

国鉄 構造物設計事務所

正 員 小池 晋

正 員 小須田 紀元

1. まえがき

今回の自動設計製図は、PC鉄道橋として最も使用頻度の高い上路単純けた(スパン 15m~60m)を対象として計画実施したものであり、自動設計では主なるインプットデータとして活荷重と概略断面とを与えれば、すべての設計が出来るようなプログラムとし、自動化は自動設計計算のアウトプットデータのうち図面作製に必要データを、図化計算のためのインプットデータとして、図化計算を行ない、図化命令をパンチした紙テープを作製し、このテープを介して、自動製図機に命令を伝え、製図機のペンを作動させることにより、所定の設計図を作製するものである。(図-1参照)

自動設計のための計算及び、図化命令の作製を円滑に行なうためには、少なくとも容量30k以上の大型計算機が必要であるが、今回の自動設計製図にあたり、は、プログラムを多くのサブルーチンに分け、これを外部記憶装置に一時記憶させ、必要の都度、中央演算装置に呼出し、計算を行なうという特殊な操作を行ない、鉄道技術研究所電子計算センターの、CDC G-20 (容量16k) 計算機によって行なった。製図に使用した制御装置及びドラフターは、東大生産技術研究所九段研究室のFUMUC-240及び、NUMERICONである。

設計計算のための演算所要時間は1橋につき7分~6分であり、製図計算のための演算所要時間は、約30分である。

2. 自動設計の方法

2-1 設計の方針

基本的には、人間の創造力は出来るだけ利用し、その範囲で自由度の高いプログラムを作製することを目的とした。このため設計者の判断が特に要求される、構造型式の決定、概略断面の決定は、設計者が行ない、インプットすることにした。またけた高は設計条件として与えられることが多いので、け高はインプットとして与え、設計計算中のけた高の変更は、特別の場合を除いて、しないことにした。設計計算は、インプットされた断面形を用いて開始されるが、この計算結果を検討し、断面寸法の修正が必要であれば、規定されたけた高の範囲で、修正し、最終的には、断面図が、必要最少限となるよう産出された。荷重分配は、ホンベツ式に依り行なうこととし、工形桁列け方についてはのみ考慮し、BOX型断面の場合には、これを省略した。曲げ応力度、剪断応力度、斜引張応力度の検断断面は、スパン中央、スパン中央より $\frac{1}{8}$ の

図-1 自動設計製図作業説明図

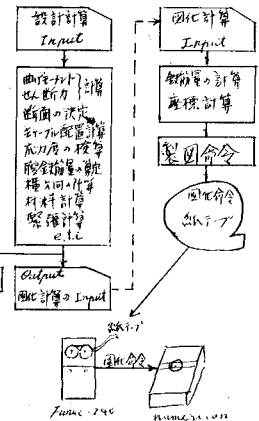


表-1 適用範囲

種別	適用範囲
活荷重	K5 活荷重 N 活荷重
スパン	15m ~ 60m
曲線	直線及び R=800m 以上の曲線
斜角	90度
型式	ボスコン/PC 鉄道橋
構造	I 型ス、4 主桁、RC BOX 型
コンクリート強度	普通及び軽量コンクリート
け高	$\delta \cdot h = 300\% \sim 500\%$
スパン	12-φ7, 12-φ8, 12-φ12.4
鋼筋	3 種及び 4 種 φ24
鉄筋	SR24
標準	PC 鉄道橋設計施工基準

距離にある断面、曲げモーメント定着端断面及び、支点断面とした。

引張鉄筋量は、上記の応力検
討断面毎に算定した。

2-2 設計計算の手順

フローチャートを図-2に示す。

表-2に示す入力データを入力することにより、設計計算を開始し、まず、総断面諸元により、スパン中央断面の曲げ応力度を検討し、プレストレス導入時及び設計荷重作用時の合成応力度が、許容値以内にあり、また断面が過大でないことを確認した後、スパン中央断面のケーブル配置を行なう。

もし断面が過小または、過大の場合には、断面形状を修正し、同様な計算を繰返す。フローチャート中、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 は断面の判定条件である。

EPHAXはスパン中央におけるPCケーブル圆心位置の上限値、Jはケーブル番号、N(1)は所要ケーブル本数、Kは応力検討断面番号、NUは上端定着ケーブル本数である。PCケーブルの定着本数は、上端定着40%、けた端定着60%の割合とし、定着角度は、2主けた及びBOXけたで30°(上端定着)、3主けたで25°(上端定着)とした。けた端定着角度は25°の1/2の角で、70%減した。

最終ケーブルの定着位置は、 $\frac{2}{3} \times \frac{1}{4}$ より支点寄りとし、曲げモーメントがスパン中央より1/m以上の距離にあるようにした。中間断面における曲げ応力度、斜引張応力度に対する修正は、上端定着ケーブルの定着位置を変更することによって行なう。

2-3 自動設計の特長性

自動設計は平計算における設計計

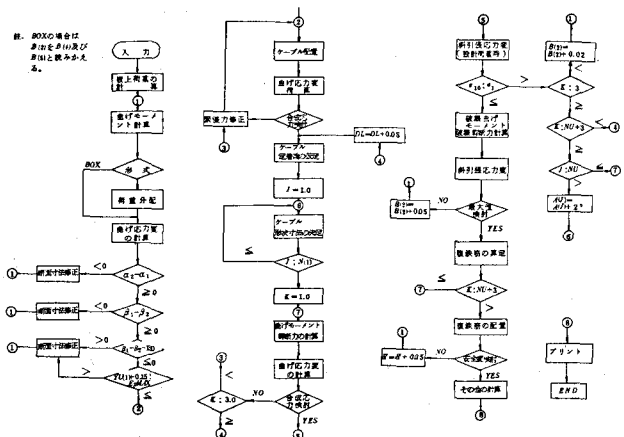


図2 フローチャート

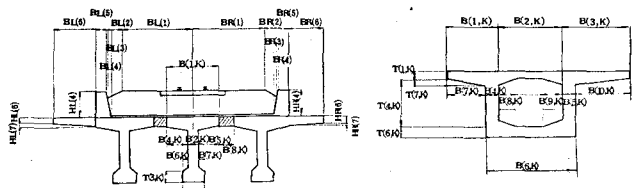


図3 インプット説明図

表-2 入出力データ

インプットデータ	アウトプットデータ
1) 荷重 8点の曲げモーメント及び剪断力	1) インプットデータ
2) 衝撃係数	2) 設計条件
3) スパン	3) 断面寸法、断面諸元
4) 概略断面の寸法	4) PCケーブルの形状寸法
5) 板主荷重の寸法	5) 荷重分配係数
6) 構造形式 2主けた、3主けた、4主けた、BOXけたの列	6) 各設計断面の曲げモーメント、剪断力
7) PC鋼線の径 12-φ7, 12-φ8, 12-φ12.7	7) 各設計断面の曲げ応力度
8) PC鋼線の径別、3種、4種	8) 各設計断面の剪断応力度、斜引張応力度
9) コンクリート 普通又は軽量	9) 各設計断面の鉄筋の径、引張間隔
10) コンクリート強度 主けたコンクリート、中理めコンクリート	10) 鉄筋の配置間隔
11) クリープ係数	11) 床板の設計曲げモーメント
12) 乾燥収縮度	12) 床板のPC鋼筋配置間隔
13) 横げた位置	13) 横げた設計曲げモーメント
14) 横げたの中	14) PC鋼線の応力
15) けた端はね出し部分の寸法	15) 導入時、設計荷重時
16) 支点部板腹中	16) 緊張計算結果 $\mu=0.2$, $\beta=0.4$
17) 横げたの荷重反力	17) シワミ量
18) 軸重	18) BOX断面の所要鉄筋量
	19) コンクリート体積
	20) PC鋼材量
	21) 引張鉄筋量
	22) 破壊安全度計算結果

算の他に、ケーブル配置、横締めPC鋼棒の配置、腹鉄筋の配置等、設計者の経験と視覚に頼る作業をも計算機で行なうために、設計計算よりも、後者のために苦心させられるものである。

3-3-2 PCケーブルの配置

スパン中央断面のPCケーブルは、その図に位置が、その限界範囲にあると同時に、断面中に配置可能でなくてはならない。この自動設計では、先ず一段に配置可能なケーブル本数を断面中でPCケーブルの所要間隔とから定め、PCケーブルを最下段より配置しながらプレストレスの計算を繰返し、所要のプレストレスが得られるまでPCケーブル本数を増加させる。PCケーブルの上縁定着位置は、横締めPC鋼棒との競合をさけ易いように、定着位置の間隔を鋼棒の径毎に一定とした。

プレストレスの調整は、上縁定着ケーブルを一律に移動するこゝによって行なう。

3-3-3 PC鋼棒の配置

鉄道橋の場合、単線けたでの横締めPC鋼棒の間隔は、4主けたで1.0m、3主けたで0.8m、2主けたで0.5m程度で、ほぼ一定である。従って、この値でPC鋼棒を配置するこゝが、最も多く、変化してもおぼつかないで、この値で競合が生じないようにケーブルの定着点を定めておき、PC鋼棒の所要間隔が変わればききだけ、PC鋼棒の配置間隔を調整することにした。一例を図-4に示す。自動設計では、上記の例のように、人間が行なえば至極簡単な作業のために多くのプログラムを要するこゝが多い。

3-4 その他

材料計算、緊張計算まで自動的に計算できるが、おとほ、手計算とほとんど同様な計算を繰返すのみなので省略する。この計算結果を表-3に示した。

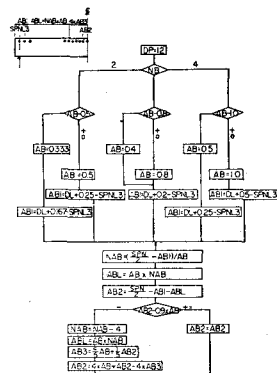


図4 PC鋼棒の配置

3. 図化

3-1 設計計算と図化プログラムの接続

今回の自動設計製図は、表-2のインプットデータを定め、入力したのち、設計図が完成するまで、一切人力を必要としないこゝを立前としており、当初においては、設計計算と図化計算とを同時に行ない、1サイクルの計算で、ドラフター制御用テープを作製する予定であったが、設計計算及び図化計算プログラムの容量が、夫々非常に大きくなり、継続的に計算するこゝが現状では、不可能になったので、止むを得ず設計計算と図化計算とを切り、別々に計算するこゝにした。但し図-1に示すように設計計算の出力は、プリントと、カードパンチの二本立てとし、このカードを図化計算のインプットに用いるこゝにした。

3-2 設計要素の標準化

製図作業は、設計者の経験と感覚(視覚)に頼る面が多いので、これを計算機で行

表-3 設計計算結果

種別	PCケーブル				コンクリート 体積(m³)	腹鉄筋 間隔(m)	備考
	径	本数	重量(t)				
2主けた L=15.8m	電算 12-φ7	22	1.31	29.6	φ13 0.55~0.26	K5-16	
	標準 12-φ7	22	1.24	30.9	φ13 0.15~0.22	K5-16	
3主けた L=25.2m	電算 12-φ7	42	3.81	70.2	φ13 0.5	K5-18	
	標準 12-φ7	42	3.55	74.2	φ13 0.4	K5-18	
4主けた L=31.3m	電算 12-φ7	72	7.76	123.7	φ13 0.5	K5-18 H=1.5m	
	標準 12-φ7	56	6.01	112.7	φ13 0.5~0.6	K5-18 H=2.15m	
2主けた L=60m	電算 12-φ14	36	18.65	391.5	φ13 0.5	K5-18 H=5.5m	

なわせをためには、製図要素を標準化ないし単純化する＝セカ、どうしても必要である。これはプログラムを簡潔にするばかりでなく、製図機の使用時間を短縮するのに役立つものである。

3-2-1 文字、数字の規格化

文字及び数字をドロッターに書かせるプログラムは、屈曲点が多いために非常に長くなり、多種類の文字をドロッターに書かせる＝セカ、得策ではない。今回は、PC単純けたを対象に考えたので、字数の制限は特に考えず、表現を簡潔にする＝セカ、ひらがなを片仮名で代用する程度に止め、文字の大きさを漢字で 5×5^{mm} 、数字を 4×4^{mm} とした。この製図に必要な漢字は、約260種類であった。

3-2-2 図面要素の配置及び縮尺

PC単純けたの設計図は一般にA1版3枚ないし4枚で構成され、一般図、耳ハテ配筋図、中ハテ配筋図、鉄筋取出し図から成っている。この設計では従来の慣習に従い図面の大きさはA1版を使用する。製図時間を短縮する意味で、重複した表現は、1つに統一した。また材料表中の鉄筋1本当り重量の欄に廃止した。縮尺は一般図 $1/50$ 、構造図 $1/50$ 、鉄筋取出し図 $1/50$ を標準とし、A1版に必要な図が納まるように、スパンにより、縮尺を変更する＝セカ出来るようにした。最少の縮尺は $1/100$ である。なお線の種類を表-4に示した。

3-3 図化の手順

設計計算のためのインプットから、設計図が完成までの作業の流れは図-1に示す通りである。図化のための計算は主として座標計算である。この図化プログラムでは、類似図形毎に作図命令を違えるプログラム(サブルーチン)を違っており、主プログラムによって、これ等のサブルーチンを適当に組合せてまとめた図面を構成するようにした。例えば、軸方向筋のサブルーチン、腹鉄筋のサブルーチン、PCケープルのサブルーチン、けた外形のサブルーチン、寸法線のサブルーチンを組合せて側面配筋図を書かせる。

3-4 図化の問題点

図化作業は視覚に頼る点が多い、特に図面配置等は、感覚的なものであるから、人力で行なう方がよい。

文字による表現は出来る限り記号化する＝セカ望ましい。

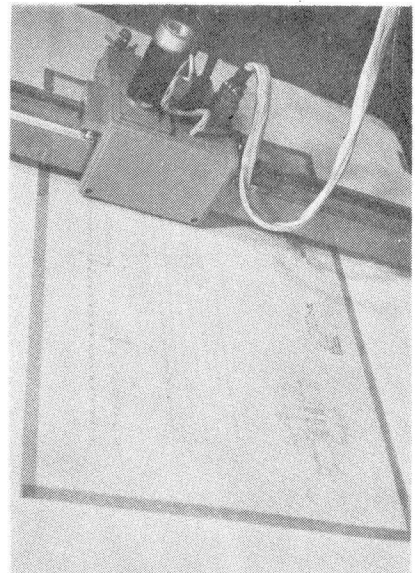
ペン上げ、ペン下げに要する時間が馬鹿にならないので、破線は別の表現方法を考える方がよい。

ペン先が乾くと、線がかすれる場合がある。

あとがき、このプログラムの完成は、一重に鉄道技研計算センター、間野室長、沼田技師、久保田、伊藤氏外聖員御一同の御盡力によるものであります。

表-4 線の種類

線の太さ	表現要素	線の種類
0.1	寸法線	実線、1点鎖線
0.2	構造線	実線、破線
0.4	鉄筋	実線
0.6	PC鋼材	実線、1,2点鎖線



写真は一重図製図中の図化機。