

|        |     |           |
|--------|-----|-----------|
| 東京都交通局 | 正会員 | 岩 沢 光 一   |
| ”      | ”   | 山 田 宏     |
| ”      | ”   | ○ 岩 田 一 昭 |

### 1. はじめに

近年、土木構造物の設計分野における電子計算機の利用は著るしく、とくに最近では諸種の構造物の自動設計製図システムの開発が盛んに行われている。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内容を勘案して、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、現在設計計算および応力図製図までのシステムを完了し、実用に供している。

地下鉄における地中構造物は、既設構造物や計画施設等との関連から、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、このため設計計算量は多大なものとなるとともに、その煩雑さのため構造設計はもっぱら安全性の検討のみになりがちで、合理的設計が十分行い得ない状況にある。一才、当局の地下鉄道の設計業務は、開削工法の駅部構造に対するものが最も多く、年間100～300断面の設計を行う必要があり、このシステム化には大きなメリットが期待される。

そこで、①合理性を追求した経済的設計、②設計の迅速性と大量処理、③省力化効果、などを目的として、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システムを開発することにした。

### 2. 本システムの特長

今回開発した自動設計製図システムは、従来のシステムに対比し、次の点が特長としてあげられる。

(1) 任意形ラーメン構造の設計。--- 地下鉄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、その他駅施設と、用地、既設構造物などの外的要因をもとに決定されるので、構造形は図-1のように、多層多径間の多様な構造が要求される。従ってシステムはこれらの諸条件に対応できるよう、任意のスパンの部材を、任意に組合せたラーメン構造に対し設計可能となるよう配慮する必要がある。このため、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てある。

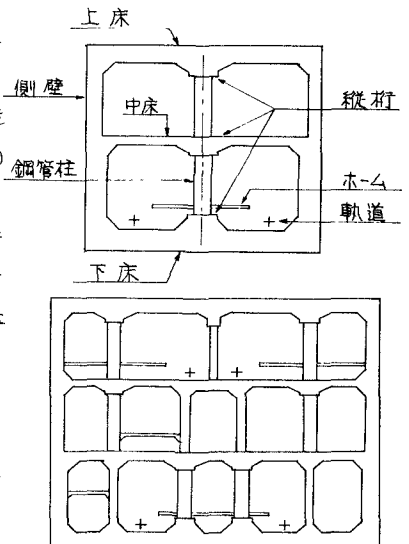


図-1 地下鉄構造物の例

(2) 最適断面の自動決定。--- 従来の設計は断面が複雑になるに従い、経験によって部材厚を適切に想定することも困難となり、また計算作業が莫大なので、繰返し計算によって最適断面を求めることも十分に行い難いため、仮定した断面が厚過ぎて不経済になっている場合も多かった。本システムでは、仮設工事費の影響も考慮に入れた経済的断面を計算し、繰返し計算により適切な断面を求めるよう配慮してあるので、最適断面を自動的に決定することができ。

(3) 一貫自動設計システム。--- 自動設計製図システムとしては当然であるが、設計計算から応力図、配筋図製図および材料計算までを一貫して自動処理する。

### 3. システム概要

本システムの全体構成は図-2のとうりで、この処理過程の概要は次のとうりである。

(1) 入力。--- 構造、荷重等の必要最少限条件の入力と、ファイル化された基本常数により計算を開始する。

(2) 構造系の設定。--- ラーメンの骨組の形状を、ラーメンの層、列を構成する節点と部材により認識する。

(3) 初期部材厚の設定。--- ラーメン計算に入るに当たって、初期部材厚を通常の構造の平均的部材厚で仮定する。

(4) 構造認識。--- 構造物の地表との相対位置関係や、構造形状を内空寸法や座標指定その他諸条件により決定する。

(5) ラーメン骨組計算。--- ラーメンの骨組寸法を計算し、断面二次モーメント、断面積などを計算する。

(6) 荷重計算。--- 土荷重など各種荷重を自動計算する。

(7) 応力計算。--- 荷重ケース毎に応力計算を行い、必要に応じて応力の合成をし、最大、最小応力の抽出を行う。

(8) 部材厚適合。--- 応力に基づいて、経済性、施工性、その他の条件を満足する最適部材厚を自動決定する。

(9) 収束判定。--- 断面の決定は自動反復計算によって行われるので、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、収束していない場合は今回の計算値を仮定部材厚とし、再度(4)の構造認識に戻って計算し直す。

(10) 配筋設計。--- 決定された断面に対し、あらかじめシステム内に用意された「配筋パターン」を用いて配筋の決定をする。

(11) 応力度計算。--- 各部材の主要計算点の応力度計算を行う。

(12) 出力。--- これらの計算から設計計算書を出し、またデータを図化処理し、プロッターにより応力図を出力する。

この後配筋の詳細設計を行って、配筋図、材料計算書を出力する。

## 4. システム分析

システム設計上の主要点の分析内容は次のとおりである。

### (1) 構造認識。

構造形状の認識は、まず任意に設定した座標系により、入力された地表面、道路、地下水位位置などと、構造物の任意の水平、垂直部材について設定した基準面の座標値により外的位置関係を認識する。次に構造物の大きさと部材位置は、基準面で位置の定まった部材から、内空寸法と部材厚を満足するよう他の部材位置を決め、さらに部材相互の面合せにより残りの部材位置を決定する。(図-3)部材の面合せは、通常の地下鉄構造物の例にならない上下床、側壁は外面を、中柱は部材心を自動的に合わせ、また入力により任意に面の合せを指定することもできる。さらに、必要に応じて多数の部材の位置を座標値で規定することもできる。

ラーメン構造の節部材形状は、図-4のような節点パターンを多数用意し、パターン番号の入力指示によりハンチ形状などを認識する。

### (2) 荷重計算

土荷重など地中構造物に対して一般的に作用する荷重(図-5)は従来の算法を標準化しすべて自動計算する。ビルや橋脚反力など

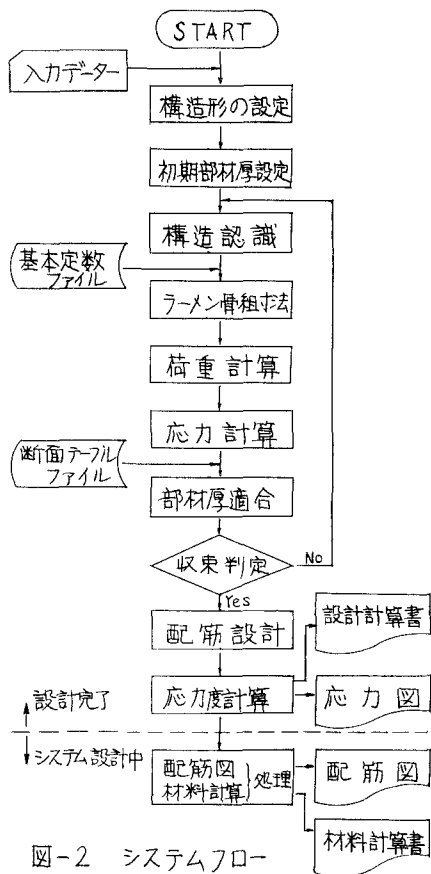


図-2 システムフロー

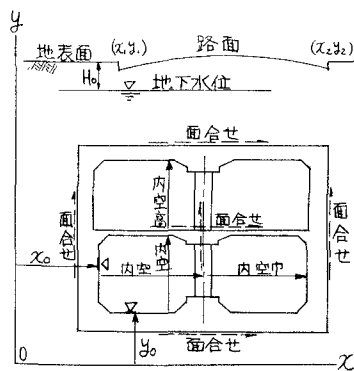


図-3 構造物の認識

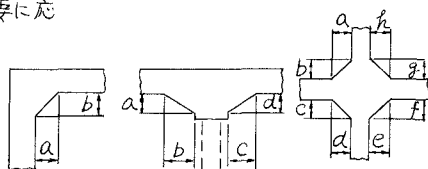


図-4 節部材パターンの例

自動計算できない特殊荷重は、入力処理する。また、施工時、地震時等の多ケースの荷重に対しても同時に処理できる。

### (3) 最適部材厚の決定

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ので、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、②鉄筋が配筋可能な断面、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。

④コストミニマム断面：版の厚さを厚くすると鉄筋の材料、加工費は減少するが、逆にコンクリートは増大し、その上図-6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コスト、および部材によつ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被りに応じてこのコストミニマム厚を計算して、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配筋できる最大鉄筋量により部材の最少厚が制約されるので、最大鉄筋を配筋した最少部材を計算して、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決定する。

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-7）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する。

以上の諸条件から、部材厚の最少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マム厚に最も近い値で断面を決定する。

この部材厚は、収束判定後厚さの丸めを行って、最終決定断面とする。

縦筋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。柱についても、RC角柱、丸柱、鋼管柱について応力に応じた断面を計算しておき、計算実行時に使用する。なお、部材厚は断面寸法を入力により任意に指定することができる。

### (4) 配筋手法

決定された断面と応力に対し、主筋、肋筋などの配筋設計を行う。このシステムでは任意形状の構造に対処し得るよう、配筋手法として図-8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、節合部形状、部材種別と応力状態に対してあらかじめ作成しておき（約40種）これらの条件に応じて配筋形状を自動的に選択して決定する。配筋パターンには、①部材相互間の鉄筋結合状態、②バンド筋情報、③鉄筋の形状および端部定着方法、④パターン相互間の鉄筋結合方法、などの情報を持たせてある。各部材について主要計算点の応力から必要鉄筋量を計算し、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鉄筋量を選び出し、計算機内にファイル化された鉄筋テーブルを用いて、径と本数を決定する。バンド対象鉄筋については、スパン10等

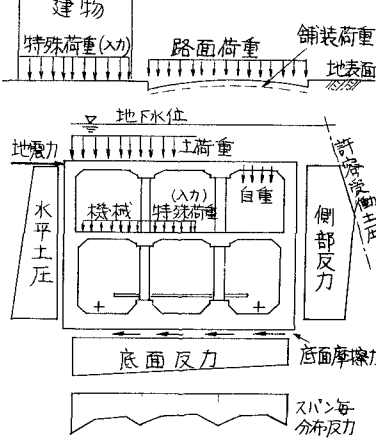


図-5 計算対象荷重

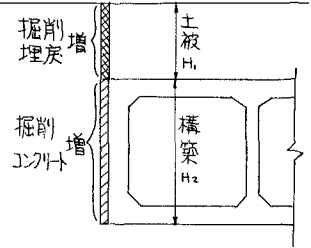


図-6 部材厚増大に伴う掘削・埋戻の増大

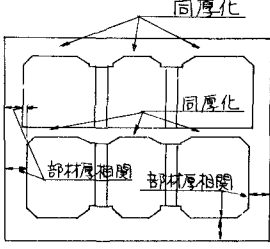


図-7 部材厚相関および同厚化の例

分点の必要鉄筋量をもとに、応力上、配筋上のベンド可能位置および斜め引張応力に有効に働らく位置を考慮して決める。その後、再度鉄筋長を考慮して鉄筋結合を行い、配筋の形状を決定する。

せん断用鉄筋については、ベンド筋、肋筋を考慮して計算し、不足分に対してせん断用斜め鉄筋を挿入する。

柱および桁については、算式により鉄筋量を計算し、鉄筋の径および本数を決定する。

#### (5) 入力項目

自動化できない必要最少限のデーターとして、構造認識のための層列データー、必要最少限の内空寸法、座標値指定などと、地表面、路面、地下水位などの地形的条件や、自動計算の困難な特殊荷重および、節点形、部材、桁の制約条件など、一断面約100枚のデーターを入力する。

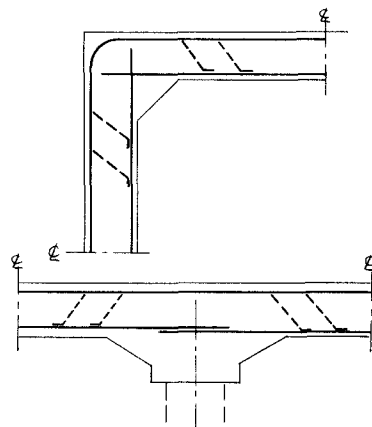


図-8 配筋パターン例

### 5. 本システムによる効果

このシステムにより諸種の検討設計を行なった結果では、成果品が短期日で得られ、また部材厚がかなり薄くてすむなど、このシステムの使用効果は多種多様なものがあると考えられる。

(1) 迅速性(大量処理) --- 計算に要する時間は、入力に約2時間、応力計算に約15分、製図1枚に約30分、断面の検討や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。従って相当の設計工期短縮が計れ、特に検討設計などは従来の $\frac{1}{3}$ 以下の日数で可能となる。また高速でかつ人手を要さ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、これに対する設計費の節減が計れるとともに、本システム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も数%の節減が計れるものと考えられる。

(3) 正確さ --- 電算化により各種の条件に対して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らないので、きわめて誤りのない設計ができる。

(4) 新しい設計計算の分野 --- 上記の効果特に高速性により設計がきわめて容易に行えるので、次の効果が生じる。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、より適切な線路計画ができる。②構造設計に当って、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、あるいは柱ピッチ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、素早くかつ十分に検討した構造物が設計できる。従って従来に較べ、質的に変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。

(5) その他の効果 --- 設計製図の分野での省力化が計れることにより、その分だけ他の技術的検討により多くの時間をあてることができるとともに、システム化に伴って設計の全課程が標準化され、設計が合理化される。

### 6. 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ーメン構造物の自動設計製図は困難であると思われていたが、近年の自動設計製図技術の進歩に加えて、今回地下鉄ラー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ー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、従来に較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、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、将来線路設計システム等との連動も考慮し開発を続けて行く予定である。