

国鉄における自動設計プログラムの反省と展望

国鉄橋造物設計事務所

正員 阿部英彦

同

正員 O 神谷良博

1 まえがき

土木構造物の設計にコンピュータを利用することは、生産を合理化する一つの手段として当然の成り行きであり、国鉄においても、10数年前から自動設計プログラムの開発にかかり、数年前に殆んど全種類の鉄道用橋りょう自動設計プログラムを完成し利用している。しかし、プログラムの規模、適用範囲、保守管理、プログラムの発注方式などいろいろの問題があり、将来の発展のために、今やある程度脱皮が必要となって来た。本報告では、自動製図を含めて今までに経験した問題点なども及ぼし、それにもとづき鉄道用橋造物の自動設計プログラムの将来展望を述べる。

2 設計システムの現状

国鉄の設計システムの現状は既設計情報検索と自動設計とに大別できる。既設計情報検索は標準図と地方局で設計した構造物の図面及び設計計算書をマイクロフィルムに収録すると共に、構造物ごとのデータをテープに蓄積しコンピュータで検索するシステムで、利用者の要請に応じられる体制になっている。すなわち、構造形式、材料、寸法、数量などの設計に関するデータをメインファイルに、施工場所、施工法、地形地質、環境条件などの施工に関するデータをサブファイルに蓄積しておき、利用者が必要する条件をコンピュータに入力して必要な項目を出力している。

国鉄の橋造物は列車の安全を確保し一定の耐久性を持つことが絶対条件であるが、今や環境保全、外観なども考慮した設計をに掛ける必要がある。

所長は蓄積されたデータの数が多いため現場に一致した構造物を提供できるが、橋台、橋脚のような工法に関連する構造物をそのまま流用できるまでには至っていない。しかし、構造計画の段階で比較設計をする場合の資料として、また、重複設計の防止、保守のための諸データ、構造物の統計処理などに役立っている。設計システムの流れとしては構造形式を決定する構造計画とそれら諸元、応力度を求めて図面に表現する詳細設計とがある。図-1は構造計画の際既設計情報検索を有効に利用するため流れ図である。

自動設計は既設計情報検索で探索して該当する構造物がない場合、自動設計プログラムの適用範囲を調査してから実行することになっている。自動設計プログラムを利用すれば

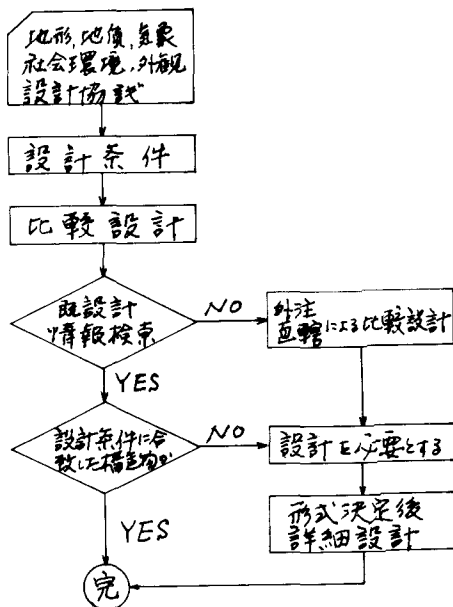


図-1 構造計画の流れ

1) 設計精度の均一

2) 審査の簡略

3) 設計期間の短縮

4) 外注設計費の節約

などのメリットがあり、外注設計を主体にプログラムをコンサルタントに貸出して設計々算に相当する額を総価から割引く方式を採用している。

自動製図についてはPC箱型機と陣笠園鉄のコンピューターと製図機を使用するプログラムになっているが、製図機が旧型式で能率が悪く、プログラムが完全に整備されておらず多手を加えなければならないことなどにより余り活用していないのが現状である。

自動設計製図プログラムを表-1、表-2に示す。自動設計プログラムに対しては利用者の便宜をはかるために概要表を作成した。その主な内容はプログラムの適用範囲と計算過程、入出力の大意とコンピューターの処理時間、プログラムの大きさや入力カード枚数などをまとめたものである。

また、初めての技術者にも入力できるようにコーディングシートの記入例と出力シートに注釈をつけたマニュアルを作成し、関係機関に配布して普及につとめている。

3 自動設計プログラムの問題点

1) 開発上の問題点

自動設計プログラムを開発する計画の段階で何時も論議されるのは、構造物の種類を対象とした単能プログラムにするか、多型式の構造物を包含する汎用性プログラムにするか、あるいはその中間の類似した構造物を一つのプログラムに構成するかということである。一般に汎用性が広ければ広い程プログラムは大きくなり、大型コンピューターが必要となる。また、ランニングコストも高くなる。しかし、適用範囲は広まり、設計システム全体のステップ数はコンパクトになるのど保守管理をするうえで都合がよい。国鉄で所有している自動設計プログラムの年間使用件数をみると数件から100件を超えるものまであり、構造物の種類によって大きな開きがある。従って、使用頻度の高い構造物から単能プログラムを作成し、適宜能率のよいプログラムに修正する方法が経済性もあり現実的であると考えられる。

如何なる構造物の自動設計プログラムを作成するか、また、適用範囲をどの程度にするかは予算面もあるが設計の頻度により決定されなければならないことは前述した通りである。桁橋のように諸元を決定する因子の少ない構造物は、標準図の種類を増せばコンピューターに依存する必要はないという考え方もある。殊に自動製図と結びついてない現状では尚更である。しかし、自動設計プログラムは10数件の使用回数で償却できると云われており、標準図作成のために開発した方が有利となる場合もある。一方使用件数の少ない例として設計々算が非常に簡単で入力データの作成、ランニングコスト、時間のロス、ランニングコストなどを考えると電算を用いずに設計した方が安上りであるということもあるので、プログラム開発の有意性の程度を十分調査する必要がある。また、単能プログラムと云えども適用範囲を広くすれば開発費とランニングコストに影響、修正、変更の労力も大きくなる。従って、想定されるニーズの80~90%に適用できれば十分であると思う。適用範囲を超えるものとして、例えば、斜角の小さい桁橋とか、非対称変則ラーメンなどでは完全自動に

表-1 自動設計プログラム

上路プレートガーダ
下路プレートガーダ
合成桁 U型
同 箱型
F路トラス
H鋼埋込桁
RC単丁桁
PCI型桁
PC箱型桁
PC下路桁
ケーソンの安定計算

表-2 自動製図プログラム

上路プレートガーダ
下路プレートガーダ
合成桁
PCI型桁
PC箱型桁

らないが特殊設計として電算サービス会社にある解析プログラムを活用して設計すればよい。単能プログラムの構成は設計と算書の順序に従って積み上げたもので、簡単な格子計算とカラーメン計算程度は機能として持つ必要はあるが、有限要素法のような複雑なプログラムを内蔵する必要はないと思われる。

プログラムを計画する以前の問題としては設計の標準化と思想の統一をばかり、開発段階ではプログラムの骨組とも言うべき概要フローチャート、詳細フローチャートについて複数の専門技術者により徹底したチェックを行ない、コーディング、デバッグ、総合テストへと進めて行く。個人的に開発を進めた結果、荷重の組み合わせケースが多過ぎてランニングタイムに影響したとか、地盤反力の高さによる割増を忘れ総合テスト後に見つけて手直しに時間がかかった例もあり注意しなければならない。なお、プログラムはわかり易い表現とし、独立した要素に細分化してサブルーチンパッケージ方式を採用するなど、修正並びに、保守管理に有利な構成とすべきであり、殊に多くの単能プログラムを有する場合には必要である。

一般に自動設計プログラムは断面の諸元を増減して反復計算を行ない許容応力度に近づける方法をとっているが、断面寸法を増減させるレンジと部材応力度の許容応力度に対する差の限度を定めておく必要がある。RC構造を例にとれば、桁高、はり高、柱中は5cm間隔、スラブ厚は2cm間隔となっている。このことはコンピューター以前の過去の習慣とも言うべきもので再検討する余地は残っている。入力データはコンピューターを利用するごとに作成することになるので、解り易く、簡単で量の少ない程よい。入力データ作成前に細かい予備計算を行う場合もあるが、ミスと犯し易いのでなるべくプログラムの中で処理できるように工夫すべきである。

プログラムの開発は、フローチャートからコーディング、テストランまでを同一の担当グループで行なうのが好ましいが、一般に十分な設計技術者とプログラマーを同時に有するグループは少ないので、コーディングからテストランまでを外注する場合が多い。しかし、設計のフローチャートではコーディングの細部までも表現できないこともあって、構造物の知識の乏しいプログラマーの自由裁量によって組み立てられ設計の真意をプログラムに反映できないこともある。従って、プログラミングと発注する場合、豊富な設計経験を有するコンサルタントを選ぶのも一策である。

2) 利用上の問題点

図数は技術計算用として大型と中型のコンピューターを設置し、数箇所端末機とオンラインで連結しているが、自動設計プログラムを入力する場合は、大型コンピューターのある鉄道技術研究所に出向して処理している。大型コンピューターはタイムシェアリングシステムになっていて、プログラムの大きさにより受付時刻を限定しており、また、混雑しているため出力シートを手にするのは翌日以降となる場合が多く、入力ミスやデバッグと処理する場合の能率が悪い。端末機は近くにあり何時でも利用できる便利さはあるが、プログラムの大きさに制限があり、入出力データの電送に時間がかかる。現行は応力解析、または、部分計算でデータ量の少ないものについて有効に利用している。

プログラムの応力計算部分が適用範囲を超えて設計を行う場合は、前述したように、利用者は適宜アプリケーションプログラムを選んで応力計算を実行するが、境界条件やモデルの選定で解析結果の異なる場合が多いので使用するプログラムの名称と計算過程をマニュアルに記載し、プログラム担

当者の連絡先を明らかにしておく必要がある。

また、各プログラムの入出力の様式を標準化し、共通する項目は一定の順序に従いコーディングすることによれば、入力ミスは少なくなりデバッグをするにも便利である。鋼桁とコンクリート桁に例をとれば、活荷重の種類、軌道橋道、スパンなどは共通する項目であり、コーディングシートの定められた位置に記入することによって覚え易く理解し易い。プログラムを個々に開発すると、入出力の形式はバラバラになり勝ちで、国鉄のみならず部外を含めて入出力標準化が望まれる。

3) 保守管理上の問題点

プログラムを管理するうえで重要なことは、プログラムの開発、修正、廃止の期日を関係者に周知徹底させることであり、地方の技術管理組織を通して集中的に管理運営している。また、修正、更新については、設計標準、指針などの改訂のない限りみだりに変更しないこととし数年ピッチ程度にしている。

プログラムを管理する技術者は、コンピュータのハードウェアの概要と、ソフトウェアならびにプログラムの内容を理解していなければならないので、コンピュータに興味を持った人を選ぶことである。また、組織として残すことが必要で個人の転出によって支障を来すようなことがあってはならないが、やはり、関係者の担当期間は他の部所より長くなる傾向がある。

プログラムの内容を標準化して、解説書とマニュアルを作成する必要があることは勿論である。その第一歩として、各プログラムの記号を統一することが考えられる。これにより保守管理する側はプログラムを早く理解でき、修正するときの省力化につながる。しかし、開発する側からみれば記号に拘束されてプログラミングの能率が下り、ミスを誘発するという欠点もある。このことは、今までの開発者は他人の作ったプログラムを保守管理するチャンスがなかったからで、学会等で工夫化する方向に進めるべきではなからうか。

4. 自動製図における問題点

国鉄が自動製図を手がけたのは昭和43年頃で、構造物等ではまだ草分けの頃であった。ソフト面、ハード面でいろいろ苦勞があったが、PC橋、鋼橋、合成桁など数種類の型式の鉄道構造物のプログラムを開発した。当時としては新型の製図機を用いて図面を作成し、その開発のための知識の集積や標準化への努力は種々の形で現在にも生かされ、その意義は大きかったが、現在は自動製図による図面作成は殆んど行なわれていない。その理由としては次のようなことが考えられる。

- (1) 国鉄側の仕事は徹底的に変って来っており、基準や標準を作成することや、設計にしても、コンサルトランツ作成の設計審査や指導が主体という傾向が益々強くなった。また、勉強のための直轄設計は自分で画く方が為になる。
- (2) 設計標準の改訂や細部構造物の標準型式の改良が割合に頻度高く行われるが、自動製図の方は自動設計を算に比べて労力や費用がかさみ、それに追隨するのが困難なこと。
- (3) 直接開発に従事した者が移動した場合、技術の継承がむづかしい。
- (4) 自動製図は設計から構造物の製作までの一貫したシステムの一部をなすのの能率のよい方法であり、製図ばかりの自動化は開発の費用や労力の割合にメリットが小さい。

5. 今後の進め方

国鉄では設備投資計画から完成した構造物を管理運営部門に引き継ぐまでを工事業務と称し、コンピュータで一括処理する構想を持っている。これを工事システムという。設計システムはそのサブシステムとして、既設計情報検索と自動設計製図をも包含した呼び名で、自動製図の出力を積算システムの入力の一部として利用する計画もある。しかし、前述したように、自動製図には種々の問題があり、順進に出来る予定である。自動設計プログラムは能率の悪いプログラムの更新修正、ならびに適用範囲の拡大を続けながら、新たに制定した土構造物設計標準にもとづく橋台、橋脚、ラーメン高架橋のプログラムも開発することになっている。

6. あとがき

おわりにコンピュータ時代に伴う問題点をあげる。問題の起る可能性としては、プログラム利用者とプログラム作成者の間に存在する問題、及び、プログラム作成者とコンピュータの間に存在する問題とがある。勿論、これら三者の役割が画然と分けられるとは限らず、特に当設計事務所のような場合にはこれらの役割を兼ねている者が多い。

(1) コンピュータに依頼し過ぎる弊害 : 利用者として既設のプログラムの利用のみに頼り過ぎると、構造物本来の物理的性質や傾向に対する感覚が全くなり、技術低下となる。

(2) 大きな間違いの可能性がある : 入力での誤り、プログラムの誤り、適用限界の誤り、出力の読み誤りなどで大きく間違っているが、(1)に述べた感覚が全いとそのまゝ信じてしまう。これは手計算のときには余りなかったことである。

(3) 誤差の限界の認識が全い : 特に構造力学計算の場合、プログラミングの際とプログラミング利用の際両方にあり得るが、プログラムの組み方やプログラムの使用法により大きな誤差を生むことが避けられない場合がある。それを認識していないと誤りを犯すことになる。

(4) 人間の頭の使い方 : コンピュータの利用が高度に進んでも、複雑な問題では経験を積んだ人間の判断の方が優れている場合は多々ある。手計算では徒に時間のかかるようなものがコンピュータにより短時間で得られるので、比較データ数が多くなり、従って判断の基礎が広くなり傾向も明らかになってより良い結論が得られるという場合がある。このような場合、マシンシステムで前の結果を見ながら次の入力を任意に変えてその結果がすぐ得られる方法が手近にあるのがよい。

(5) 技術者の生がい : (4)のような使い方は技術者の才能を益々伸ばすことになるが、前述の全面的に既設のプログラムのみに頼って満足していると、やがて技術者としてのモラルも低下し、ひいては技術者としての生がいにも疑問が生じて来る。

将来益々コンピュータが進むことは明らかであり、これらのことに留意しつつ方向を誤らないようにしたいものである。

参考文献

- 1) 吉村恒, 松浦章夫 : 構造物の既設計情報検索 土木学会誌 1973. 2.
- 2) 阿部要彦 : 構造物の自動設計 土木学会誌 1972. 6.
- 3) 同上 : 日本国鉄鉄道における自動図化 土木製図の自動化に関するシンポジウム I 土木学会 1972. 9.

REVIEW AND FUTURE OF COMPUTER AIDED DESIGN
OF STRUCTURES IN JAPANESE NATIONAL RAILWAYS

Hidehiko ABE* and Yoshinobu KAMIYA**

In the field of structural design, Japanese National Railways are using electronic computers mainly for two purposes; one for design of new structures and the other for information retrieval concerning the designs which were already prepared.

Our office used an electronic computer for automatic design of structures for the first time in about 1960 when the design program for the composite girder bridge was developed, because the design procedure for the bridge of this type was rather complicated. Since then computer programs for bridges of various types have been prepared and now design calculation for almost all the structures of steel and reinforced concrete and the composite structures is carried out by the aid of electronic computers.

Several years ago, investigation of automatic drafting using a drafter which was controlled by an electronic computer was also begun and several programs for drafting were prepared, but they are not fully utilized at present for various reasons.

The information retrieval for the structural designs which have already been prepared has now practically started after a preparatory period of a few years. A great efficiency is expected for information of designs of structures hereafter.

Some problems in relation to computerization in our office will be presented as follows;

- (1) Difficulty is anticipated for maintenance of programs already prepared, because often it is difficult for other persons than those who were engaged for themselves in making the programs to understand the content of the programs and amend them.
- (2) There is a tendency that engineers who rely too much on electronic computers through programs which were prepared by other persons lose ability to understand structural behavior and physical characteristics of bridges.
- (3) In result, those engineers have possibility to make great mistakes in designing unconsciously.
- (4) In order to achieve a full efficiency, automatic drafting programs should be used for the purpose of making a great number of standard designs or should be closely related to the automatic fabrication of bridges or other structures in shop. Otherwise it is not economical nor worthwhile, considering the expense and labor used for making the programs.

*Deputy Director and **Senior Engineer, Structure Design Office,
Japanese National Railways