

横河橋梁 長谷川鎭一

○鳥居 邦夫

飯田 勝

最近の橋梁設計では、電子計算機の助けを借りないで設計するという事は、まずなくなつて来た。しかしその使用法は、単に、与えた In Put Data を使つて計算させるという、いわば、そばん代りにしか用いられて居ないというのが現状である。これでは電子計算機が持つ機能を十分生かしているとは云い難い。その機能を十分發揮させるためには、機械に“判断”をさせなければならない。与えられた設計条件を基にして、細部設計をも含め、図面を書くのに必要な数値を全部計算させると云う、いわゆる自動設計の方向に向わなければならない。これを更に発展させて、人間が、その Out Put Data を見て、図面を書き、これを又人間が見て、原寸図を描き、郵書きを行うという一連の作業を、機械に任せることが可能である。設計計算結果を磁気テープに保存して、これを処理して、N/C 機器にかけるのである。従つて、切断作業まで自動化することが可能になつて来る。吾々は、ここに最終目標を置いて、この作業にとりかかつた。

1) 自動設計

橋梁構造の自動設計といへば、トラス、ラーメン、アーチ、吊橋、等すべての形式について計算できるようにするのが望ましい。しかし限られた記憶容量、高い計算機使用コスト等の制約や、経験の浅さ等を考えるとき、先ず最も簡単なものから始めるのが不難である。この理由から、現在鋼橋として、最も多く用いられ、それ故に、問題点もほぼ出尽して、計算方式が固定化している。活荷重合成桁の自動化から着手することにした。

1-1 計算法の概要

従来、手で行つて来た計算の順序は次の通りである

- 1 線形計算
- 2 設計条件の決定
- 3 床版の計算
- 4 主桁の計算

荷重強度、分配係数、断面力、断面配置、現場継手、撓み

5 細部設計

分配桁、端対傾構、補剛材、横構、ジベル、沓

この過程を、如何に手戻りを少なくして、計算を進めるかが、設計屋の腕の見せ場所である。そのためには、予め仮定しなければならない値を、巧く決めてやらなければならない。しかし計算機を使用する際には、この難問は、大した問題ではなくなる。人間の手でも、計算できるものを、機械にやらせるのであるから、一通りの計算は、極く短時間でやつてのける。したがつてその過程の途中で自由にフィードバックを行うようにしておけば、最初の仮定値は、何でもよいことになる。

これを能率的に行い、記憶装置をできるだけ節約するには、先に述べた、各項目を、全部サブルーチンにしておき、メインルーチンには、これを呼び出すだけの役割を持たせた形にするのがよいと考え、この方法をとることにした。

1-2 設計条件の選択

設計条件は、すべて最初から与えられている場合と、そのうちの一部は与えられて居らず、計算の過程でこれを決めなければならない場合とがある。従つて設計条件で不足するものは、機械に決めさせなければならない。これに該当するものとして、次の5項目を考え、これだけは、メインルーチンで決定させるようにした。

- 1 主桁本数
- 2 主桁間隔（床版の跳ね出し長を含む）
- 3 構桁間隔
- 4 ウェブ寸法
- 5 床版厚

その決定法は、右の図の通りである。

この場合、与えられた設計条件は、その数値を InPut し、与えられない場合には、負の数を InPut して、正の場合には右のルーチによつて、その値が変えられることのないようにすることにした。

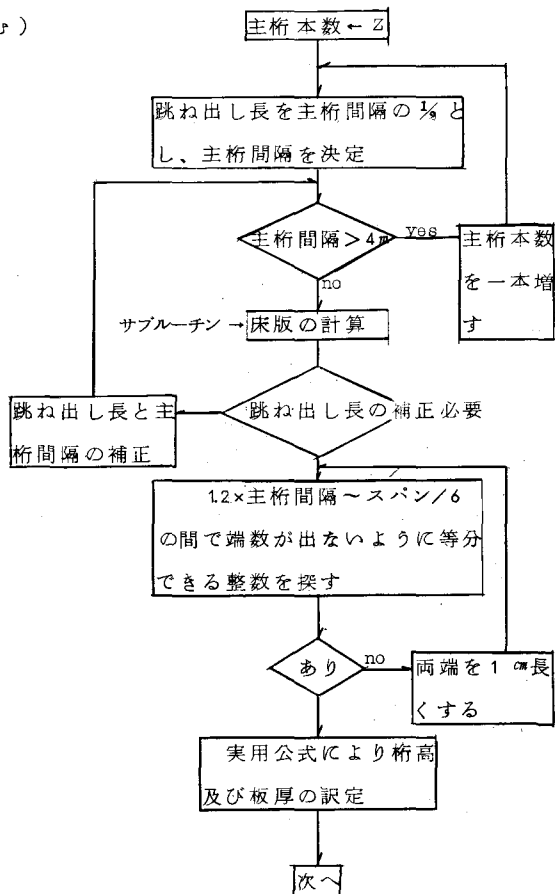
1-3 メインルーチン

先にも述べた通り、ここでは、サブルーチンと呼んで、これに実際に計算をさせる役割と、フィードバックを行わせる役割とを持っている。これは、ちょうど、鶏と卵の関係のように、お互いに、どちらかが決つて居ないと決定できない数値が、存在することによるものである。その代表的なものが、主桁と横桁の剛性と、分配係数であり、最も雄大な繰り返しを行わなければならないのが、主桁の剛性と、撓み制限である。これらは、最初に、極くラフな仮定値

（横桁の剛性を無視）したもので出発して、補正を繰り返すことにより、適当な値に収斂するようにした。この繰り返しは、1回につき1分も要しない程度のものである。

1-4 サブルーチン

実際に演算を行うのは、すべてサブルーチンである。その種類は、次の通りである。



主桁の計算としては、

- 1 荷重強度
- 2 荷重分配
- 3 断面配置
- 4 現場継手
- 5 撓み

細部計算としては、

- 1 補剛材
- 2 対傾構
- 3 横構
- 4 ジベル
- 5 沓

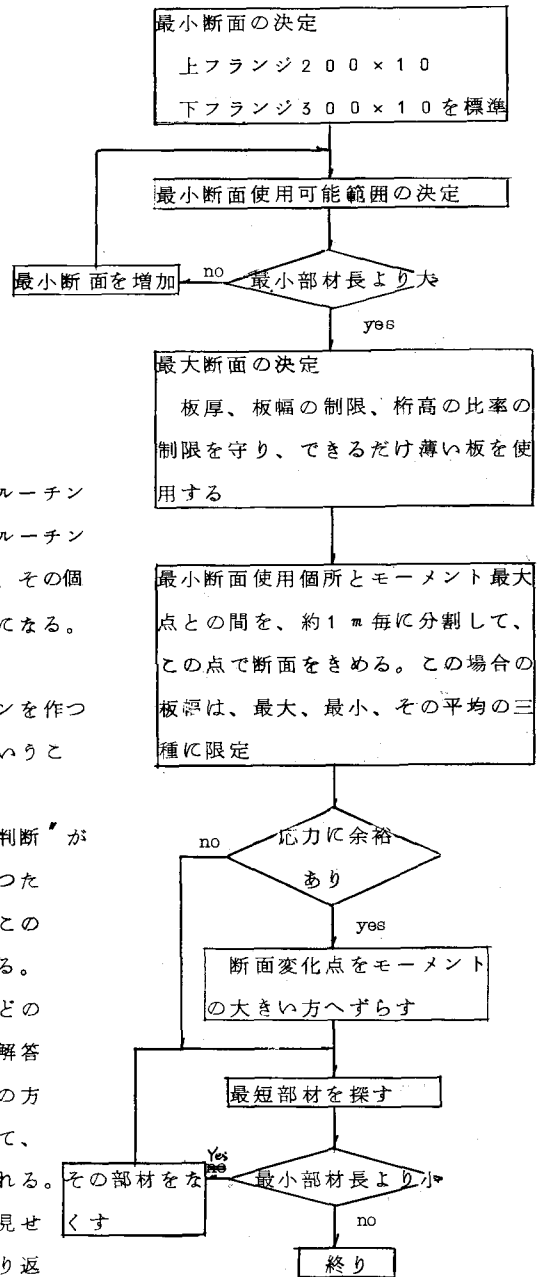
その他、床版及び土の計算に付直したサブルーチンを用意した。このように実際の計算をサブルーチンにしておくと、計算法を変えたいときには、その個所を、そつくり交換することが非常に簡単になる。例えば、荷重分配に、Guyon Massonett法と、Leonhalt - Homkeng法との両方のサブルーチンを作っておいて、適宜、交換して使用する。等ということが可能になる。

上に挙げたサブルーチンの中で、最も“判断”が多く、プログラムを組むときに苦勞の多かったのが、断面配置と、継手の計算とである。この2項目について少し詳しく述べることにする。

まず断面配置については、主桁の断面をどのように選んだらよいか、という問題の模範解答は、今の所、見出されて居ない。従つてその方法と基本的な考えとは、設計する人によつて、まちまちで、その人の主観に大きく左右される。それだけに、ここが熟練した技術者の腕の見せ所でもあつたのである。色々試行錯誤をくり返して、組んで行つたのであるが、未だ完全なもの

ができたとは云えないが、一応実用には耐えるであろうというのが完成した。上のフローチャートが、これの概要である。

これに続いての難関が現場継手の計算である。これは、ゲージとピッチとが決れば、後は簡単であるが、ゲージをきめるのが厄介な仕事である。フランジについては、ウェブをはさむゲージ



を120, 130, 140の3種類とし、ゲージラインは、片側1列から、最大4列に限定して行うことにより、端数を出すことなく等分されたゲージを得ることができる。引張りフランジのピッチは、先端2列を、隣のリブとの関係がなくなる程度まで広くすることで計算を簡易化した。ウェブについては、モーメントプレートと、シャーププレートとの真中のゲージを巧く調節することにより、他のゲージが等しくなるようにきめた。

1-5 自動設計の総括

このようにして、設計の自動化を進めてきたのであるが、簡単だと思われた活荷重合桁の計算法にも、未だ残された問題があり、これを自動化するのは容易でないことを知った。これが最初の試みでもあるので、条件は、左右対称を仮定する等、かなり条件を緩やかなものを対象にしている。これを基礎として、合成桁なら何でも来いと云えるところまで練り上げるのが今後の課題である。

先に述べた如く、これは、図面の自動化のデータとなるものであるから、これによつて得られた計算結果は、すべて磁気テープに Out Put されるようにした。

2) 自動製図

橋梁製作では、その形状が、極めて類似した構成部材を、多種少量に生産して居り、N/C機器の使用が大きく作業能率の向上に貢献することについては、異論のない所であると思われる。しかし、現在の段階では、橋梁業界はN/Cの導入に関して、造船業、電子工業等に、かなりの遅れをとっているのが現状である。早急に橋梁用N/Cのソフトウェアの開発、電子計算機を主軸とした設計から製作までの一貫した新しいシステムの検討が必要である。自動製図も先にのべた如く、この過程の一段階として、行われるものである。橋梁製作にあつて作成される図面は4種類あり、

- 1 客先の要望がある場合、基本設計として提出されるもの
- 2 詳細計算を図面化したもの
- 3 工場用の製作図
- 4 現場用の組立図

である。設計者が作成するのは、1・2であり、製作者が作成するのは3・4である。このうち自動化を目指すのは、(2)及び(3)のうち板取りに用いる原寸図とすることに決定した。この段階で問題になつたのは、大きく分類して次の2点であつた。

- 1 橋梁用作図問題処理のソフトウェア
- 2 ハードウェア

2-1 ソフトウェア

1についてはまず、N/C製図機のペンの空送りを最小限にすることが重要なポイントとなる。これまで熟練した製図者の行つて居る能率的な方法を取り入れ、線の太さの選択や、空送りの頻度を小さくするプログラムが考えられる。N/C制御用テープを打ち出すプログラムは、設計図だけでなく、製作図、N/C工作機械に流用が可能であり、同じパターンの部材ごとに、作図用工作用のサブルーチンを作成しておくことと便利である。例えば、設計図を作成する際には、夫々の部材の

作図用サブルーチンを、N/C図化機用人力テープに、順序よく座標値を打ち出させる。コントロールプログラムを別に用意しておく。すると、図化機は端の部材から順に、縁線を描き、ジベルを描き、リベット穴を描いて行く筈である。この方法によると短い直線が数多く現われ、ペンの空送りが増加して、図化機の能率の点からは好ましくないが、部材毎の原寸図（又は1/10程度の縮尺図）を書かせるためにはこれが必要なので、この方式を採用することにした。将来、N/C工作機が、数多く使用される時、部材工作用プログラムは、これに少々の手を加えるだけで作り上げることができるであろうと考えられる。

実際の図化作業にあたっては、自動設計から決められた部材、部品等の諸元は、設計図を描く為の必要十分なものであり、これから諸寸法が決つて来る。その他に設計計算では与えずにおき、作図の際に、形状、寸法を決定するもの、それに関連した示方書の規定、更に社内で慣習的に行っている細部寸法の処理方法等、さまざまな条件をプログラムに盛り込まなければならない。

製作図用のプログラムは先に述べた思想に従つて次のように作つた。まずパターン処理用サブルーチンがある。これは部材作図用サブルーチンの外に、ジベル用、アンカーボルト用、リベット用、シュー用のサブルーチンから成る。夫々の部材、部品は、夫々仮の原点を与えられ、鉛直軸、橋軸、これらに直交する第3の軸方向の長さを、入力或いは、作図段階での計算結果から決められると、原点を基に、夫々のパターンを描かせる仕組みになつている。次にコントロールプログラムでは、主桁用、対傾構用、横構用等のブロックプログラムがあり、必要なパターン処理用サブルーチンを順次呼び集め、設計図面上での原点を次々に指定して、N/C図化機用コントロールテープをアウトプットする。

原寸図を描く場合、ガス切断、溶接による縮み量を、部材毎に与え、再び部材作図用サブルーチンにInputするプロセスが必要である。部材の加工による縮み量は、加工時の部材の拘束状態によつて異なり、単に部材の大きさから決められるものではなく、製作工程も考慮に入れなければならない。従つて現段階では、先に設計図を書いて、熟練者がこれを見ながら、縮みの補正量を、マニュアルにインプットすることにした。原寸図を書かせることの利点は、それだけで既に小部材の罫書作業を廃止できることの外に、EPM（電子写真罫書法）、或いは、N/C工作機導入を容易にさせることである。自動設計の重点を、原寸図の自動製図に置いたのもこのような理由によるものである。

2-2 ハードウェア

これは直ちに、電子計算機を如何なるシステムで使用するかの決定にまで遡るもので、作図言語処理用サブルーチンを作つて、前記のパターン処理用サブルーチンの中で、随時呼んでやる方式と、既にいくつかの作図処理能力を持つた専用（Wireal-Program形）の電子計算機用に一旦アウトプットし、図化機はこの専用のコンピューターを通して動かす方式とが考えられる。いずれの方式でもN/Cのハードウェアの能力が問題となるが、橋梁用本位に作られた、N/C図化機がないので、どの機種を選択しても、多少の無駄が生じる。N/C機器の導入は、それを図化機に限つても設計、生産システム、にさまざまな変革を惹起し、又大きな投資を必要とするものであるから、未だ作図問題処理の方法に結論が出ず、従つて今の二つの方法の選択や、機種の決定が遅

れ、N/C 自動図化機の実用は行われていないのが現状である。

自動設計、製図についての概要は、以上の通りであるが、全体的なプログラムは、完成からは末だ程遠いところにあり、そのほんの一部を完成したに過ぎない。又これが完成しても、単に人間が行っている方式をそのまま機械に真似をさせたに留まる。これでは末だ十分とは云えない。機械に適した設計、製図を考え、できるだけ、コストの安い橋梁を作るような工夫をすることが大切である。このように考えて行くと、末だ前途はまだまだ多難の感が深い。