

PC 鉄道橋の自動設計

近 藤 時 夫*
尾 坂 芳 夫*
小 須 田 紀 元*

1. はしがき

国鉄構造物設計事務所で設計業務の能率化をはかる目的で各種自動設計プログラムの開発をすすめているが、この手始めとしてPC単純桁の自動設計プログラムが完成したので、この設計プログラムを紹介しながら、自動設計プログラムの作成にあたっての問題点およびその処理方法について私見を述べたいと思う。

2. 自動設計プログラム開発の意義および問題点

自動設計とは、設計に必要な最少限の情報を電子計算機に与え、情報の処理を自動的に行なわせ、この結果として、設計目的物の製作に必要な諸量および図形を出力させようとするものである。したがって、自動設計を行なうためには、電子計算機への情報の与え方、情報の処理方法、出力すべき諸量の種別を電子計算機用言語で明示した設計プログラムを作成することが必要である。この設計プログラムの作成には、かなりの日時と人手を要するが、いったんプログラムが完成されれば、電子計算機の特徴が生かされて、以下に示すような利益が得られる。

- 1) 正確さの向上：手作業にみられる錯覚や疲労に基づくミスが激減し信頼できる結果が得られる。
- 2) 高速化：演算、判別などの処理がきわめて高速度で行なわれるので、短時間で設計が完了する。
- 3) 細密化：大量の情報処理および演算が高速で行なわれるので、従来よりはるかに細密な検討が可能となる。
- 4) 技術の向上：技術者が単純な演算作業から開放されるので、より高度な作業に時間を振り替えることができる。この結果技術力が向上する。

電子計算機のコストの低下と、経済規模の拡大に伴なう人手不足などをあわせて考えるとき、種々の構造物に

* 国鉄 構造物設計事務所

ついて自動設計プログラムを開発することは、必要不可欠なことといつてよい。しかしながら、現状では、電子計算機の機能および、電子計算機の利用技術の面で不十分の点があるので、設計について、ある程度の制限は止むを得ない。以下問題点について列記する。

1) 設計者と電子計算機とのコミュニケーションが自由に行なわれない：設計者が電子計算機に情報を伝える方法は、全てプログラムによらなくてはならず、またプログラムはプログラム用言語によらなければならない。したがって、情報は全てプログラム用言語で表現可能な形に構成する必要がある。具体的にいえば、図形は数学的表現（たとえば直線を表わすには、 $y=ax+b$ とするなど）に直すことが必要であり、その他、材料、構造形式はパラメーターにより区別する。このため美感、創造力などその人間活動のメカニズムが、明らかにされていないものは、これを数値化することが困難であり、したがって、現在のところ、これをプログラムにのせることが、ほとんど不可能である。

2) 電子計算機の機能による制限：自由度の高いプログラムにしようとするれば、判断の基準として電子計算機に与えるべき情報量は加速度的に大きくなるので、使用する電子計算機の記憶容量に応じて自由度は制限される。外部記憶装置を装置することによって、記憶容量を増大させることは可能であるが、外部記憶装置に依存するときは、演算時間が長くなるので、演算コストの点で実用上は自由度が制限されることになる。一般に構造物の設計を自動的に行なわせるためには、構造物の要素を相当に標準化しても、必要な情報量は多くなるので、少なくとも、容量 30k ワード程度の中型計算機を対象に考えることが必要と思われる。

1) の点に関しては、ディスプレイ装置の採用によって著るしく緩和されることが考えられるし、また 2) 点についても計算機の大形化が急速に進められているので、早晚解決されるであろう。このほか電算機利用上必要と考えられることは、情報の基礎資料としての科学的な研

究成果が充実されることである。これは、情報のパターン化に必要であると同時に細密な設計にとっても必要なことである。一例をあげれば、橋梁の震動解析をする際に土の動力学的性質が、あまり判然としないので演算結果についても、十分に信頼が出来ないといったことがある。

3. 自動設計プログラムのための準備

(1) 使用する電子計算機の機能

プログラムは使用する電子計算機にかけることが可能なものでなくてはならない。計算機によってプログラム用言語に制限がある。また電子計算機の容量に応じて、変数の扱い方、自由度の制限、設計要素の標準化、最適設計追求の程度について考慮する必要がある。

このため使用対象の電子計算機の演算に使用できるワード数、添字付変数の制限、外部記憶装置の種類および容量、ライブラリ サブルーチンの種類等機能に関する予備知識を得ておくことが必要である。

(2) 経済設計について

電子計算機を用いて設計計算を行なう場合の利点の一つは演算速度が非常に速いということであった。このことは、多数回の繰返し演算が短時間に行なわれ、その演算結果を比較して最も有利となるように構造物の要素を定めることが可能であることを意味する。最適設計判定の基準が定めれば、最適設計に至る手法として線形計画法におけるシンプレックス法がある。最適設計とは、所要の安全度と機能を持ち、工事費が最小となるような構造物の設計を意味する。したがって、工事費が最適設計の判定基準である。鉄道橋を例にとって工事費に関係する要素を拾うとつぎのようである。

- a) 主桁材料
- b) 型わく
- c) 桁製作地、架設地の環境
- d) 下部構造
- e) 基礎地盤

ここにあげた要素の工事費は、有機的な関係にあるので、総工事費を最少とする桁構造を発見するためには、これらの関係が、関数関係で表現されていなくてはならない。特に自動設計を考えると、断面形の選択を例にとっても、断面形を定型とするか自由とするかによって型わく費はかなり変わることが考えられる。また、コンクリート、PC鋼材、鉄筋などの単価の変動によって、材料費の総計は異なってくる。この外、桁製作地点架設地の環境によって、支保工上で桁製作と移動架設を考へての製作ベース上での桁製作との間の優劣の関係が異なる。この優劣の判定も単に経済的な考慮ばかりでな

く工期的要請をも加味して行なわれることが普通である。

PC桁の場合、支保工上で製作する桁と移動架設する桁では、断面形を異にする。一般に支保工上で製作する場合にはBOX断面、移動架設桁は重量を軽くするためにI形桁が採用される。下部構造、基礎地盤の問題は、構造物の主たる構造材料の選択および構造形式(連続桁単純桁、ゲルバー桁、ラーメン、アーチなど)の選択にあたって考慮されるものであるが、工費、工期判定の重要な要素である。総合的に工費を考えると、これらの要素が複雑にからみ合い、多量の情報が必要となるので、このレベルでの経済性判定のプログラムと自動設計プログラムとを一つのプログラムに収めることは、実用的に困難である。

自動設計プログラムを考えると、主たる構造材料が定まり、構造の形式がすでに定まっているものとするのが良い。

(3) 入力データー、出力データーの選択

電子計算機に所要の設計作業を行なわせるためには、演算順序を示すプログラムと一緒に計算に必要な情報を与えなくてはならない。この情報を入力データーまたはインプットデーターという。出力データーとは、電子計算機から設計者に伝達される情報で、普通はデーターシートにプリントアウトされる。入力データーは、極力少なくしておくことが、プログラム使用上は便利であるが、これを少なくするために、プログラムが予想外に大きくなるので注意しなくてはならない。構造物の設計条件をみれば、直ちにデーターを書き込める程度の変量は、入力データーとするのが良い。出力データーは、図面作成および施工上必要なデーターは全てプリントアウトさせるのが良い。出力データーは見出しを付けるなど見やすい配列としておきたい。現状では、プリントアウトは英字と数字で行なわれるので、慣用的に使われている英字記号はそのまま使う方が良い。

(4) 判定基準、演算式

自動設計は、設計者の判断を電子計算機に代行させて適正妥当な設計値を得ようとするものである。このため設計者は、プログラムを媒体として情報の処理方法(演算式、演算順序、判定の基準)を電子計算機に指示しておかねばならない。したがって、プログラムのコーディングに入る前に、演算式、判定の基準について十分に準備しなければならない。プログラムの構成については、フローチャートを書いて検討しておく必要がある。

特に判定の入る場所は、設計の部分的な関門であるので必要量はなくてはならない。判定結果の全ての場合に演算径路があることも確認しておかねばならない。

また、判定の基準、判定後の設計値の修正方法などの理論的検討も十分に行ない、例外の生ずることのないようにしたいものである。特に判定と設計値の修正方法の関係は、最終的に所要の値に必ず収斂するようにしておかないと、演算を無限に繰り返すような事態が生ずる。

4. PC 鉄道橋の設計プログラム

(1) 設計の概要

a) 適用範囲 表-1 に PC 桁の自動設計プログラムの適用範囲を示した。表からわかるとおり、斜角桁および下路桁は対象に含まれておらず、また軌道の偏心は考慮していない。

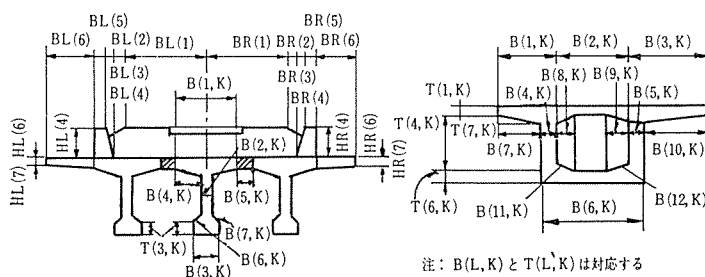
表-1 適用範囲

示方書	プレストレストコンクリート鉄道橋設計施工基準, 人工軽量骨材コンクリート設計施工指針 (案)		
活荷重	KS-荷重		
主 桁	断面形	I 形 2, 3, 4 主桁 箱形 90° 15 m~60 m	単 純 桁
	斜 角 ス パ ン		
軌 道	単 線	有道床 $l \leq 40m$ $l > 40m$ $R=600m$ $R=744m$	
		両側または片側	
材 料	コンクリート	普通コンクリートまたは軽量コンクリート	
	コンクリート強度	$\sigma_{ck}=300, 400, 500 \text{ kg/cm}^2$	
	PC 鋼線	12- ϕ 7, 12- ϕ 8, 12- ϕ 12.4	
	PC 鋼棒	ϕ 24 { SBPC 110 SBPC 125	

鉄道橋 PC 単純桁は、I 形 2, 3, 4, 主桁または、箱形桁がほとんどなので、断面形はこのように選んだのである。

b) 入力データ 表-2 に、入力データを示した。図-1 は入力データの参考図である。この自動設計プログラムでは、構造形式 (2 主桁, 3 主桁, 4 主桁, BOX 桁) の選択および設計断面の概略寸法は設計者の判断に頼ることとしている。構造形式の選択は、工事費施工条件を勘案してなされ、設計者の経験に基づく判断に依存するところが大きいので、入力データとすることが能率的と考えたものである。断面形状寸法も大略の

図-1 インプット説明図



注: B(L,K) と T(L,K) は対応する

表-2 入力データ

1	活荷重スパン 8 分点ごとの曲げモーメント, セン断力	BML 0~BML 4 S 0~S 4
2	衝撃係数	S INP
3	ス パ ン	SPN
4	概略断面の寸法	B(1)~B(12) T(1)~T(12)
5	板上荷重の寸法	{ BL(1)~BL(8) HL(1)~HL(9) BR(1)~BR(8) HR(1)~HR(9)
6	2 主桁, 3 主桁, 4 主桁 または, BOX 桁の区別	BNB, BOX は 1
7	PC 鋼線の径 ϕ 7, ϕ 8, ϕ 12.4 の区別	DP
8	PC 鋼棒の種類, 3 種, 4 種の区別	DBP, 3 または 4
9	コンクリートの種類, 普通コンクリートか軽量コンクリートかの区別	CONC, 1 または 0
10	主桁コンクリート強度	SCU
11	中埋めコンクリート強度	SCU 1
12	クリープ係数	CR
13	乾燥収縮度	SHR
14	横桁によるスパンの分割数	PN
15	横 桁 の 幅	RB
16	桁がかりの寸法	SPNL 3
17	支点 拡 腹 幅	DB 2
18	横桁の活荷重反力	RL
19	軸 重	PL
20	桁 高	HB
21	主 桁 間 隔	AL

ものは、多少経験のある設計者ならば、直ちに仮定できるので、入力データとすることが能率的であると考えた。もちろん、適切な判定基準を入れておけば、これらを計算機で自動的に行なうことは可能であるが、いたずらにプログラムを大きくするのみで得策ではない。なお中間断面の活荷重曲げモーメント、せん断力は入力した値を直線補間して用いる。表-2 中右側の欄の記号は、プログラム中の変数名である。

c) 出力データ 表-3 に、出力データを示した。この出力データは、手計算によって設計計算および製図を行なうときに、製図作業にはいる前に整えるデータと等しい種類のものである。したがって、製図、施工に必要なデータのうち、鉄筋数量は、含まれていない。ただし腹鉄筋の所要径および所要間隔は算出する。

このプログラムの出力データは、データシートにプリントアウトするほか、製図プログラムの入力データとして、そのまま使用できるように入力カードにパンチアウトするようにしている。

d) プログラムの構成 この自動設計プログラム作成にあたっての基本的な考え方は、つぎの 2 項である。

- 1) 電子計算機と人間, それぞれの特色を生かすこと。

2) いったん入力データを読み込めば、設計が完了するまで人力の介入を必要としないこと。

桁の経済性は複雑な要素によって判断されるべきであるが、このプログラムでは、厳密な追求はさけて、単に使用材料を最少にすることにした。P C単純桁では、一

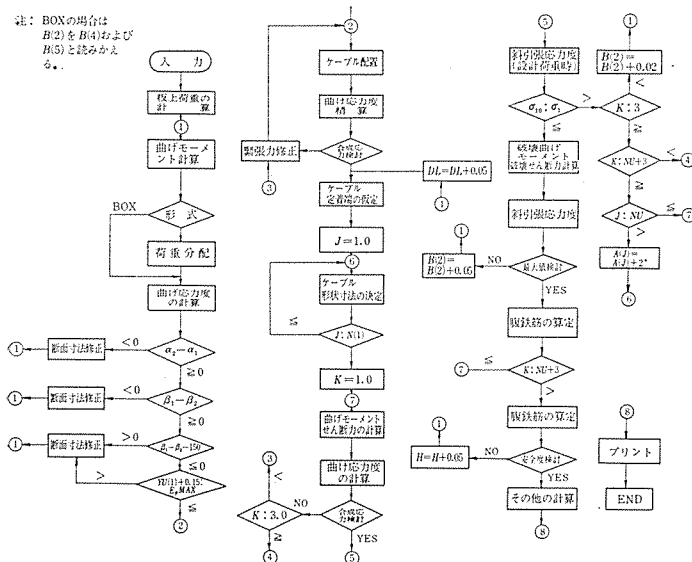
般に、桁高は設計条件によって規定される場合が多く、しかもこの自動設計プログラムでは、構造物の形式を設計者にまかせるため、断面選択の範囲が狭いので、使用材料費の最下限を厳密に追求することはせずに、規定された桁高の範囲で設計断面の断面積を最少にするように考慮した。

表-3 出力データ

1	インプットデータ	11	床板横締め鋼棒の所要間隔
2	設計条件	12	横桁の設計計算結果
3	最終的な断面寸法および断面諸元	13	P C鋼線応力度
4	P Cケーブルの形状寸法	14	緊張計算書 $\mu=0.2$ および $\mu=0.4$
5	荷重分配係数	15	たわみ量 (スパン中央)
6	設計断面の曲げモーメント, せん断力	16	BOX 断面の所要鉄筋量
7	設計断面の曲げ応力度	17	コンクリート体積
8	設計断面のせん断応力度, 斜引張応力度	18	P C 鋼材量
9	設計断面の腹鉄筋の径および所要間隔	19	引張鉄筋量
10	腹鉄筋の配置間隔	20	破壊安全度

設計順序は、図-2 に示すとおりである。すなわち入力データを基本として、まず、適合する許容応力度、材料の物理的性質を選択する。その後、バラスト重量、歩道重量、バラスト止め重量などを計算し、設計曲げモーメントを計算する。断面諸定数の計算プログラムは、サブルー

図-2 フローチャート



チンとなっており、必要の都度、呼び出して計算できる。設計曲げモーメントが定まった後、ホンベルグの荷重分配式に従って荷重分配を行ない、負担荷重最大の主桁を決定し、この主桁について設計を進める。設計はまずスパン中央断面について行ない、中央断面で試算を繰返しながら入力された概略断面の不必要な部分を削り、曲げ応力度の精算を行なう。スパン中央断面についての設計が完了した後、P Cケーブルの曲げ上げ配置を行ない各定着端ごとに、曲げ応力度、斜引張応力度の検閲を行なう。断面寸法の変更は、スパン中央で行なうほか、斜引張応力度検閲の際に、その値が、許容最大値を越えるときには、各断面のウェブ幅を増加させる。また破壊安全度が不足する場合には、桁高を増加させることにしている (図-2 参照)。

表-4 プログラムの構成

名称	内容	ステップ数	名称	内容	ステップ数
MAIN		660	SUB 17	せん断応力度および斜引張応力度 (破壊荷重時)	352
SUB 1	入力データ読み込み	108	SUB 18	腹鉄筋の計算	182
SUB 2	許容応力度の設定および材料の諸性質の規格	215	SUB 19	腹鉄筋の配置	152
SUB 3	{ P C鋼材, 断面積, 強度, 降伏点応力度その他の規格	161	SUB 20	引張鉄筋の算定	135
SUB 4	{ 断面諸定数の計算 (断面積断面2次モーメントなど)	243	SUB 21	床板の設計	205
SUB 5	静荷重の荷重強度および偏心量の計算	141	SUB 22	P C鋼棒配置	217
SUB 6	平均曲げモーメントの計算	176	SUB 23	横桁の設計	154
SUB 7	荷重分配	139	SUB 24	緊張計算およびたわみの計算	221
SUB 8	スパン中央断面, 曲げ応力度の計算	128	SUB 25	BOX ラーメンの計算	188
SUB 9	スパン中央断面, ケーブル配置	146	SUB 30	入力データ・プリント	156
SUB 10	スパン中央, 曲げ応力度の精算	178	SUB 31	出力データ・プリント (1)	238
SUB 11	鋼線応力の計算	106	SUB 32	〃 (2)	233
SUB 12	P Cケーブルの定着配置	308	SUB 33	〃 (3)	176
SUB 13	設計断面の決定各断面のプレストレスの計算	260	SUB 34	〃 (4)	179
SUB 14	応力計算断面の曲げモーメント, せん断力の計算	137	SUB 35	出力データ・パンチ	122
SUB 15	応力計算断面の合成曲げ応力度の計算	204	SUB 36	出力データ・プリント (5)	179
SUB 16	せん断応力度および斜引張応力度 (設計荷重時)	191	SUB 37	クリヤー・ルーチン	333
			SUB 41	変数の置換	147

なお、許容応力度、材料の物理的性質など、設計の基準値は、「プレストレスト コンクリート鉄道橋設計施工基準」および土木学会制定「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針(案)」に規定された値をプログラム中に記憶させておき、入力された設計条件に適合する値を自動的に選択する。表-4 はこのプログラムのサブルーチン表である。以下設計プログラムの主要部分について説明する。

(2) スパン中央断面の決定

設計断面の形状寸法を決定する方法としては、設計曲げモーメントより上下縁の必要断面係数を求め、これから構造条件に適合する断面形状寸法を定める方法か、あるいは、類似の設計より類推により断面形状寸法を仮定し、試算を繰返して、断面寸法を改善し断面寸法を決定する方法がある。

この設計プログラムでは、この後者によるものとした。まず概略の断面寸法を入力し、PCケーブル緊張力の有効率を0.8として試算を繰返して設計断面の形状寸法を決定する。断面形状が適当か否かの判別は、上縁、下縁共プレストレス導入時および設計荷重作用時に、許容条件を満足できると同時に、断面が過大でなく、PC鋼線が断面中に配置可能か否かによって行なえる。

上下縁でコンクリートの許容応力度が満足されるための条件は、 $\alpha_1 \leq \alpha_2$ 、 $\beta_2 \leq \beta_1$ である(図-3 参照)。

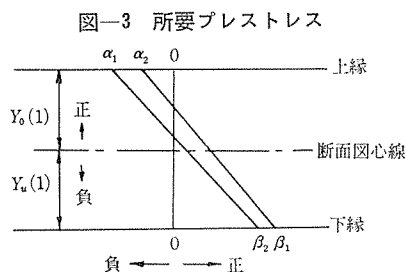


図-3 所要プレストレス

ここで

- α₁: プレストレス導入時に許容できるプレストレスの最少値
- α₂: 設計荷重作用時に上縁のコンクリート許容応力度を満足することのできる導入時上縁プレストレスの最大値
- β₁: プレストレス導入時に許容できる桁下縁最大プレストレス
- β₂: 設計荷重作用時に桁下縁で許容応力度を満足可能な導入時最小プレストレス

またPCケーブル緊張力は、α₂~β₁のプレストレス分布を与えようとするとき最大であり、α₁~β₂のプレストレス分布を与えようとするとき最小となる。

したがって、PC鋼材のコンクリート断面図心に対す

る偏心量は、α₂~β₁のプレストレス分布を得るとき最小(絶対値)であり、α₁~β₂のプレストレス分布を得るとき最大(絶対値)である。これらの条件によりPC鋼材図心のコンクリート断面図心に対する偏心量は、式(1)、(2)で表わすことができる。

$$EPMAX = \frac{r^2(1)}{\frac{BH \times \alpha_2}{\beta_1 - \alpha_2} + Y_0(1)} \dots\dots\dots(1)$$

$$EPMIN = \frac{r^2(1)}{\frac{BH \times \alpha_1}{\beta_2 - \alpha_1} + Y_0(1)} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、

BH: 桁高

Y₀(1): 断面図心から桁上縁までの距離

r²(1): 断面2次半径

PCケーブルを配置する際、PCケーブル図心位置は桁下縁より0.1~0.15mの位置となるのが、ケーブル配置上必要なので、断面図心より、桁下縁までの距離Y_u(1)とEPMAXおよびEPMINとの関係は次式を満足していなければならない。

$$EPMAX \geq EPMIN \dots\dots\dots(3)$$

$$Y_u(1) + 0.15 < EPMAX \dots\dots\dots(4)$$

$$Y_u(1) + 0.15 > EPMIN \dots\dots\dots(5)$$

ここに用いるEPMAX, EPMIN, Y_u(1)は全て負の数値である。

設計断面は、前述の応力と偏心量に関する条件とを満足すると同時に、β₁-β₂が過大にならぬような断面諸元が得られるように定めることが必要である。これらの条件を満足するときは、断面は過不足ないものと考えることができる。この設計プログラムではまず応力条件が満足できるまで断面の修正と試算を繰返し、応力条件が満足された後、偏心量に関する検討を行なっている。

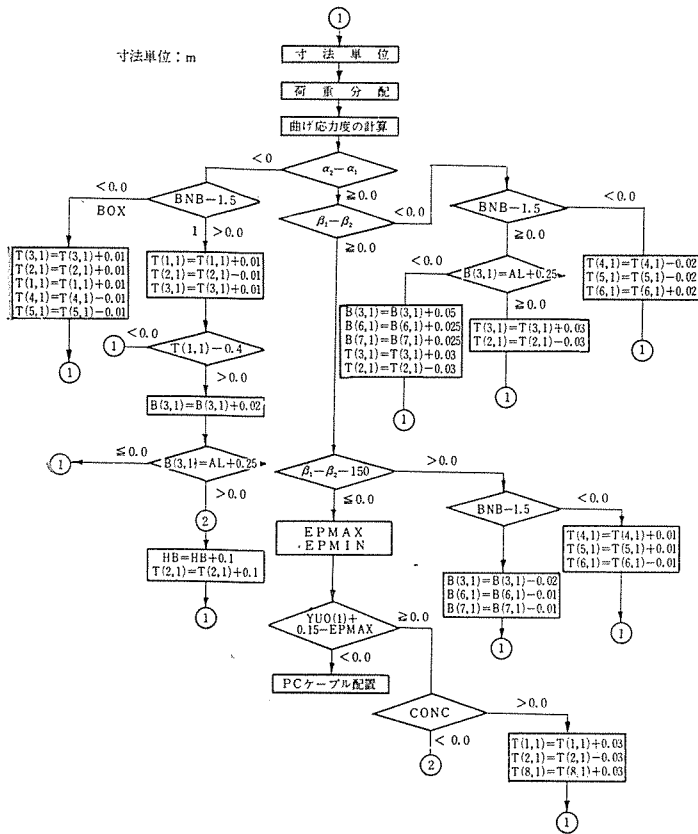
断面の修正方法はα₁, α₂に関する場合は、上フランジ厚を増減しβ₁, β₂に関する場合は下フランジ幅および厚さを増減し下フランジ幅が過大となりシュー据付けのために必要な主桁間の空間が失なわれる場合には、その必要間隔を残して、その後は、下フランジ厚のみを増加させる。BOX桁の場合は、上下縁共、フランジ厚の増減により、断面を修正する(図-2, 図-4参照)。

偏心量に関する条件を満足しない場合は、上フランジ厚を増加させて補正している。

(3) PCケーブルの配置

PCケーブルは、所要の間隔を保ち、かつまた、所要のかぶりを持ち、許される偏心量の範囲に配置しなければならない。この作業は、人力による場合は、きわめて簡単な作業であるが、計算機に、この作業を行なわせようとすると、かなり複雑なプログラムを必要とする。

図-4 スパン中央断面の修正

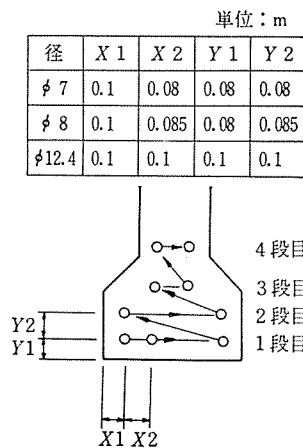


自動設計プログラムで苦心をするのは、どちらかといえば、このように視覚に頼る部分である。この設計ではまずPCケーブルの必要間隔と桁幅から、1段に配置できるPCケーブルの最大数を定めた。PCケーブルの最大配置段数は4段とし、桁下縁に最も近い位置（第1段目）からPCケーブルを配置してゆき、PCケーブル本数が増加するごとに、プレストレス量と、その所要量との比較を繰り返し、プレストレスが所要量に達したときの各段のケーブル本数の和を配置ケーブル本数とする。

4段目までこの操作を繰り返し所要プレストレスが得られない場合は、PC鋼線の径を1段太いものに変えて同様な操作を繰り返す。必要なケーブル本数とその位置がきまり、その図心位置が所要の偏心範囲にあることを確かめた後、中央断面の曲げ応力度の精算に進む。

このとき、PC緊張力の有効率が仮定した値と1%以上異なるときは、計算した有効率を用いて断面修正をやり直す。所

図-5 スパン中央ケーブル配置参考図



要偏心範囲を外れる場合は、この範囲に入るように、全PCケーブルを一様に移動させて修正する。

PCケーブルの定着角度は、桁上面に定着する場合、2主桁およびBOX桁では30°、3、4主桁では25°と定めた。これらは従来の設計および桁高を考慮して定めたものである。

桁端定着ケーブルの定着角度は25~10°の間で減している。桁上面定着ケーブル本数と、桁端定着ケーブル本数との比は、従来の設計を参照して4/6と定めた。

PCケーブルの桁上面定着間隔は、横締めPC鋼棒との競合をさけるために、表-6のように定めた。

桁端定着ケーブルの最上段の定着位置は、桁上面より0.2mの位置とし最下段のケーブル定着位置は、桁下縁より0.25mの高さとした。他の桁端定着ケーブルは、φ7、φ8ケーブルのとき、0.25m、φ12.4ケーブルのとき0.3mとし、桁端に1列に配置することが不可能な場合は、上段から必要段数だけ2列配置とした。PCケーブルの曲線形は、放物線とし、ケーブル定着端より、0.5mの間は直線配置とした。

図-6 桁端ケーブル配置

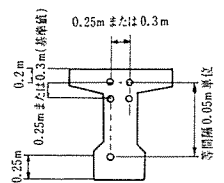
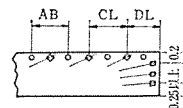


表-5 PCケーブルの定着

主桁数	上縁定着ケーブル		桁端定着ケーブル		備 考
	定着角度	定着本数比	定着角度	定着本数比	
1	30°	40%	25°~10°	60%	桁端定着角度は30°単位
2	30°	40%	25°~10°	60%	
3	25°	40%	25°~10°	60%	
4	25°	40%	25°~10°	60%	

表-6 PCケーブルの定着位置

PCケーブル	主桁数	上縁定着ケーブル			桁端定着ケーブル	
		DL (m)	CL (m)	ABの基準値 (m)	水平間隔 (m)	鉛直間隔 (m)
12-φ7 12-φ8	1	0.9	1.0	—	0.25	0.25以上
	2	0.65	1.0	0.5	0.25	〃
	3	0.9	1.2	0.8	0.25	〃
	4	0.9	1.0	1.0	0.25	〃
12-φ12.4	1	0.9	1.6	—	0.3	0.3以上
	2	1.25	2.0	0.5	0.3	〃
	3	0.9	1.6	0.8	0.3	〃
	4	1.0	2.0	1.0	0.3	〃



(4) 曲げ応力度の検討

曲げ応力度の検討断面は、図-7に示すように上縁定着ケーブルの各コーン背面位置と、スパン中央、支点、スパン中央よりスパンの1/8離れた位置の断面 ($K=2$) とした。ケーブル定着位置での応力度の検討は、その位置に定着されるケーブルが有効に働らく場合と無効の場合について行なっている。これらの応力検討断面で曲げ応力度の許容条件が満足されないときの補正方法について説明することにする。補正を要する断面が、スパンの中央よりスパンの1/8離れた断面 ($K=2$) の場合はPC鋼線緊張力を加減することによって補正する。この場合、スパン中央では、許容条件は満足されているので、この断面で許容条件が満たされないとしても、その量はわずかなのでこのような補正方法によったのである。

他の応力検討断面で許容条件が満たされない場合は、ケーブル定着位置をスパン内方に向けて一様に移動させることにした。1回の補正量は0.05mとした。この理由は、スパン中央以外の断面で許容条件が満たされないのは、プレストレス導入時であるからである。

支点断面で許容条件を満足しないことは、一般に考えられないので、支点に関する曲げ応力度の補正は考えていない。

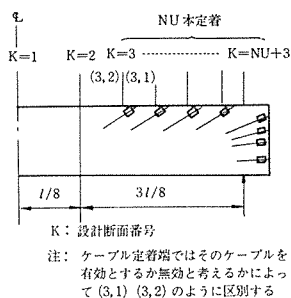
(5) せん断応力度、斜引張応力度の検討

応力検討断面は、曲げ応力度に関する場合と同じとした。設計荷重時のせん断応力度、斜引張応力度の計算は、断面図心位置について行ない、破壊荷重時には、断面図心位置および中立軸で検算を行なった。設計荷重作用時に斜引張応力度が許容値を越えるときは、その断面がスパン中央断面、スパン中央からスパン1/8の距離にある断面ならばウェブ幅を0.02m拡幅し、支点断面の場合には、桁端定着PCケーブルの定着角度を2°ずつ増加させることにした。その他の断面の場合は、上縁定着ケーブルの定着位置をスパン内方に向けて一様に移動させて補正することにした。

表-7 斜引張応力度の補正

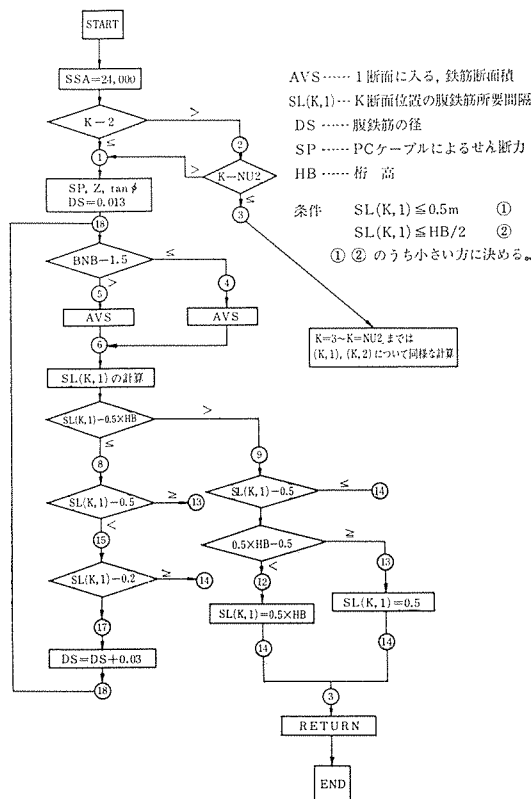
荷重条件	断面	補正方法			備考
		B(2)(m)	DL(m)	A(度)	
設計荷重作用時	$K=1\sim 2$	+0.02	—	—	B(2)…ウェブ幅 A…定着角度
	$K \geq 3$	—	+0.05	—	
	支点	—	—	+2°	
破壊荷重作用時	$K=1\sim 2$	+0.05	—	—	
	$K \geq 3$	+0.05	—	—	
	支点	+0.05	—	—	

図-7 応力計算断面



破壊荷重時に斜引張応力度が許容最大値を越える場合は、桁全長にわたってウェブ幅を0.05m増加させることにしている。破壊荷重時には許容斜引張応力度を越えるか否とにかかわらず、腹鉄筋の配置はスパンの1/4ごとに、その間の必要最小間隔で等間隔に配置し端数はスパン中央付近で調整するようにした。

図-8 腹鉄筋計算サブルーチン フローチャート



(5) 床板の設計

床板の曲げ強さの検討はスパン中央付近で一カ所行ない、必要PC鋼棒量を定め、全スパンにわたってのPC鋼棒配置の基準とした。

床板に生ずる曲げモーメントは、主桁上に連続板がのるものとして算出し、正負それぞれの最大値について、許容条件を満足するように鋼棒緊張力を定めた。

PC鋼棒の配置は、PCケーブルと競合しないように図-9のフローチャートに従って定めた。この設計では、床板の横締め鋼棒の間隔は、構造形式によってほぼ一定で、基準的な間隔を定めることができる。この基準値は、4主桁で0.5m、3主桁で0.8m、2主桁で1.0mである。

(6) 横桁の設計

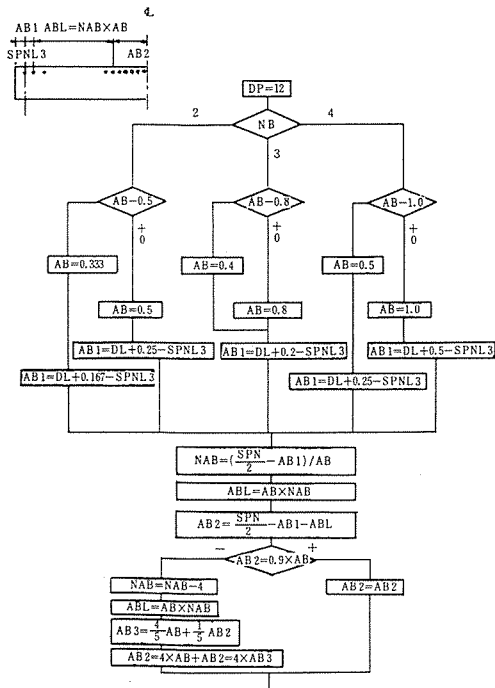
横桁の曲げモーメントは、横桁に生ずる最大活荷重反力によって生ずるものとして計算した。

横桁のPC鋼棒の最大本数は、3本とした。

(7) 安全度の検討

破壊安全度が不足する場合は桁高を0.05m増加する

図-9 PC 鋼棒の配置



ことにした。この設計プログラムでは原則として、桁高は変えないことにしていたが、安全度が不足することはごくまれにしか起らないことなので、この場合は特に桁高の変更を考えることにした。

(8) その他

たわみの計算，材料計算，緊張計算，引張鉄筋の算定 PC 鋼線応力度の検討などをプログラムでは計算することになっているが，これらの計算の場合は，手計算による場合と何等異なるところがないので省略する。

5. 自動製図

自動設計プログラムは，設計計算と製図を自動的に行なうことによって完成されるといってよい。

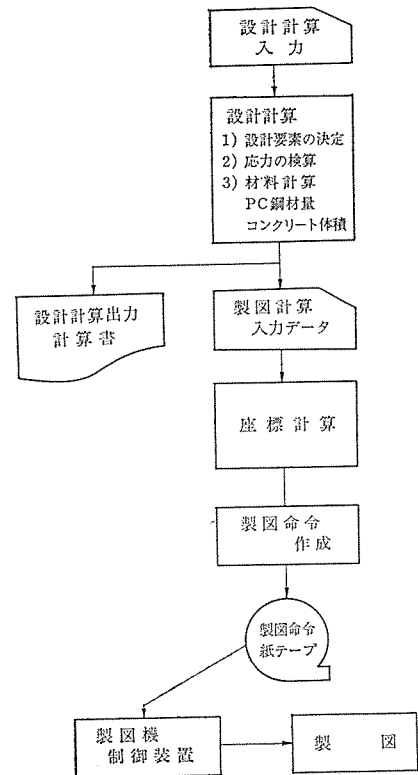
PCI 形桁の自動設計プログラムは，ステップ数が非常に多いため，設計計算部と製図部分のプログラムを別にしてはいるが，図-10 に示すように，設計計算結果を

計算書としてプリントするほか，データカードにパンチしておき，このカードを，そのまま製図プログラムの入力カードにすることにしてはいる。このため設計計算のための入力カードを作成すれば，製図用の紙テープができるまで，ほとんど人手を要しないようにしてある。

製図プログラムは，東大生研の図化機に適合するように作成し，完成しているが，現在は，国鉄で新規購入した FANUC 250 に適合するように，プログラムを改編する作業を行なっている。

この外，PC BOX 桁などの自動製図プログラムも現在開発中である。

図-10 設計計算より製図まで



製図プログラムの詳細については紙面の関係で別の機会にゆずることにした。

1969.3.6・受付

第 6 回 FIP 大会

標記国際会議が行なわれる旨の通知がありました。詳細プログラムは協会に到着しておりますから，郵送料（〒 15 円）を添えお申込み下さい。

記

日 時：1970 年 6 月 6 日～13 日
場 所：チェコスロバキア・プラハ市