプレイには IBM 2250 を使用する。

概要は、図-4 に示される。

ユーザーはステップ-1 の出力の図面および資料を検

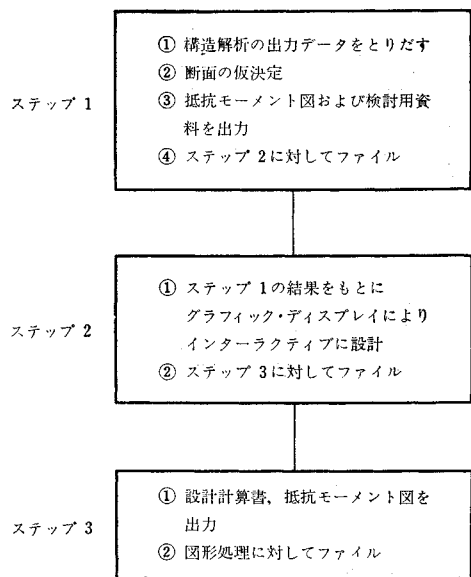


図-4 グラフィック・ディスプレイを用いた詳細設計サブ・システムの流れ

討して修正箇所をチェックする。ステップ-2 においてグラフィック・ディスプレイにより作業区分を指示すると動作項目が画面上に列記され、ユーザーがその採用、不採用を決定し設計の修正を行う。この修正は桁橋全部を包括するものであるが、機能の例を二、三次に示す。

① 複数本の桁のモーメント図を画面に出力して、桁相互間の断面の同一化をはかる。

② 主桁断面、添接等をインタラクティブに決定、修正。

③ 横桁、対傾構、横構の部材断面の同一化をはかる。

④ ジベルをスプライス等に当たらないように配置。

これらの修正項目について、バッチ処理システムと比較するとき次のような効果が期待できる。

① 設計時間の短縮。

② 共通部品を多くすることが可能で、製作が容易な設計を行いやすい。これはメーカーとして重要である。

③ 作図用として詳細設計の出力がファイルされる。

(4) 統合図形処理サブ・システム

現図とは橋梁の形状情報を作成し、製作情報を付加して製作現場に提供することである。従来の手作業による設計図は線形情報等の関係する複雑な二次元、三次元の寸法の計算を相当量無視して作成されてきたが、これらを正確に処理した設計図が描かれうるならキャンパー、溶接ひずみ、切断しろ等の製作情報を加えれば現図と同等となる。設計図と現図用の図に本質的な違いはない。

それゆえ、両者はひとつの統一したものとして扱うことができる。それには、設計図とか材料表とかに無関係

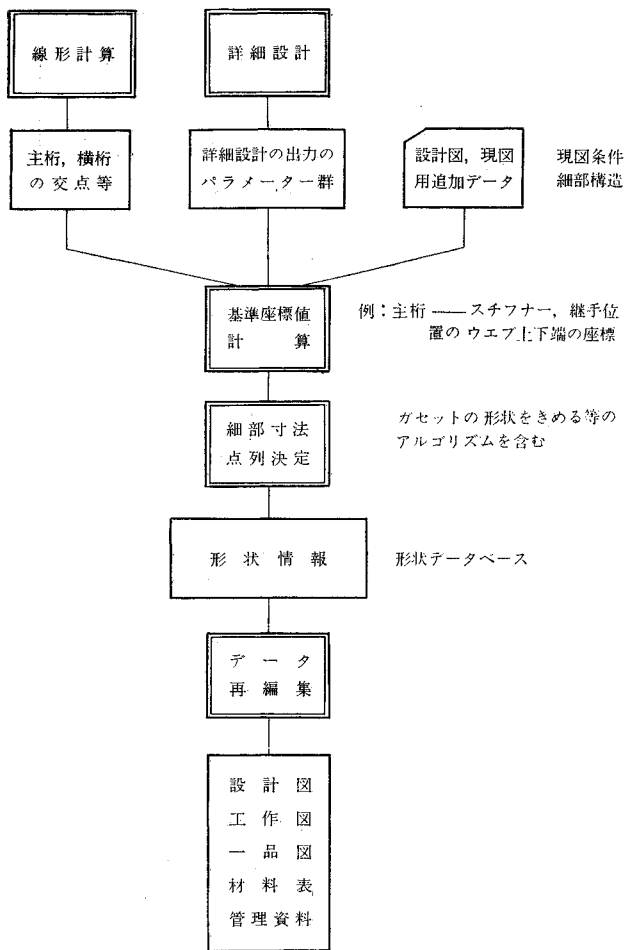


図-5 桁橋統合図形処理サブ・システムの流れ

に、橋梁の形状そのものを計算機の中で表現しておけばよい。これを形状データ・ベースと設定している。設計図、材料表、工作図、一品図はその形状情報に若干の編集を施した一つの表現形態にすぎないといえる。

形状情報は、橋梁の形状すべてを一義的に表現するものでなければならない。データの性格は次の3つに大別される。

- ① 部材相互間の位相的認識を示すデータ
- ② 図形をあらわす座標点列
- ③ 図面、材料表その他表示のための諸寸法値

このサブ・システムにおけるデータの変遷の概念は図-5に示される。入力の前段階のサブ・システムで決定される項目はファイルを通して受けわたされる。設計計算で決定されない内容もその情報量は膨大であり、これらの入力作業は煩雑である。それゆえ、あらかじめ標準の考え方、パターン、数値を設定しておき変更したい項目だけ指定すればよい。この結果、入力データは通常1橋当たりカード数枚で表わされる。

一般に設計変更等は非常に多く発生する。またシステムで用意した形状のパターンに適合しない場合も存在しよう。それゆえ、グラフィック・ディスプレイによる任意の修正を試みているが、図としての修正が行われても、構造物としてどう修正されたかを認識することは難しく、どの程度成功するかは、まだ不明である。

4. 桁橋以外のシステム

桁橋以外は桁橋に比べると頻度が少ないので、単独の計算処理プログラムで十分であると考えている。現有のプログラムを簡単に示す。

① 形状に関するもの：任意トラス、アーチの形状を定義する。簡単な入力により、縦断、キャンバーの影響を含めて節点座標値、部材長などを計算し骨組図を出力する。

② 構造解析に関するもの：面内荷重解析(影響線処理を含む)、ラーメンの面内、面外荷重解析(示方書による断面力組合せを含む)。

③ 詳細設計に関するもの：ラーメンの断面、添接、隅角部、アンカー・フレームの計算および決定。トラスの断面、添接の計算、決定。

その他、鋼床版の応力、たわみ、床版、鉄道橋載荷計算等のプログラムがあり、STRUDL (ICES-SYSTEMの一部)を使用することもある。吊橋では有限変形プログラム(鉛直、水平)および各種振動解析のものが用意されている。

現図作業は BRISLAN NC 現寸システムを今後も中心としていく予定である。

5. H ビーム使用橋梁システム

Hビーム使用橋梁の設計計算、設計図、材料表の作成を自動的に行うシステムである。図面は COM (Computer Output Microfilming) またはプロッターを用いて出力される。とくに指定のないときは、標準の設計条件、寸法、許容応力等の値が用いられ、標準を変更したいときのみ変更データを入力すればよい。変更できる項目は100項目以上あるが、通常入力カードは3枚で、図面まで出力される。

設計計算では主桁間隔を指定する必要はなく、また H 形鋼の同一シリーズ (H 形鋼全高の類似したもの) 内で主桁ごとに形鋼サイズを変えうることにして、数学的に最少重量の組合せを選定する。

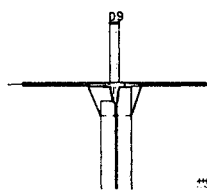
設計図は、一般図、主桁、対傾構、床版、シューおよび付属品図を作成する。作図にはプロッターも可能であ

断面図 S-1:200

SE-4	SI-4	SB-4	SI-4	SE-4	G5
SE-3	SI-3	SB-3	SI-3	SE-3	G4
SE-2	SI-2	SB-2	SI-2	SE-2	G3
SE-1	SI-1	SB-1	SI-1	SE-1	G2
					G1

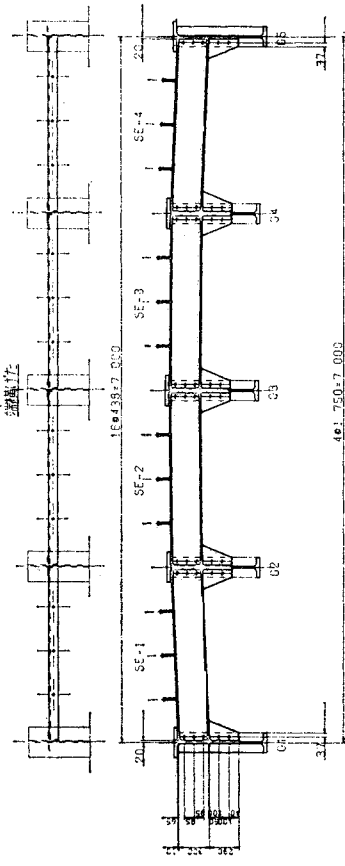
500
050
100

スカフツク 断面図 S-1:200

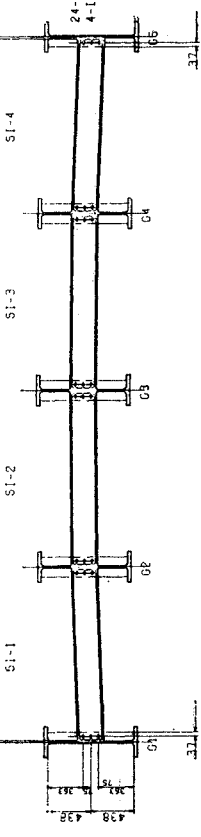


- 1 鋼製のH形鋼(S4) 使用
- 2 H1B(422(F11)) 使用

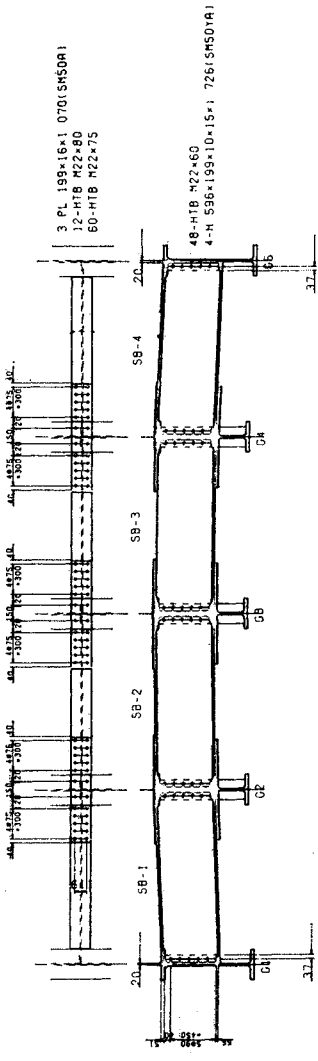
断面図 S-1:330



断面図 S-1:300



断面図 S-1:300



断面図 S-1:350

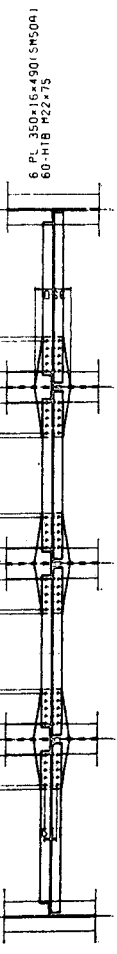
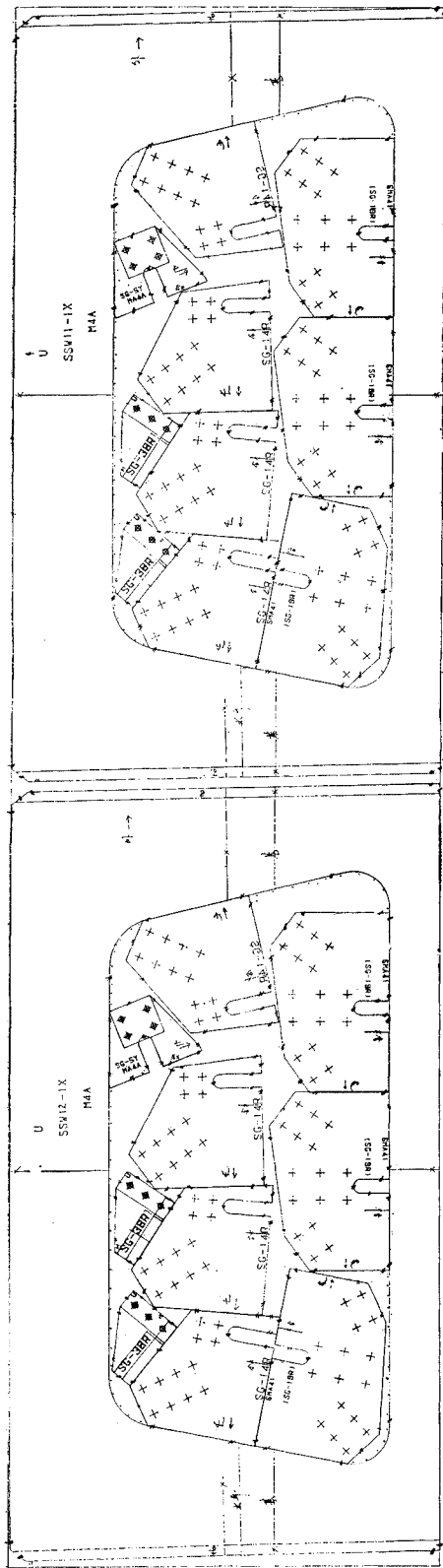


図-6 COMによるHビーム使用橋梁断面



整理番号	3-5	工号	C 4740	船名	JRANA	表成寸法	9.1750.6740	枚数	1	ロール番号		加工番号		印刷番号	19-15	担当	三神	理当		費用		検印	M.C
------	-----	----	--------	----	-------	------	-------------	----	---	-------	--	------	--	------	-------	----	----	----	--	----	--	----	-----

図-7 BRISTLAN によって出力された図形

るが、COM を用いるのを原則としている。

COM を用いた理由は経費が非常に低廉なこと、大量処理に適することである。COM はプロッターや作図機のような機械的なペンの動きではなく、電子ビームを走らせ、この軌跡をフィルムに感光させ図面相当のマイクロ・フィルムをつくる。マイクロ・フィルムは図-7 程度の図面では 1 枚 2 sec 程度で作成できる。設計計算書、材料表作成、作図用の計算、マイクロ・フィルム作成および A2 判への引伸しを含めて、従来の手作業による場合と比較し、費用は約 1/5~1/10 に減少できた。

6. 既システムとの関連

日本鋼管では、前述の統合図形処理システムが実用可能になるまでは現図では全面的に BRISTLAN システムによっている。BRISTLAN (BRIDGE and Steel structure lofting LANGuage) は、現図で任意の一品図を描くための汎用図形処理の問題向け言語 (Problem Oriented Language) である。

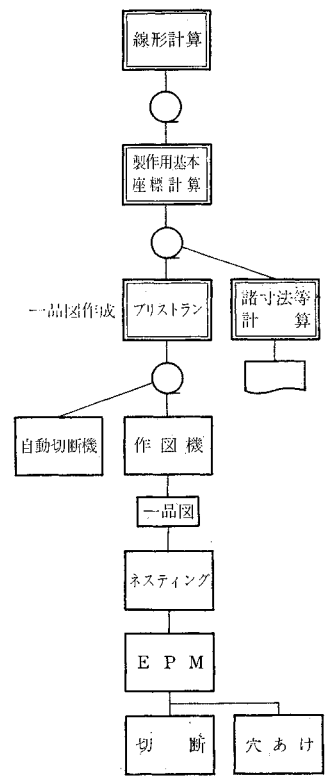


図-8 BRISTLAN システム

処理手順を以下に示す。

- ① ROAD の出力ファイルを使用して若干の入力

データを加え、例えば、主桁ならウェブのスチフナー取付位置の上下点の座標を基準座標としてファイルする。横桁、横構も必要な基準座標もファイルする。

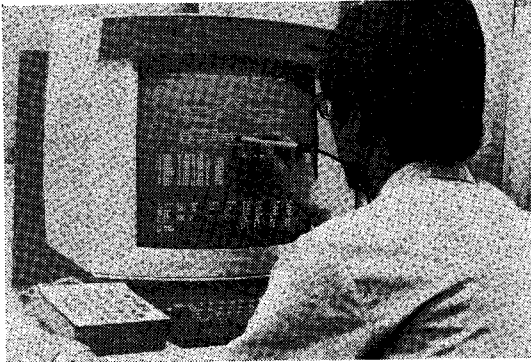


写真-1 グラフィック・ディスプレイによる桁橋詳細設計

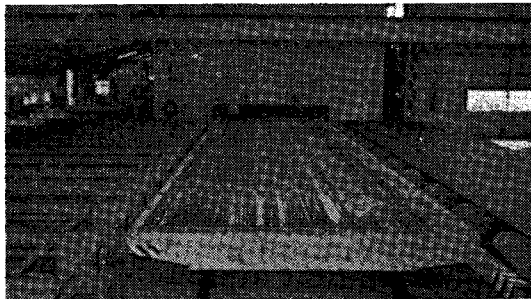
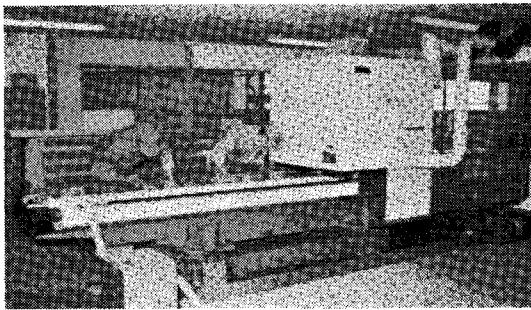


写真-2 EPM

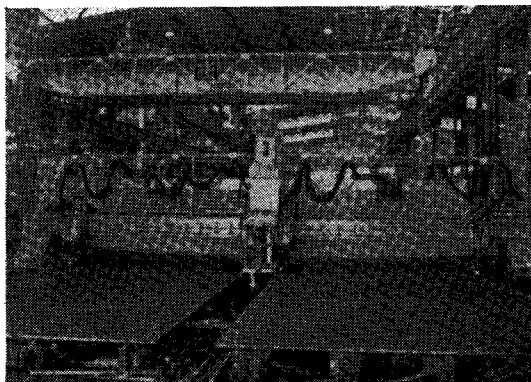


写真-3 自動切断機

② 現図の作業員が設計図を見て、部品の形状を BRISTLAN 言語を用いて表現する。このとき、言語を用いてファイルされた座標値を参照することができる。

③ BRISTLAN プロセッサで処理する。

④ 一品図の座標点列が計算され紙テープに出力される。

⑤ 紙テープを作図機にセットして一品図を描く (1/10 の縮尺)。

⑥ 一品図を集めてネスティングを行う。

⑦ ネスティングされたものを、EPM (Electronic Photo Marking) にセットして 10 倍に拡大することにより鋼板の上に焼き付ける。

⑧ 切断する。

ここで、②～⑥ が BRISTLAN NC 現寸の作業内容である。紙テープにせん孔されるデータ様式は、作図機あるいは NC 機器群によって異なるので、座標点列をこれらの機器群に固有のデータ様式に変換するポスト・プロセッサが用意されている。

紙の上をペンが動くかわりに、自動切断機のトーチを動かすことができるので、自動切断機も使用している。

机に向かって一品図をコーディングするかわりに、グラフィック・ディスプレイに向かって図形を定義する、G-BRIST システムも使用されている。これは、定義エラーを途中で発見し、同時に修正できるので、非常に便利である。徐々に G-BRIST に移行することを考えている。

ところで、BRISTLAN は非常に汎用的であるが、設計と現図との結びつきからいって、次のような欠点も持っている。

① 設計図と現図を分離しており、設計図を前提にしているので実質的重複作業が多い。

② 設計図のミスが発見できずに現図に持ち込まれる場合がある。また、設計図の転記ミスが起る場合がある。

これらは、前述の桁橋の統合図形処理サブ・システムのような形状データ・ベースの共有によって問題を解消することができる。頻度の多い桁橋に専用のシステムを適用することは、BRISTLAN SYSTEM に対する反省からも生れている。

7. システムの信頼性

本システムにより、設計計算、設計図の作成、現図作業等が行われるが、橋梁の構造として十分信頼性が高く正確なものが容易に得られるものでなければならない。このことは、とくに図形処理の範囲内で重要である。設計図、現図のミス、監督官庁とメーカーとの間の考え方の違いがないようにし、ミスもしくは考え違いがある場

合には、容易に発見・修正ができるシステムでなければならない。

本システムの検査法は、長い歴史をもつ現在までの設計図、現図の検査法を否定するものではなく、本質的に同じものである。一例として、統合図形処理システムのチェック機構を示す。これは、大別して、決定、チェック、修正からなる。その概要は、

① 形状決定の段階である箇所 の ボルト 締め の 可否 等の常に決った事項については、統一的にプログラムの中のアルゴリズムでチェックする。その結果として、形状データ・ベースを作成する。

② 形状データ・ベースより設計図 および 現図 の 全体図、任意の一品図、仮組用寸法表等を随時取り出すことができる。

③ 現図の全体図のチェックは、図形上の必要な点を座標読取機で読み、設計図と比較して行う。

④ 一品図の相互間の関係は、一品図を全体図に重ね合わせるにより行う。

⑤ 検査の結果発見された修正項目は、グラフィック・ディスプレイにより修正し、形状データ・ベースにフィード・バックさせる。

⑥ 付属品等システムの範囲外のもの、関係ある主構造の正確な三面図を出力し、手作業で記入して取合い等をチェックする。

8. おわりに

本システムはメーカーとしてのシステムであり、目的は次のように考えている。

① 省力化

② 納期の短縮

③ 設計、製作の質の向上、とくに一定水準の確保。

また、将来の NC 機器への結びつきの円滑化も重要な要素となろう。

ところで、ここでコンピューター化による弊害について一言したい。構造解析のコンピューター化は、あるモデルを設定すれば正確に計算が行えるようになったが、その反面、設計者から力学的な定性的・定量的把握、勘などを相当量奪ってしまった。本システムが完成して数年たてば、設計者は本システムをブラック・ボックスと

して使用し、橋梁関係に携わるものとして不可欠な事項を理解できなくなるおそれがある。この傾向は克服することが難しく、また克服しなければならない問題である。しかし、これにもかかわらず、設計、製作のコンピューターによる合理化は、時代の要求とともに今後も進むだろう。

コンピューターが橋梁の分野に導入されて十数年を経過した。そして、その間の初期のプログラムの整備の速度は、きわめてゆるやかなものであった。いいかえればここ数年前までは、いわば習作の期間であったと考えられ、今後は、いままでの経験を生かして開発スピードは早まるだろう。

橋梁の形態の本質的な変化は今後あまりないと思われるので、システムに要求される機能には顕著な変化はないと思われる。また、出現頻度と投資効果を考えれば、システムが一定の限度までまともなれば、それを核にして機能拡張や不便な点の修正を行うことが今後の主な仕事になる。研究的なこと、端末機の発展による改変を除いて全く新規のプログラム開発の需要は非常に少なくなることが予想される。

この一定の限度に達してからしばらくすれば、非常に便利な使いやすいものとなろう。現在と全く違った省力化、設計製作の短縮化がなされるだろう。そのときには現在の労働集約的な橋梁の設計および生産（とくに現図）が、もっと生産性の高い別種の仕事として生まれ変わるだろう。

なお、本システムは日本鋼管（株）土木設計室、同津造船所重工工作部および情報システム部の協力で開発され、昭和 49 年末に一応の完成をみる予定であることを付記する。

参考文献

- 1) 田中征登・高久達将・渡部 孝・合力俊郎：橋梁生産工程における数値制御システム、土木学会論文報告集、192号、1971年8月。
- 2) 北島彰夫・藪 勉：橋梁の設計・製作・架設一貫システム、橋梁、1972年7月。
- 3) 早貸 稔・李 和宥：新しい橋梁生産システムによる設計、製作、橋梁、1971年6月。
- 4) 金谷和久・大辻秀明・圧田 満・葛城 繁・松井五郎・山中政道：橋梁製作ラインのトータル・システム化について、橋梁、1970年8月。

(1973.7.23・受付)

“建設工事の契約・仕様”刊行案内

土木学会海外活動委員会では、土木技術者の海外活動の理解のために McGraw-Hill 社より刊行された Contracts, Specifications and Engineering Relations をテキストにして研究会を行っていましたが、1974年5月を目標にこの研究会の成果の一つとして標記の図書（A 5判 400ページの予定）を刊行することになりました。本書には海外で工事を行うために必要なエンジニアの心得、契約書・仕様書の重要さ、英米法の解釈の仕方などが記述されておりますのでご期待下さい。定価は未定です。