

1. はじめに

近年、橋梁工学は構造解析法の進歩、質のよい高張力鋼の出現、溶接を中心とする工作法の進歩、そして大ブロック工法などによる現場施工方法の発達等々によって著るしい発展をとげた。しかし、最近労働力の不足にありながら、従来にも増して大量かつ多様な構造物の建設が要請されてきており、今日の構造物の設計法、製作法に再検討を加える必要が生じてきている。

一方、ここ数年のエレクトロニクスの急速な発達、設計面においては電子計算機による自動設計を含む高度な利用を、生産面においてはN/C機械の普及をうながしつつある。しかし、今日においてはこれらの技術は分離した状態にあり、必ずしもその成果を十分に発揮しているとは言えない。このような状況に対して、ごく最近になって、これらを統合して考え、トータル化しようという考え方が強まってきている。

われわれもこのような観点に立って、設計から製作にいたる一貫システムを作ろうと考えているが、このことによって設計、製図、製作の自動化をはじめ、生産システムの全面的な合理化を可能にすることができる。

ここに、現在当社で開発している橋梁を中心とする鋼構造物でのトータル・システムの考え方と内容について報告し、さらにこのシステムを実施する際に生じる問題点について述べることにする。

2. トータル・システムについて

最近、いろいろと論じられている自動設計や自動製図は、必ずしもその成果を上げているとは言えない。特に自動製図においては、構造物の多様性と電子計算機のパターン認識に対する非能率さ、それに図面表示に対するソフトウェアの煩雑さのために、開発費とランコストがかさみ、採算がとれにくい。

また、N/C機械も、橋梁のようにほとんどすべての部材が異なるような分野では、その適用に当って一品一品パートプログラムを組んでN/Cテープを作ることになるので、やはりその経済効果を期待することは難しい。

従来、このような鉄骨・橋梁の分野においては、生産の自動化は困難であると言われていた。しかし、設計々算、製図、現寸展開の処理を電子計算機を用いて行うことによって、生産データを自動的に発生させるならば、N/C機械の効果も十分期待することができるようになると思われる。

図-1は、設計から製作にいたる概略のシステムの流れを示すものであるが、このように設計々算、製図、現寸展開、生産をそれぞれサブシステムとして考え、これらを組み合わせてトータル・システムを作り上げることによって、それぞれの部門での自動化と、原寸・け書作業の廃止が行えるようになり、同時に、トータル・システムの総合効果も期待できるようになる。すなわち、トータル・

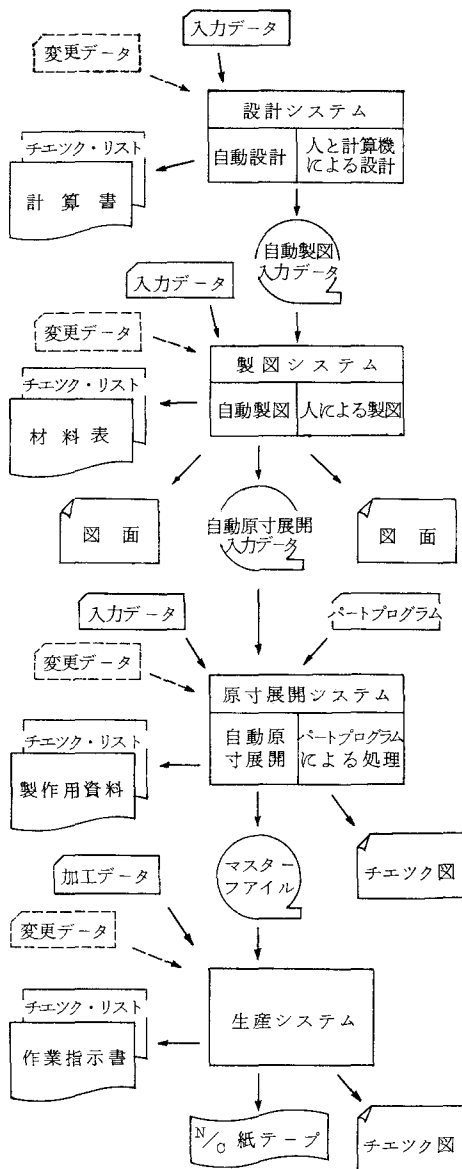


図-1 トータル・システムの流れ

この様に、設計において電子計算機を幅広く利用することにより、設計の作業能率を上げかつ設計内容の質を高めることができる。従来漠然と決めていたことに合理的な裏づけを持たせたり、過去に設計された技術的蓄積を計算機内にデータとして置くことによって、その技術を技術者全体にゆきわたらせたり、あるいは数値計画の技法などを用いて最適な設計を行うことも可能になる。そして、技術者は従来のルーチン化された作業から解放されることにより、より高度で創造的な仕事に専念できるようになる。

しかし、自動設計によって計算を行うような場合には一面では設計の内容が固定してしまい、ある

システムを採用することによって次のような効果を期待することができる。

1. 省力化と生産コストの低下
1. 工期の短縮と工程の安定
1. 精度・品質の向上
1. 誤作の減少と無駄な資材や工程の低減

3. 設計システム

設計々算に電子計算機を全面的に利用して行う場合、橋梁は構造によって計算法も一様でないので、その方法を単一的に考えることはできない。すでに設計々算法がルーチン化されているものは、自動設計として仕上げることができる。しかし、ルーチン化されていてもその使用頻度の低いもの、設計の過程で設計者の判断を必要とするもの、あるいは設計法があいまいなものについては、人間と電子計算機がたがいに助け合いながら設計を進めなければならない。その場合、プログラムは機能的に適当な単位のものとして用意し、人間の判断を交えながらそれらを組み合わせて計算を進めていくことになる。また、自動設計ではこれらのプログラムをモジュールとして組み上げる形を取ればよい。

図-2 は、すでに完成している合成桁の自動設計の流れ図である。図において、各処理はプログラム単位で表わされているが、それらはそれぞれ独立した機能を有する汎用プログラムである。これらのプログラムは、ディスクファイルを介して順次プログラムを自動的に呼び出しては計算を行いながら計算書を作り、最後に自動製図の入力データを作る。

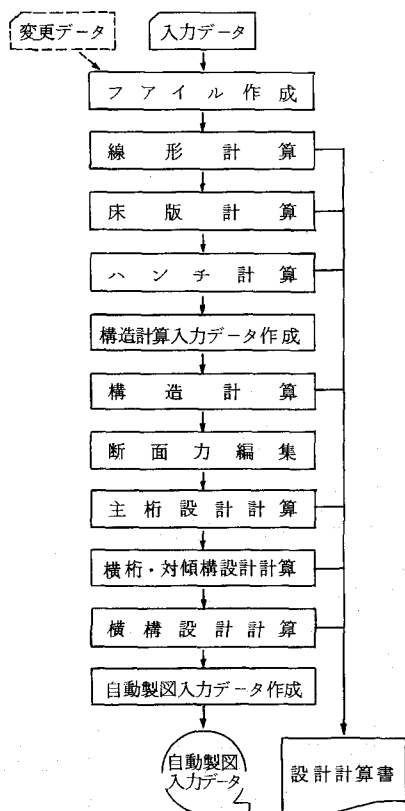


図-2 自動設計の流れ

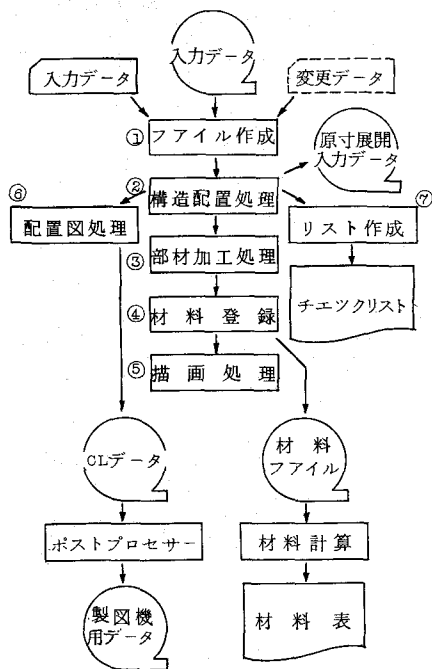


図-3 自動製図の流れ

時には不合理なものが強制されてしまうことになる。このようなことをさけるためには人とコンピュータが対話しながら設計を進めるマン・マシン・システムにするのが好ましいが、バッチ形式の場合でもそれに近づける配慮が必要である。そのためには、システムにおいて特にファイルのデザインとデータの管理を系統的に考えることが大切で、この場合、データはプログラムから完全に独立させるのがよい。また、構造解析や設計々算が人間の手を離れて行くにつれ、従来のような設計者の直観的な判断力が薄れていく傾向にあり、このようなシステムにおいて設計者がいかに構造物を見、安全を保障していくかということも考えていくべきである。

4. 自動製図システム

トータル・システムにおいては、自動製図の膨大な入力データが設計々算の時点で作られ、処理の結果として図面情報のほか、材料もすべて拾い出されるので効果的である。しかし、自動製図のプログラムの開発は、その多額な開発費とコンピュータの効率の悪さを考えて、橋の構造内容がはっきりし、プログラムの使用頻度の高いものに限るべきである。トータル・システムの立場からは、自動現寸展開から生産システムに対する方向を中心に考えた方がよい。

図形処理において最も大切なものの一つにその言語がある。図形処理に、算法言語としての FORTRAN や ALGOL をそのまま用いるとプログラミングが大切である。APT 等 N/C 言語は、すでに出来上ったものを写す場合はよいが、何もなしから図形を作り出していく作図言語としては適していない。そこで我々は、この分野に最も適していると思われる図形処理言語 DAISY (DRAWING ALGOL INTERPRETING SYSTEM FOR YOKOGAWA) を開発した。この言語は、ALGOL に幾何計算、作図関係のリザーブド・ワードを加えたもので、ALGOL と図形処理用の言葉が共用できるので、プログラミングを非常に自由に行うことができる。DAISY は一種のジェネレータ この言語で書かれたものを一度 ALGOL ソースで変換し、その後でコンパイルする。DAISY は、幾何変数の宣言、操作文、演算文、マクロ指定文、描画命令文、読み込み文、補助命令文などからなっている。幾何変数の宣言では、

点、直線、フィギュア（円と直線の組み合わせで、一筆書きのできる図形）、パターン（フィギュアと同じだが、一筆書きでできなくてもよい）、およびメンバー（フィギュアに厚みを加えたもので材質などの情報も持っている）からなっている。操作文では幾何変数を移動したり、平面においたり、加工したりする。演算文はその長さや面積などを計算したり、論理判定をしたりする。マクロ指定文では、平面指定や描画範囲を指定したりし、描画命令文は描画を実行させる。寸法線を自動的に引かせたり、寸法を自動的に記入させることもできる。

当社では現在、曲線桁を含む任意形骨組を有する合成桁の自動製図プログラムの開発を終え、連続桁のプログラムを開発中である。図-3は、合成桁のプログラムの流れを示したものである。図に示すように、まず製図に必要なデータをディスク・ファイルにそろえ（①）、主桁の断面変化点、添接、補剛材の位置関係の検討を行う（②）。次に部材を加工し（③）、材料を登録した後（④）、出来上った部材や寸法を描画する（⑤）。途中ファイルの内容を調べ（⑦）、設計者が内容に不満な時は関係するデータを変更する。図において、各処理はプログラム単位で書かれているが、③、④、⑤の処理は横桁、対傾構、横構について同様に行われ、プログラムはそれぞれ別れている。これら一連の処理を行った後、作図用のデータは一担のデータとしてファイルに取り、これをポストプロセッサにかけてから自動製図機で作図する。

作図という過程は、本来人間の経験的な面や思考的な面が多いだけに、プログラミングの負担も大きい。しかし、設計者の立場からみると、自動製図による作図は自分の気に入るものが出てくるといふ保障はなく、また途中にミスが入り込んだ時、最後にならないとわからないという不満がある。従って、システムはこのような点を考慮した柔軟なものでなければならない。そのためには構造詳細をパターン化し、プログラムをモジュール化してそれらを有機的に結びつけるなどシステムのデザインにおいて工夫すると同時に、処理の途中で図化の前にグラフィック・ディスプレイに写すとかハードコピーを取れるようにするなどハードウェアの面からも配慮する必要がある。

プログラムの開発の負担を軽くし、自動製図の効果を発揮させるためには、構造の標準化と現在の製図法の検討が求められる。標準化の取り組みは現状では十分とは言えず、各官庁間でも統一されていない。また、現在の図面の表示法は自動製図には適していない。だからといって製図法を変えるというわけにはいかないであろうが、この際もう一度設計、製作、架設など広い観点から再検討すべきである。

自動製図においては、その経済効果が問題にされる。その中で特に問題にされるのが、先にも述べたマシン効率の悪さと予想以上にかる開発費である。マシン効果に関しては、パターン認識をもっと効率的に行えるベーシックなソフトウェアとハードウェアの発達が待たれる。開発費の効率を上げるには、ソフトウェアの基本となる統一的な規準の検討やソフトウェアの共同開発等、官民一体の協力態勢が望まれるところである。

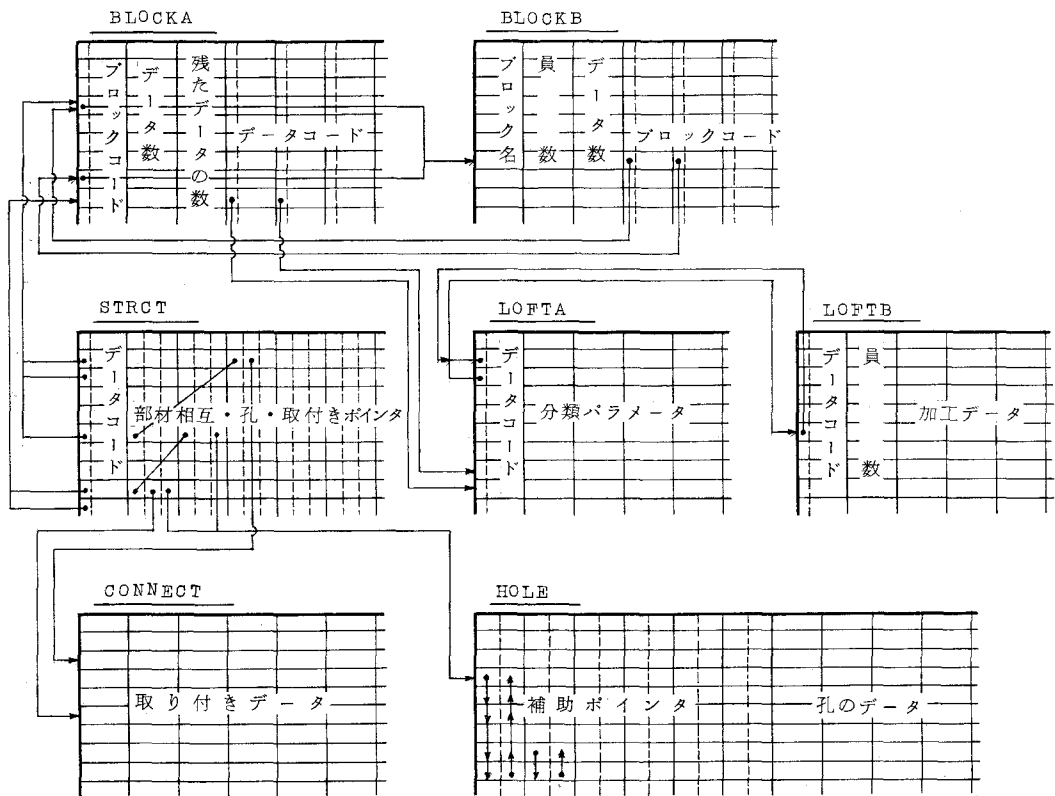
5. 原寸展開システム

トータル・システムの採用によって得られる大きなメリットの一つは、電子計算機で構造物の展開処理を行うことにより、従来の原寸場での原寸展開作業とけ書き作業を廃止することができるように

なることである。この展開処理は、工場へ生産情報を送るのが主な目的であるから、たとえ自動製図ができないものでも行わなければならない。したがって、自動原寸展開が行えないものは、パートプログラムを組んで処理することになる。

工場への生産データは、従来の図面にかわってファイルを通して伝達される。工場へデータを送る場合、まず工場では、どのようなデータをどのような形で必要としているか考えなければならない。当社は、工場の作業、業務の内容を分析、検討した結果、このファイルには次のような内容を持つものとし、これをマスターファイルと呼ぶことにした。すなわち、そのデータの内容は、1.データの番号、2.ピースマーク、3.使用個所名、4.個数、5.鋼種、6.部材寸法、7.板厚、8.材質、9.外周を構成する線、10.切り抜きを構成する線、11.孔の種類、12.曲げ加工データ、13.掘り加工データ、14.他の部材の取り付け情報、15.メン取りのデータなどである。

このマスター・ファイルを作るために、橋梁のキャンバーを考慮して部材を展開し加工するわけであるが、これらの処理においては、いろいろな情報が複雑にからんでいる。しかも、部材のデータはランダムに登録され、かついつでも自由に追加、修正、削除ができることを要求されている。このことは、パートプログラムを組んで処理を進めていこうとする場合に特に顕著に現われるもので、プログラムを組む人は気楽に部分的なことだけを考えて作業を進めていくと自然に全体のファイルが系統的に構築されていくことが必要である。図－4は、本システムにおける展開処理部分のデータとファ



図－4 ポイントとファイル相互の関係

イルの相互関係を示したものであるが、このように各データの間はポインタによって緊密に結ばれている。

図-4 について若干の説明を加えると、ファイルは部材（ピース）と部材の関係すなわち構造を表わすための STRCT, CONNECT, HOLE, 部材とブロックあるいはブロックとその集合体との関係を表わす BLOCKA, BLOCKB それに部材そのものの属性を表わす LOFTA および LOFTB から成っている。STRCT は全部材に対してデータを持っており、そこには、関係する部材が互いに指し合うポインタと、ある部材が自分にどのような位置に付いているかというデータの入った CONNECT へのポインタと、相手がボルトで取り付いている場合に孔のデータの入った HOLE へのポインタを持っており、同時にレコードの先頭には、自分がどのブロックに入っているかを指す BLOCKA へのポインタを持っている。BLOCKA には、あるブロックはどのような部材からなっているかというデータと、その部材の入っている STRCT へのポインタが入っており、同時にそのレコードの先頭には同じ名前を持つ BLOCKB へのポインタが入っている。BLOCKB は、同じブロックとして共通の名前を持っているそれぞれのブロックが、BLOCKA のどのレコードにあるかを指すポインタを持っている。部材は、同じものあるいはある許容範囲で似ているものを同一部材として処理する。LOFTA には、その分類の対象となるパラメータが入っており、同時にこのレコードの先頭には加工処理するための部材の具体的なデータの入っている LOFTB へのポインタが入っている。LOFTB は、自分と同じで代表となった部材の入っている LOFTA のポインタを持っている。なお、LOFTA は STRCT と一対一で対応しており STRCT のポインタは LOFTA のポインタでもある。

図-5 は、現在開発中の合成桁の自動原寸展開の処理の流れを示したもので、システムは上のデータ構造をベースにしている。図に示すように、まず自動製図で作られたデータと若干の現寸展開用の入力データをもとにして、骨組線の展開処理を行い（①）、部材一品一品のコード化、相互の関係づけ、そして各ブロックへの仕分けを行う（②）。次に同一部材の分類を行うのに必要な分類用のパラメータを作り（③）、横構→対傾構→横桁→主桁の順に分類を行い、部材を形造るために必要な諸寸法、ボルト孔に関する情報を作成する（④）。この処理順序は、例えば対傾構の下弦材は横構ガセットとの取合いの孔の配置が決まらなないと同一部材の分類が行えないなどの理由で必然的に決ったものである。以下、図形処理を行って各部材を作り（⑤）、部材として登録された情報以外にマスター・ファイルで要求しているデータを追加し（⑥）、さらに同一ブロックの分類を行い（⑦）、編集して（⑧）、最後にマスター・ファイルを作る（⑨）。なお、ここに各処理はプログラム単位で書かれているが、④、⑤、⑥の処理は主桁、対傾構、横構とそれぞれ別のプログラムで行われる。この流れからもわかるように

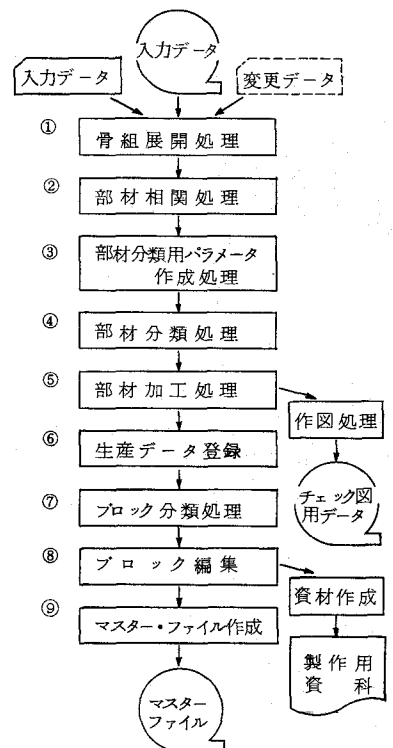


図-5 自動原寸展開の流れ

、このシステムにおいては上のデータ構造に対する配慮のほか、グループ化の考えに力を入れている。すなわち同一であるかまたは同一にしてもさしつかえない部材あるいはブロックは一つのグループとしてまとめ、工場製作の省力化につながるようにした。

従来、原寸展開は設計と製作の間にあって、構造物の展開された状態での形を決めると同時に、物を確認しチェックする場合もあった。これを自動化すると、従来のような直接的なチェックは行なわれなくなるわけで、その点をどう埋め合わせるか、今後十分検討する必要がある。例えば、図形を1/10程度の縮尺で画いてみるとか、必要な寸法をリストに取ってチェックすることも最小限必要であろう。また、システムの中にいろいろなチェック・ルーチンを入れるとか、ファイルのポインタを利用して部材と部材の取り合いの状態をグラフィック・ディスプレイに写してみるなどいろいろな工夫をする必要がある。

従来の現寸場で、いろいろな変更事項が出てくるように、このシステムでも実際の仕事を進めていく過程でデータを変更したり、追加したり、削除したりすることは多いと思われる。このような場合にそなえて、あるデータの一つさわるとそれに関係するデータが自動的に更新されるルーチンを完備することが大切である。この時に、上に述べたポインタは大いに役立つものである。また、データが途中でこわれた時のファイルの修復方法も、システムの中に考えておかなければならないことの一つである。

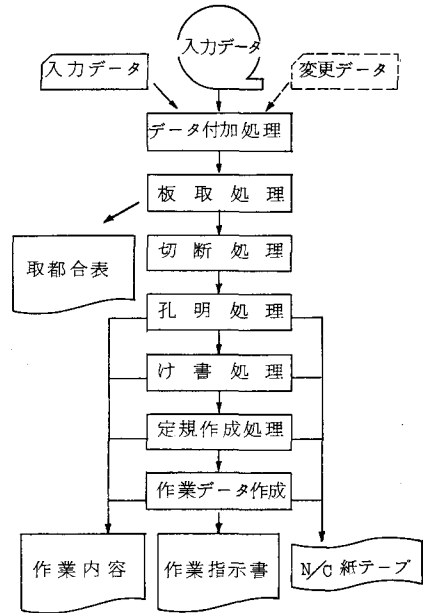


図-6 生産システムの流れ

6. 生産システム

すでに述べたように、設計部門から直接ファイルを通してデジタル情報を受けることによって製作部門ではN/C機械の導入が容易になり、かつ製作の補助作業としての原寸・け書き作業を省略することができる。図-6に示すように、ここに自動化の対象としているのは、切断、孔明、け書きおよび定規作成の前加工までである。

N/C機械の導入にともなって、工場では組織や運営の面で大きな変化が起り、かつ設備や償却の問題も一層重要になってくる。機械の導入に当っては、当社でも工場のレイアウトや運営の問題の検討のほか、タイムスタディを行ってN/C機械の経済効果や導入台数の検討が行われた。現在、全面採用に先だちテスト機を導入してシステム作りを行っているところである。

以下、システムにおける処理項目別にその概要を述べる。

- 1) 加工データの付加 設計段階では加工のためのデータに不足しているものがある。ここでは、縮み代、削り代、加工代、変形量などの加工データを付加する。
- 2) 板取り処理 マスター・ファイルより材質、板厚、寸法、データ番号等を読み仕訳けた後、

最もロスの少ないように原板寸法を定め、板取り表と注文書を作成する。

3) 切断処理 マスター・ファイルの内容と板取り結果をデータとして、N/C 切断機の紙テープを作成する。まず、形状を切断する形にし、切断点の決定、切幅補正、ピースマーク、取付き部材、基準線などのけ書き線を付加した後、原板に対する部材の配置を行い、ブリッジの付加、切断スピードの決定などを行った後C Lデータを作る。この段階でチェックのための作画を行い、データの不備不足はないか、板取りの内容はこれでよいかなどについてチェックを行う。

4) 孔明処理 まず外形線データより機械へのセット位置と方向を定めた後、重ね枚数、切込み深さを決め、次に孔のデータにより回転数、送り速度、移動量を計算してC Lデータを作る。この場合も、チェックのための作画を行う。

5) け書き処理、定規・型作成処理 部材のけ書きは、ガス切断時に殆んど行うが、一部加工したものに対してけ書きを行う必要がある。型の作成は製図機を用いて行ない、定規については寸法と記号をリストにアウトプットする程度でよい。

6) 作業指示書作成処理 加工部材に対するテープ番号やセッティング、加工手順などを出させるものである。

7. むすび

ここに、橋梁の設計から製作にいたるトータル・システムについて報告し、それらを開発・実施する際に生じる問題点について述べた。このシステムでは、現在の図面というアナログ型の情報伝達の方法からマスター・ファイルというデジタル型の方法へ変っている。従って、今後実施に際しては、生産現場では今まで生じなかった新たな問題が生じることも考えられる。特にちょっとしたミスが多くのおしゃかを出したり、大きな工程の遅れにつながる危険性を持っている。しかも悪いことに、これらのエラーの発見は必ずしも簡単でない。システムは、これらのことを技術的に十分バック・アップできるものでなければならない。そのためには、エラー・チェックの機能、データ修正機能の問題に対して、がっちり正面から取り組む必要がある。これらの機能は、仕事そのものを処理するシステムと表裏一体をなしている。このような考えから、ここではデータ・ベース的な考えを一部に取り入れた。これらの問題は、さらにマン・マシン・システムの方角を指向しているが、その背後にあるエンジニアリング・データベースの分野は、いまだにその技術が確立しているとは言えない。この方面のハードウェアおよびソフトウェア技術の一層の発展が望まれる次第である。

参考文献

- 1) 長谷川、花村：The Total System for Design and Fabrication of Steel Structures by Means of Electronic Digital Computer, The 9th IABSE Congress, Amsterdam, May 8-13-1972
- 2) 長谷川、花村：鋼構造物の設計と生産を結ぶトータル・システム，1971年パロース研究会論文集