

# 地下鉄道における任意形ラーメン構造物の自動設計製図

遠 藤 浩 三\*  
岩 沢 光 一\*\*

## 1. はじめに

近年、電子計算機の発展は著しく、土木の設計分野においても積極的に活用されており、構造物設計における応力解析、厳密解析には不可欠のものとなっている。さらに、電子計算機の活用は、周辺装置および製図機器の機能向上により設計製図の自動化へと発展する傾向にあり、今後ますますこの割合が高まるものと考えられる。

東京都交通局においても、これらの情勢と当局の設計業務量等を勘案し、昭和 48 年 1 月から地下鉄土木構造物の自動設計製図システムの開発を進めつつある。

地下鉄道における地中構造物は、既設構造物や計画施設等の関連から構造形状の定形化が困難であり、さらに施設が大型化、多様化する傾向にあるため、構造物は複雑なものとなり、ますます設計が煩雑になっている。したがって、これらの状況は設計の標準化を困難にし、構造設計はもっぱら安全性の検討のみになりがちになり、構造物全体の経済性、施工性の合理性の検討が十分行い得ない状態にある。

ここに紹介するシステムは、任意形ラーメン構造の設計、製図、材料計算等一連の設計について、安全性はもとより経済性、施工性をも考慮した最適自動設計を行うもので、今回このシステムの一部である設計計算および応力図の作成までが完成したので報告する。

## 2. システム開発の目標

現在当局が行っている地下鉄建設における土木構造物は約 90% が地下部、残りの 10% が地上部である。地下部はさらに駅部と駅間を結ぶ一般隧道部に分けられ、前者は構造が大型、複雑となるため RC 箱形ラーメン構造とし、開削工法によるのが通常であり、後者はほとんどがシールド工法による円形断面で、RC または鉄製セ

グメント構造である。また、地上部については、高架門型ラーメン構造が主体で、部分的に橋梁構造となっている。

一方、これらについて構造設計の面からみると、設計量、所要時間および経費の点で、圧倒的に地下部駅構造の設計が多く、全体の 70~80% を占めている。

また、駅部構造は、1 駅 10~30 断面から構成される任意形のラーメン構造で、年間 100~300 断面の莫大な設計作業量となっており、この設計のシステム化を図ることにより大きな効果が得られるものと想定される。

システム開発にあたっては、これらの状況を考慮し、開発目的、順序を設定した。

### (1) システム開発の目的

地下鉄のような任意形を有する地下ラーメン構造の設計は部材の厚さを仮定し応力検討を行う、いわゆる試行法で行うため、反復計算が多くなり、莫大な計算時間と労力を要し迅速性、省力性に難点がある。また、仮定断面が応力的に満足であれば計算が完了したとするため、経済性、合理性の乏しいものとなりがちである。システム開発にあたり、これらの不合理性を排除するため、次のような目的を設定した。

① 経済性を考慮した適正設計：断面決定の要因として、応力的条件のみでなく、施工コスト、施工性をも考慮した経済設計を目指す。

② 設計の迅速性と大量処理：設計工期の短縮、増大する設計業務に対処するための大量処理を可能にする。

③ 省力効果：設計計算、製図そのものは、比較的単純作業の部分が多く、自動処理により大幅な省力化を図

表-1 システム開発順序

期	内容	完了時期
第 1 期	任意形ラーメンの設計計算および応力図作成 (RC 構造)	完 成
第 2 期	同上配筋図および材料計算	開発中 昭和 49 年度完成
第 3 期	地下連続壁、合成柱などの特殊構造、隣接断面との関連を考慮した設計	昭和 50 年度開発
第 4 期	高架構造、シールド構造設計	昭和 51 年以降

\* 正会員 東京都交通局高速電車建設本部計画部長

\*\* 正会員 東京都交通局高速電車建設本部計画部調整課主査

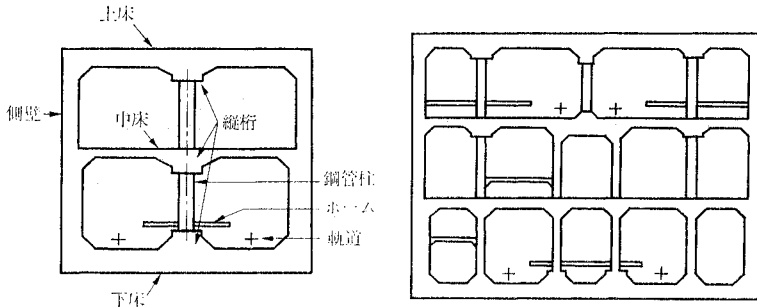


図-1 地下鉄構造物の一例

れる。

## (2) システムの開発順序

システム開発には多大の時間と経費を要するので、有効かつ早期利用を図るため、表-1 のような開発順序を策定した。

## 3. システム概要

### (1) 本システムの特長

今回開発した自動設計製図システムの主な特長として次の点があげられる。

#### a) 任意形ラーメン構造の設計

地下鉄における地中構造物の大きさおよび構造形状は駅の規模に相応するホーム、コンコースおよび駅諸施設と用地などの外的要因をもとに決定される。したがって構造形は図-1 のように2層2径間程度から5層6径間というようなものまで、多種多様な構造形が要求されるので、システムはこれらの諸条件に対処できるものでなければならない。このためシステムでは、独特の構造認識と複雑な荷重および配筋計算等を行い、任意形構造の自動設計を行えるよう考慮した。

#### b) 最適断面の設計

従来の設計は、断面が複雑となるに従い、計算作業が莫大となり、繰返し計算により最適断面を求めることが困難な状態にあるので、仮定した断面が厚すぎて不経済となる場合もあったが、本システムにおいては、経済的断面の決定に対処する方法として、躯体の鉄筋コンクリート工事費のみならず、部材厚の増大に伴う仮設工事費の増大の影響をも考慮に入れ、総合的工事費が最小になるよう配慮し、繰返し計算により適切な断面を求めている。

#### c) 一貫自動設計システム

自動設計製図システムとして当然のことであるが設計計算から作図、材料計算までを一貫的に自動処理する。

## (2) システム構成

本システムの処理過程は、図-2 に示すとおりであるが、以下この処理過程における各部の処理概要を述べる。

### a) 入力

構造、荷重等の必要最小限条件の入力と、ファイル化された許容応力度等の基本定数により計算を開始する。

### b) 構造認識

構造認識とは、構造物の大きさや形状を認識するとともに地形との相対位置関係を規定するものである。構造寸法は、入力された内容寸法と諸種の条件により仮定される部材厚により決定される。これらの認識は、任意に設定する座標により表わす。

### c) 骨組計算

構造認識により仮定された断面に対して、ラーメンの骨組寸法を計算し、応力計算に必要な断面二次モーメント、断面積などの諸量を求める。

### d) 荷重計算

土荷重などの地中構造物に対して一般的に作用する荷重について、すべて自動計算とし、地下鉄上に建設されるビルや橋脚などの自動化できない荷重は、入力処理とする。また、施工時、地震時等の多ケース荷重に対して

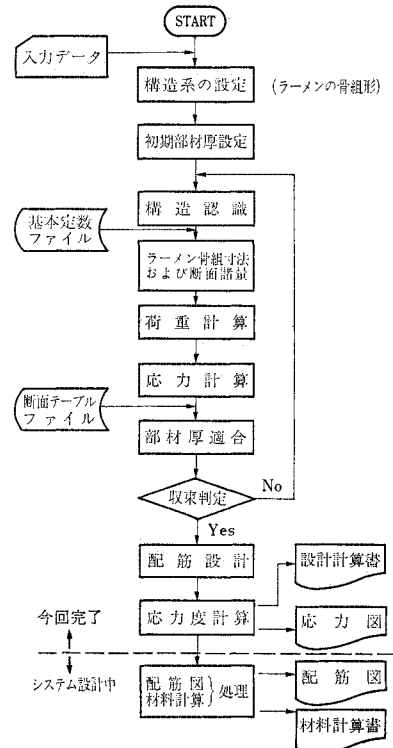


図-2 システムフロー

も同時に処理ができる。

e) 応力計算

計算された荷重ケースごとに、変形法により応力解析を行う。荷重ケースごとに算出された応力は、必要に応じて合成し、断面決定を行うための最大、最小応力の抽出を行う。

f) 部材厚適合

ここでは、応力計算された応力に基づいて、経済性、最大可能配筋による部材厚および入力指定された諸条件を満足するような部材厚を決定する。また、縦桁、柱についても同様に断面の決定を行う。

g) 収束判定

断面の決定は、自動反復計算により行っているの、計算の終了を判定する必要がある。ここでは、すべての部材厚について、前回計算値と今回計算値の差が許容範囲内にある場合に収束したと見なし、許容値を越えていれば、今回の計算値を仮定部材厚とし、前出 e) の過程から再度計算を行う。

h) 配筋設計

決定された断面に対して、あらかじめ接合部形状ごとに応力発生状態、部材種別に応じた配筋パターンをシステム内に用意し、これらの配筋パターンの組合せと、応力上必要な鉄筋量により構造全体の配筋を形成させる。

i) 応力度計算

配筋設計された鉄筋量に対し、各部材の応力計算点における応力度計算を行う。

j) 出力

出力は、これら一連の処理過程の中から、設計計算書、応力図、断面配筋図、縦桁配筋図および材料計算書が得られる。

(3) プログラム概要

このシステムにおいて使用している機種およびプログラムは次のとおりである。

- 使用言語: ALGOL
- 使用機種: BURROUGHS B-6700
- 使用製図機: CALCOMP 1136 (プロッター)
- プログラム規模: 約 30 000 ステップ  
 (設計部分・約 10 000 ステップ)  
 (応力図部分・約 20 000 ステップ)

4. システム設計

(1) 構造認識

地中構造物の構造認識は、構造物と地形上の平面位置および深さ関係などの外的位置を表わすものと、構造自体の形状、寸法等を表わす内的なものがある。

a) 構造物の外的位置の認識

構造物の外的位置は、図-3 に示すように任意に設定

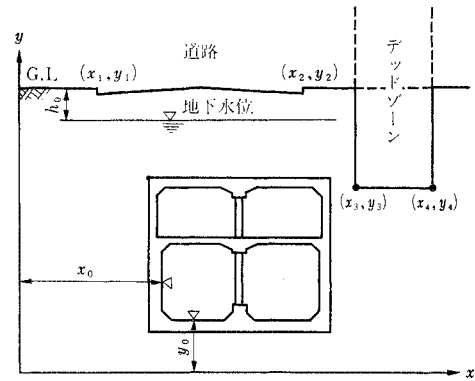


図-3 構造物の外的位置関係

する座標系により表現する。すなわち、道路、民地境界および地下水位位置などの地形的要素を  $x, y$  座標値により、また構造物の位置関係は、任意の水平、鉛直部材の基準面の  $x$  または  $y$  座標値で表わす。

また、このほかデッドゾーンなる範囲を設定して、構造物をこの部分に築造させないような処理を考慮している。

b) 構造骨組の認識

任意形構造の形状判断は、図-4 に示すようにラーメンの骨組系を入力することにより認識させることにし、節点を通る「層」「列」によって相対位置関係を表現する。

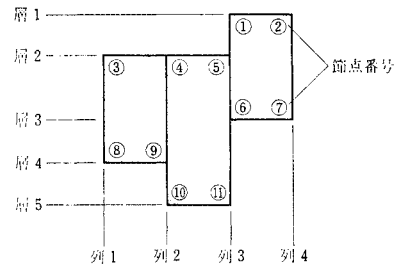


図-4 ラーメン骨組構造

c) 構造寸法の認識

構造物の大きさと部材位置は、図-5 に示すように前述の a) において設定された基準面と内空寸法および部材厚により決定する。このうち、部材厚は計算過程の中で自動算出または入力指定により決定され、また、部材種別により部材間の面合せ、または中心合せを自動的にを行い、形状調整をする。

d) 部材形状の認識

ラーメン構造における部材接合部は、図-6 に示すような隅角部や桁接合になるが、本システムでは、接合部の形状指定方法として、システム内に各種の形状パターンを用意し、これらのパターン番号の入力指示により形状を認識させている。

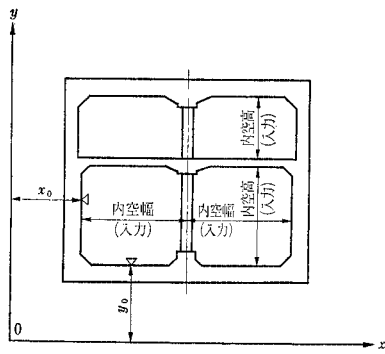


図-5 構造寸法の決定

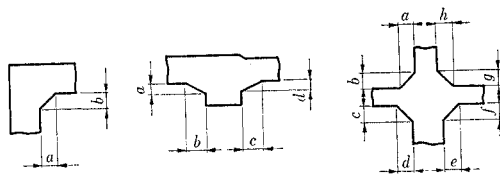


図-6 接合部パターンの一例

## (2) 荷重計算方法

地下構造物に作用する荷重は、表-2 のような各種のものがあるが、これらについて算法を標準化し、計算に必要な基本定数を計算機内にファイル化する(表-3)とともに、計算処理方程式を算式などにより表現して、極力自動計算できるように配慮した。また、自動処理のできない荷重については、入力処理することにより、図-7 のようなすべての荷重に対処できるようにした。

### a) 荷重計算

構造物の外的位置関係などの構造認識により、構築上の土かぶりを自動計算し、定数テーブルを用いて、路面荷重および土荷重を計算する。水平土圧および構築自重についてもすべて自動計算する。

表-3 基本定数テーブル項目

定数名	適要
単位体積重量	土(地下水位上,下) コンクリート, 鉄筋コンクリート, ほか
路面活荷重	土中深度ごとの荷重値
コンクリートの許容応力度	圧縮, せん断, 支圧, 付着
鋼材の許容応力度	鉄筋, 鋼管柱
ヤング率	コンクリート, 鉄
線膨張係数	

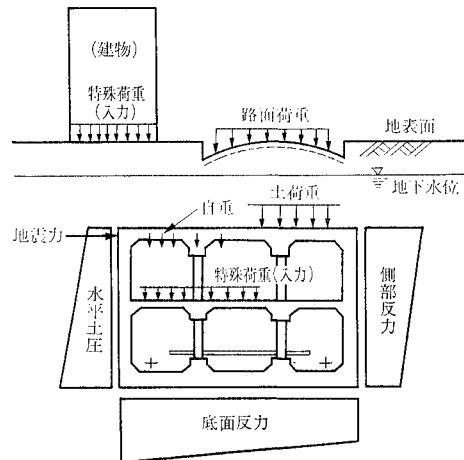


図-7 計算対象の荷重

ただし、荷重強度が自動計算できない建物あるいは機械荷重などの特殊荷重については、図-8 のような特殊荷重タイプごとに荷重の位置、強度を入力する。

### b) 反力計算

上の荷重に釣合うよう水平および鉛直の地盤反力が自動計算される。側部反力は左右土圧がアンバランスの場合に、力の釣合から図-9 のように計算され反力が許容受働土圧を越えた場合は、底面の摩擦により釣合が保たれる。

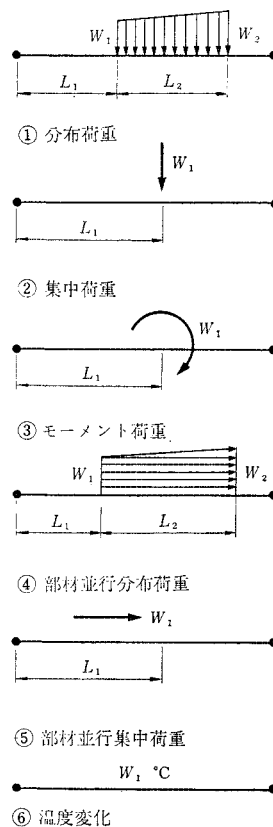


図-8 特殊荷重

図-9 のように計算され反力が許容受働土圧を越えた場合は、底面の摩擦により釣合が保たれる。

底面反力は、下床版の剛性および地盤反力係数により形が異なるので、一般的反力状態の全底面一様反力のほかに、図-10 の各種反力についても配慮してある。

なお、構造によっては反力を取れない部材もあるので、入力によって反力を取らない部材を指定することもできる。

## (3) 部材厚決定方法

### a) 応力計算

ラーメンの応力計算は、変形法を用いて通

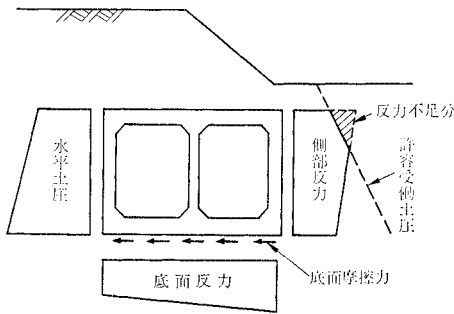


図-9 側部反力

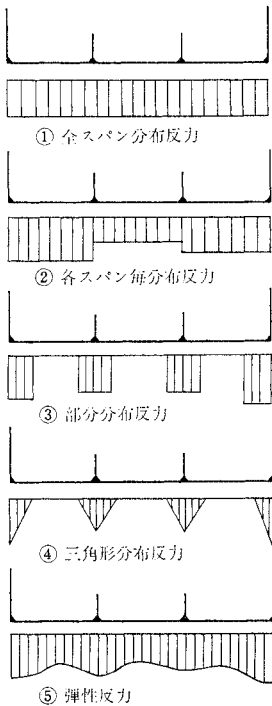


図-10 各種反力の形状

る。

### e) 床版厚の決定

床版、壁の断面は鉄筋コンクリートとしての強度的条件はもとより、地下構造物としての施工条件および地下鉄としての利用上の条件などを考慮して、最も経済的な断面を決定する必要があるため、従来行っている断面決定方法を分析し直し

- ① 経済的な断面（コストミニмум断面）
- ② 鉄筋が配筋可能な断面（最大鉄筋断面）
- ③ せん断に抵抗できる断面
- ④ 諸種の制約条件を満足する断面

といった要件を考慮し、断面を決定することにした。

① コストミニмум断面：版の厚さを厚くすると鉄筋の材料、施工費は減少するが、逆にコンクリートは増大

常行われている手順で計算するとともに、ラーメン部材を両端固定ばりとした場合の検討応力を求め、部材の各計算点における、各荷重ケースごとのラーメン応力および両端固定ばり応力のうち、最大応力を抽出し断面設計用応力とする、

### b) 初期部材厚

ラーメンの荷重、応力計算を行うにあたっての初期部材厚は、ラーメン計算の収束を早めるため、真の値にできるだけ近いことが望ましいので、各部材を両端固定ばりとして応力計算し、部材厚を求めて、その値を使用する。

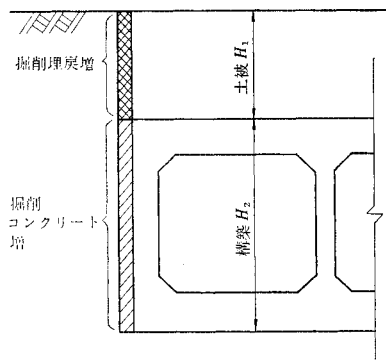


図-11 部材厚増大に伴う掘削、埋戻しの増大

し、その上 図-11 のように側壁部は掘削、埋戻し工の増大を招く。したがって、これらの鉄筋のコスト、および部材によっては、掘削埋戻し費を含めたコンクリートのコストを用いて、与えられた応力に対し、最も経済的な鉄筋コンクリート断面を求めることにし、あらかじめ応力および土かぶりに応じて、このコストミニмум厚を計算して、計算機内にファイル化しておき、計算実行時に使用する。

② 最大鉄筋断面：鉄筋コンクリートは設計施工上配筋できる最大鉄筋量により部材の最小厚が制約されるので、最大鉄筋を配筋した最小部材厚を計算し、ファイル化しておく。

③ せん断抵抗断面：施工上版のせん断鉄筋はあまり多く配筋できないので、せん断応力度が許容値の 75% 程度以内となるよう断面を設定する。

④ 諸種の制約条件：部材は、内空利用上や、応力上および施工上、諸種の制約条件があるので、部材厚さの指定、部材厚の相関および部材の同厚化などの制約条件を満足させる必要がある。部材厚相関とは、各部材間で部材厚に関係をつけたい場合に使用され（図-12 参照）、部材同厚化とは、部材厚を同一とすることにより構築の設計施工が有利となる場合に使用される。

以上の諸条件から、部材厚の最小限界値と最大限界値が求められるので、この範囲内でコストミニмум厚に最も近い値を決定断面とする。

この部材厚は、収束判定後厚さの丸めを行って、最終

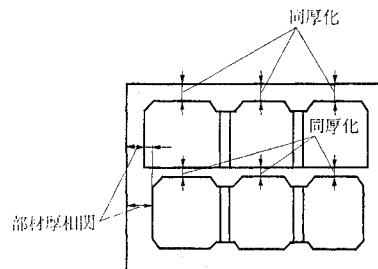


図-12 部材厚の相関および同厚化の一例

決定断面とする。

d) 縦桁断面

縦桁の断面も版と同様に、適正鉄筋断面、せん断抵抗断面および諸種の制約条件を満足するよう決定する。

e) 柱断面

柱としては、鉄筋コンクリートの角柱、丸柱およびらせん鉄筋柱と鋼管柱の各種があり、計画上の条件に応じて選定利用される。これらの各柱に対し、妥当な鉄筋量を配筋して、応力に応じ断面を計算し、あらかじめ計算機内にファイル化しておき、計算実行時に使用する。

なお、版、壁、桁、柱、いずれも断面寸法を指定した場合は、指定値が優先的に決定値となる。

以上の部材のほかに、構造的には部材はないが、軸力は隣接断面の部材を通して流れるような場合は、応力計算上軸力だけを伝える仮想部材を考慮している。

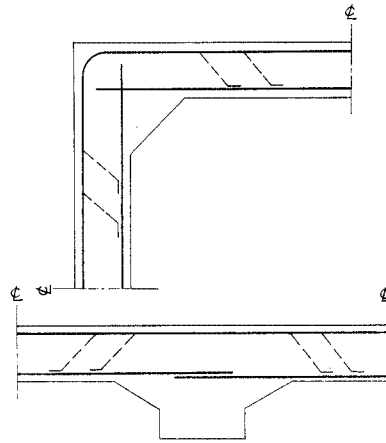


図-13 配筋パターンの一例

(4) 配筋手法

決定された断面に対し、配筋設計を行うが、設計計算の段階では、計算上必要な鉄筋、すなわち主筋、肋筋、およびせん断用鉄筋について設計を行い、その他直接計算を行わない配力筋、ハンチ筋、および補強筋等については配筋図作成段階で処理する。

a) 配筋パターン

配筋手法には種々あると考えられるが、本システムに

おいては、図-13のように節点とそれに連なる部材の中央までを考慮した配筋パターンを、接合部形状、部材種別と応力状態、荷重方向に対してあらかじめ作成しておき、自動的に選択して配筋を決定する手法をとっている。

配筋パターンには、各鉄筋種別ごとに次のような情報を持たせている。

- ① 部材相互間の鉄筋連続状態
- ② ベンド可能鉄筋の有無

```

+-----+
| I 3 KAJU KEISAN I |
+-----+

*** CASE 1 *** JOUJI
(1) JOUSHO KAJU
** BUZAI BANGO 1 **

      KAJU SHURETSU          X1      X2      W1      W2
      (BUNPU KAJU)          (M)      (M)      (T/M2)  (T/M2)
      RONEN KAJU            0.000    0.792    2.200    2.200
      HOSO KAJU              0.000    0.792    0.300    0.300
      TSUCHI KAJU            0.000    0.792    2.600    2.600
      H = 1.500              H0 = 1.000
      TSUCHI KAJU            0.792    6.110   -3.040   -3.040
      H = -1.900            H0 = 0.000
      HOSO-C KAJU            0.000    6.902    0.235    0.235
      SHOBAN JIJU            0.000    6.902    6.375    6.375

* GOSEI KAJU *
      BUNPU KAJU              X      WL      WR
      (M)      (T/M2)  (T/M2)
  
```

図-14 設 計 計 算

③ 鉄筋の形状および端部の定着方法

④ パターン相互間の鉄筋結合方法

各節点ごとに自動選択された配筋パターンを組み合わせ鉄筋長を考慮して結合方法を決定し、径の調整を行うことにより全体の配筋を決定することができる。現在、38種類の配筋パターンが分析されている。

b) 主筋の径と本数

断面収束後、各部材についてスパン 10 等分点の必要鉄筋量を算出する。次に、選定された配筋パターンの情報により、鉄筋の連続部分における最大の鉄筋量を選び出し、計算機内にファイル化された表-4の鉄筋テーブルから径と本数を決定する。

c) ベンド筋の決定

主筋の径と本数が決定された後、ベンド可能鉄筋につ

いてスパン 10 等分点の必要最小鉄筋量をもとに、次の条件を満足するようにベンド位置の計算を行う。

① 応力上、配筋上ベンド可能位置であること。

② 斜め引張応力に対してできるだけ有効に働く位置であること。

d) セン断用鉄筋の決定

腹鉄筋の計算は、ベンド筋、肋筋を考慮して行い、不足分については、厳密計算によりせん断用鉄筋の挿入位置径および本数を決定する。

e) 柱および桁の配筋

床版と異なり定形的な配筋のためパターン化は行わず算式により配筋を決定する。ただし、桁のベンド筋およびせん断用鉄筋の計算は版と同様の方法で行う。

(5) 入力項目

入力項目は極力少なくするのが望ましい。したがって、許容応力度、設計条件等の定数およびハンチ寸法等の標準値については、できる限り計算機内にファイル化しておき、入力指示のない限り内部的に処理を行い、必要最小限の入力を行えば良いように配慮している。表-5の16種類の入力項目について、計算内容に応じて適宜必要な項目について入力を行えばよい。

表-4 鉄筋テーブル

配筋段数 鉄筋番号 鉄筋量 (cm <sup>2</sup> )	1 段		2 段		3 段	
	①, ③	②, ④	①, ③	②, ④	①, ③	②, ④
10.14	(本) D13-4	D13-4				
51.39	D29-4	D29-4				
56.02	D25-4	D25-4		D22-4		
82.36	D29-4	D29-4	D22-4	D22-4		
166.32	D32-4	D32-4	D29-4	D29-4	D29-4	D29-4

注: 1m 幅あたり。

I 5 ORYOKUDO KEISAN I							
** BUZAI	1	SETTEN	1- 2	JOSHO	**		
			SHISHO ZENMEN	HANCHI SHITEN	MOMENT MAX	HANCHI SHITEN	SHISHO ZENMEN
B	(CM)		100	100	100	100	100
H	(CM)		271.67	255	255	255	275
D	(CM)		260.67	244	244	244	264
DD	(CM)			7	11	7	
DDD	(CM)		11	11	11	11	11
AS	(CM <sup>2</sup> )		16-D29	16-D29	12-D29	12-D29	12-D29
			102.78	102.78	108.86	108.86	108.86
P			0.00394	0.00421	0.00446	0.00446	0.00412
				4-D32		4-D32	
ASS	(CM <sup>2</sup> )			4-D29	16-D29	4-D29	
				57.46	102.78	57.46	
PP				0.00236	0.00421	0.00236	
U	(CM)		144.00	144.00	148.00	148.00	148.00
M	(TM)		394.15	389.47	379.65	401.57	409.79
N	(T)		40.31	40.21	39.94	39.42	39.30
S	(T)		10.99	12.20		21.88	23.33
Z	(CM)		83.27	73.82	72.16	75.30	85.45
J			0.894	0.899	0.901	0.897	0.892
SIGUMAC	(KG/CM <sup>2</sup> )		45.85	43.87	38.80	44.33	45.67
SIGUMAS	(KG/CM <sup>2</sup> )		1454	1517	1385	1490	1431
TAU	(KG/CM <sup>2</sup> )		0.47	0.56		1.00	0.99
TAUO	(KG/CM <sup>2</sup> )		0.16	0.19		0.34	0.33
M,N	SELECT CASE		3	3	3	3	3
S	SELECT CASE		1	1	3	1	1

書 の 一 例 (部分)

表-5 入力項目一覧表

名 称	内 容
コントロールデータ	計算作業内容の指示
層、列データ	ラーメン骨組を機械に認識させる
基準面データ	基準部材の基準面座標の指定
内空データ	各部材間の必要最小内空の指定
面合せデータ	部材の上面、下面、部材心などの面の合せ各
節点データ	節点の支承条件およびハンチ形状、寸法
部材データ	部材種別、部材厚の制限範囲、部材厚の指定等
同部材厚データ	指定された部材について部材厚を同一とする
部材相関データ	指定された部材について部材厚に相互の関係を持たす
桁データ	桁幅、桁高等の制限範囲の指定
桁合せデータ	指定された桁について、形状または配筋を合わせる
基本設計条件データ	地表面、地下水位、路面位置、内部摩擦角等
荷重データ	反力形状タイプ、地震震度、特殊荷重等
応力合成データ	荷重ケースの応力を合成加算して、別のケースをつくる
応力比較抽出データ	各荷重データ各荷重ケースの応力から、割増率を考慮して、最大値抽出
作図データ	軌心、プラットホーム等の作図用データ

## 5. 出 力

このシステムを用いて自動設計を行った結果は、設計計算書および応力図として出力される。

### (1) 設計計算書 (図-14 参照)

表-6 のように従来の手書きの計算書と同様の内容とし、かつ書式、記号等についてもできる限り従来のものと同じにするとともに、複写、保管を考慮してA4版の大きさとした。

### (2) 応 力 図

応力図とは設計計算書の内容を図化したもので、図-15 のように一般構造図、荷重図、曲げモーメント図、せん断力図が作図される。計算断面の大きさ、最小内空、

表-6 計算書出力項目一覧表

名 称	内 容
表紙および目次	計算断面名称、計算日、目次等
設計条件	土かぶり、地下水位、土質条件、許容応力度等
断面諸元	部材厚、断面二次モーメント、部材長等
荷重計算	荷重ケースごとの各部材の荷重計算内容
応力計算	各部材の標準計算点の曲げモーメント、軸力、せん断力
応力抽出	各荷重ケース応力の中の最大、最少応力
応力度計算	各部材の標準計算ごとに実応力度の計算
縦桁の計算	縦桁の応力度計算および腹鉄筋の計算
柱の計算	RC柱、鋼管柱の応力度計算

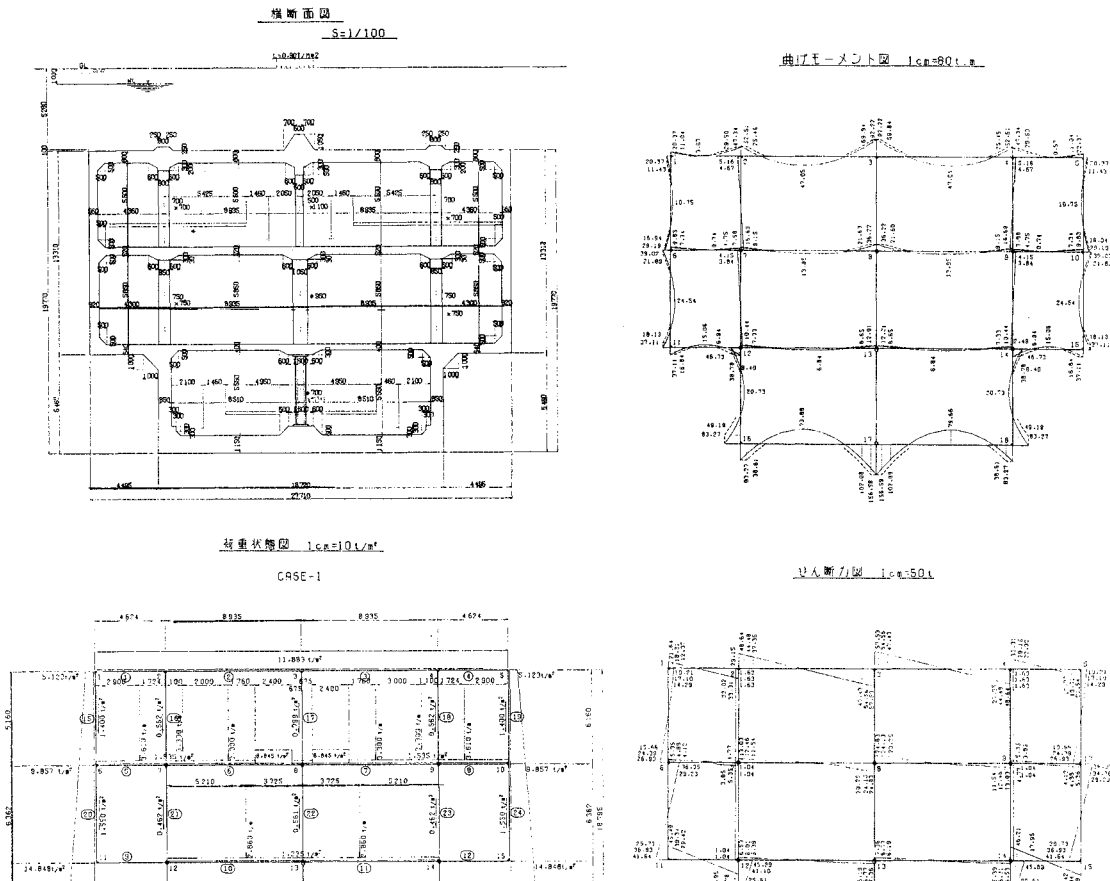


図-15 応 力 図 (部分)



荷重ケース数などにより自動的に図面の大きさ、縮尺、配置を決定しプロッターにより作図を行う。非常に鮮明な図面が得られるので、マイクロ化が容易であり、かつ短時間で作図できることを考慮すれば、従来の手書きの図面よりも優れているといえる。

## 6. 本システムの期待される効果

本システムにより地下鉄で多用される任意形状のボックスラメンの自動設計が可能となるので、設計の迅速性、経済性をはじめとして、その及ぼす効果はきわめて多種、多大なものがあると期待される。

### (1) 迅速性 (大量処理)

このシステムにより設計計算を行うと、その要する時間は入力に約2時間、応力計算に15分、製図1枚に20分～1時間程度のものであるので、断面の検討やカードパンチその他のチェックなどの時間を考慮しても、1断面2～3日で設計可能である。従来の手計算を主体としたものでは、材料計算までを含めると少なくとも1か月を要しているが、配筋図の自動化まで完了すると、人力に頼る部分を考慮しても、従来の設計工期を1/3程度に短縮することができると想定される。また、高速でかつ人手を要せずに処理できるので、一時期に設計業務が集中した場合でも、その大量処理が可能となる。

### (2) 経済性

今回のシステムにより地下鉄構造物の設計業務の30～40%が自動化対象作業となり、また、自動化した場合に、その設計費は手計算の60%程度であると試算されるので、設計外注費はかなりの節減が計れるものと期待される。さらに、本システムでは施工性を考慮した最適断面の設計が行えるので、開削工法部の土木工事費は、数%の節減が計れるものと試算される。

### (3) 正確さ

電算化により各種の設計条件に対し細部まで正確に設計計算が行え、また、人為的ミスも入力時点以外では起こらないので、きわめて誤りのない設計ができる。

### (4) 標準化

計算過程のうち従来“カン”によって判断していた部分についても、電算化する場合には論理性をつけなければならないため、設計の全過程が標準化され、合理化される。

### (5) 新しい設計計算の分野

上述の諸種の効果、とくに高速性により設計がきわめて容易に行えるようになるので、次のような効果が生じるものと考えられる。

① 計画初期の段階で、平面、縦断線形を決める要因となる構造形状の比較設計を行うことにより、より適確な線路計画ができるようになる。

② 構造設計にあたって、内空の有効利用および応力上合理的な構造物となるような検討、例えば駅の内空スパン割りあるいは縦断方向の柱間隔を変えて比較するなどの検討設計が容易となる。

③ 施工段階で構造変更の必要性が生じた場合でも、すばやく、かつ十分に検討された構造物が設計できる。したがって従来に比べ、質的に変わった新しい設計計算の分野が広がり、十分比較検討されたより合理的な構造物の設計が可能となる。

## (6) その他の効果

このシステムの開発により、設計製図の分野での省力化が大幅に図れることになり、その分だけ地震や不等沈下あるいは近接構造物の影響などの特殊荷重状態に対する技術的検討に、より多くの時間をあてることができ、一段と高度な設計が可能となるであろう。

## 7. おわりに

従来、地下鉄のような多様な部材からなる任意形ラメンの自動設計製図は不可能に近いと思われていたが、近年の自動製図技術の進歩に加え、今回地下鉄ラメン構造物の設計法を徹底的に分析することにより、最適断面による任意形状ラメンの設計製図を自動化することに成功した。

このシステムは、従来に比べて適切な断面が設計でき工事費および設計費の節減が図れるのみならず、処理スピードの向上に伴い、設計工期が短縮され、また、計画時点および施工時点における比較設計などを十分行うことが可能となり、地下鉄建設上広範な威力を発揮するものと期待される。

システムは現在配筋図作成について開発中であり、今後さらに特殊な構造についても順次追加するとともに、将来線路計算システムとの連動や仮設計システムおよび積算システムとの連動も可能となるような、トータルシステム化を目指して開発を続けていく予定である。

なお、今回のシステム設計は、設計方法の分析を設計コンサルタントの協力により、プログラム設計を計算センターにより行ったものである。

(1974. 8. 22・受付)