

A U D E S 単純鉄桁自動設計・製図システム (設計々算書編)

北海道開発コンサルタント(株)	正会員	津田義和
" "	正会員	内田辰英
" "	正会員	○小谷和雄
" "	正会員	高橋寿己
" "		松村俊明

§ 1 まえがき

技術の進歩は目ざましく、コンサルタント業務も多様化し、より複雑な問題を要求する事が多くなってきた。複雑な問題の解決に電算機は不可欠であると同時に、膨大な仕事量を消化するにもまた電算機は不可欠なものである。また機械的に処理できる業務は機械化し、技術者を手作業から開放し頭脳的な問題処理について全力を注ぐ事のできる状態が望ましい。橋梁構造物のうち最も代表的な形式である鉄桁の自動化は、省力化に寄与する効果は大きいといわれている。既に数年も前に建設省土木研究所をはじめ、多数のプログラムが報告されているが、寸度計算から付属構造物の図化まで1橋としての処理は、更に省力化の効果を高めよう。そこで鋼道路橋鉄桁の自動設計・製図システム開発の一環として完成した、単純合成桁の自動設計・製図システムAUDES(AUtomatic DEsign Simple girder)について説明する。なお、ここでは全体の概要および設計々算書を主体とする。

§ 2 システム概要

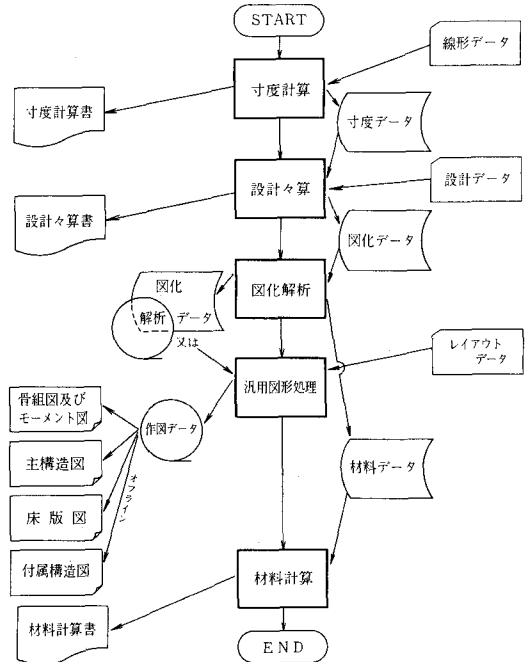
本システムは一般図および設計条件書を整理し、線形データ、設計データ、図面レイアウトデータ等を作成し、これらを入力とし図-1に示すフローに従って自動処理を行なう。対象を合成桁1橋分として、異なる構造3連までを寸度計算し、変位・断面力計算、部材断面設計、主構造物図、床版図および付属構造物図を作図し、材料計算まで自動処理するシステムで、電算機出力の結果については、発注者タイトル等若干のハンドリングにより、そのまま成果品として使用できるものである。このプログラムは設計業務の省力化、精度と信頼性の向上を計る事を目的にしたもので、処理の適用範囲もできる限り広範囲に、かつ使い易いシステムとした。

また必要に応じて自動設計された断面等結果について、設計者自身の手でデータ修正し、必要な結果を得る事ができるシステムであり、できる限り多くの項目について標準化ないし基準化し特定の個人の設計に帰するものであってはならない事を考慮し完成したものである。

§ 3 適用条件

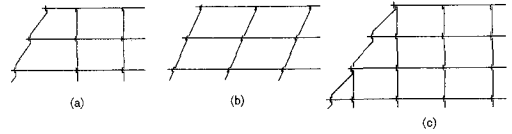
3・1 適用範囲

図-1 自動設計・製図システムフロー



- (1)橋種 単純活荷重合成桁、異なる構造3連以下。
- (2)支間 15m以上45m以下、2本主桁以上15本主桁以下。
- (3)断面 I型断面溶接桁、ブラケット無し。歩道、中央分離帯を考慮した左右非対称断面可能。  
主桁は直線かつ平行、床版は曲率を考慮。
- (4)斜角 合成桁の条件として左右60度以上。
- (5)骨組 主桁間隔は任意、主桁高は任意かつ橋軸方向で一定。分配横桁は0本以上10本以下。  
対傾構の取り付け方向は図-2に示す通り  
支承線に平行または主桁に直角で、かつ同一補剛材に端対傾構と中間対傾構が取り付け構造も可能。

図-2 対傾構取付方向



### 3・2 使用条件

- (1)線形 平面曲線、縦断曲線を考慮し、主桁はばらばらに縦断配置可能。
- (2)構造 支間、斜角、主桁間隔、対傾構間隔、最大部材長を入力し、添接位置、フランジ変化点位置、垂直補剛材位置、横構の配置について自動処理する。ただしこれらは設計に与える影響は大きいので、設計者自身がデータを作成し、カード入力することも可能。
- (3)荷重 1等橋、2等橋を対象とし、雪荷重と4種類までの添加物を考慮する。ただし添加物取り付け金具の作図および材料計上は不可能。  
高欄荷重は左右入力、面壁は不可能。  
RC床版とし歩道部は砂込め不可能。また交通量により床版断面を設計する。
- (4)材質 主桁鋼材はSM53級とし、耐候性鋼材を考慮。  
添接材はリベットまたは高力ボルトとし、径は22φまたはM22とする。  
ずれ止めはスタッドジベル、径22φとする。
- (5)過程 構造は格子桁、非格子桁とし、解法は応力法または変形法とする。  
設計々算書の中に骨組図、モーメント図を挿入する。  
支承は小判型支承とし、反力は100トンまでとする。  
伸縮継手は鋼製クシ型とし、高欄はアルミ高欄を除く。

## §4 入出力データ

### 4・1 入力データ

- (1)線形 縦断線形要素、平面線形要素、座標系認識要素、橋梁位置認識要素、骨組要素、橋梁断面要素および、路面、幅員すりつけ要素。
- (2)設計 荷重要素、材料指定要素、構造形指定要素、処理過程指定要素、仮定鋼重、仮定断面二次モーメントとオプションとして設計者自身による骨組および部材断面指定要素。

### 4・2 出力データ

- (1)寸度計算書 支承座標と基本座標計算、床版張出量計算、各桁床版ハンチ高計算、胸壁線・支承線・対傾構取り付け位置等における座標および路面高・ハンチ高計算、曲線長計算、橋面積および舗装面積計算。
- (2)設計々算書 骨組一覧表、床版の設計々算、荷重計算、変位・断面力計算、主桁の断面設計々算、主桁の添接計算、補剛材の設計々算、横構の設計々算、対傾構の設計々算、分配横桁の設計々算、スタッドジベルの設計々算、撓み量の検討および製作反りの計算全てプリント出力。
- (3)計算書挿入図 処理順位としては、図化解析に含まれるが設計々算書の中に骨組図、モーメント図とし

て主桁断面および抵抗モーメント図を挿入する。

### § 5 寸度計算システム

寸度計算は線形計算と異なり、与えられた条件の基での構造物の立体座標等を求めるものであるから、難かしい論理は何もないが、クロノイド曲線を含む場合にその処理の方法により、処理時間の長短は表面に出て来るものと思われる。寸度計算は自動設計の一環として使用するものであるが、処理内容そのものは単純合成桁である必要は何もない。支点の座標を入力する場合、他の型式の橋梁についても処理可能で、このプログラム単独に処理することも目的の一つとしている。

#### 5・1 平面線形

道路中心線上の平面形状は直線・クロノイド曲線・円曲線とし、車道部幅員のみ変化できるものとする。中間拡幅量の計算は①緩和曲線区間で一樣すりつけ、②すりつけ端がなめらかになる様な高次の放物線を使用する方法で次式により求める。

①  $W_n = a \cdot W$

②  $W_n = (4a^3 - 3a^4) \cdot W$

ただし  $a = L_n / L$

橋梁区間は直線・クロノイド・円・クロノイド・直線の基本形から、S型、複合円等複数の曲数のどの区間にあってもよい。また自動設計と切り離して単独に使用することもあるので、斜角についての制限は全くない。

また複数の縦断勾配を有する線形を考慮し、主桁の縦断勾配については、各桁バラバラでよく腹板上端の形状は直線勾配あるいは曲率を有する形状どちらでも可能である。

#### 5・2 床版断面

床版断面は左右非対称として扱い、歩車道の界あるいは中央分離帯に縁石を設置する構造とし、路面横断勾配は歩道部については直線勾配だけ、車道部については①直線勾配、②片勾配、③放物線勾配、④双曲線勾配について計算可能で、放物線と双曲線については次式により求める。

③放物線  $y = \frac{C}{W} \cdot x + \frac{2C}{W^2} \cdot x^2$

④双曲線  $y = \frac{C}{16} \cdot (-7 + \sqrt{49 + 1,920 \cdot \frac{x^2}{W^2}})$

片勾配のすりつけ方法として道路または車道の中心を回転軸とる場合と、車道の外側縁または内側縁を回転軸にとる場合との二通りがある。またそのすりつけの始終点における車道縁には、折曲点が生ずる。この折曲度がある限度以下の場合、縦断曲線を挿入して緩和する緩衝縦断曲線を設置することができる。

#### 5・3 寸度計算

計算の精度を上げるために、演算は倍精度処理としているが、更に直線式の精度そのものを上げるために45度で使用される直線式を変更する。

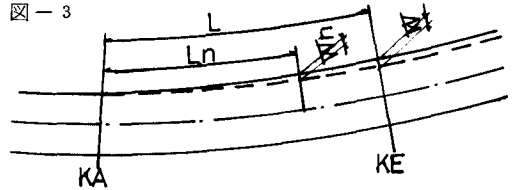


図-4 寸度計算書

ELEVATION											
11 0RD-1 LINE					UNIT: M						
LINE NAME	JOINT	X	Y	STATION	VC	FUNCTION	LEFT	RIGHT	HEIGHT	SLAB ELEVATION	WEB TOP
0RD-1	1	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	2	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	3	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	4	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	5	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000

ELEVATION											
23 SUPP-1 LINE					UNIT: M						
LINE NAME	JOINT	X	Y	STATION	VC	FUNCTION	LEFT	RIGHT	HEIGHT	SLAB ELEVATION	WEB TOP
0RD-1	1	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	2	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	3	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	4	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000
0RD-1	5	-26.495	91.274	0.00000	-26.495	0.00000	0.00000	0.00000	2.772	105.204	105.000

ELEVATION											
31 2RD-1 LINE					UNIT: M						
LINE NAME	JOINT	X	Y	STATION	VC	FUNCTION	LEFT	RIGHT	HEIGHT	SLAB ELEVATION	WEB TOP
0RD-1	1	-21.813	94.135	0.00000	-21.813	0.00000	0.00000	0.00000	1.122	105.207	104.997
0RD-1	2	-21.813	94.135	0.00000	-21.813	0.00000	0.00000	0.00000	1.122	105.207	104.997
0RD-1	3	-21.813	94.135	0.00000	-21.813	0.00000	0.00000	0.00000	1.122	105.207	104.997
0RD-1	4	-21.813	94.135	0.00000	-21.813	0.00000	0.00000	0.00000	1.122	105.207	104.997
0RD-1	5	-21.813	94.135	0.00000	-21.813	0.00000	0.00000	0.00000	1.122	105.207	104.997

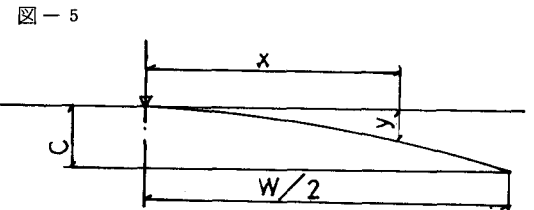


図-5



$$M(N+1) - N \cdot (N+1) / 2 \leq 36,000$$

荷重は橋軸方向に変化し、体積計算のため応力法に比べて精度のよい値を得ることができる。

### 6・3 骨組の設定

骨組の設定とは、1主桁で入力された対傾構間隔と斜角および主桁間隔を基に、各主桁の対傾構間隔、縦補剛材間隔、横構を配置し添接位置およびフランジ断面変化点位置を設定するものである。ただしここで得た値は主桁断面、添接断面、補剛材間隔を検討後変更する要素を含んでいる。これらのデータは基本的な骨組であるから、設計者が入力データとして指定することができる。

添接数は4箇所以内とし、自動処理する場合の初期値化データとして、表-1に示す通り支間に対する係数で設定し、支間中央付近は100mm単位とし、端数は支点付近で修正する。貸車積最大部材長12.8m指定すると、

$$2(A) \text{タイプ} \quad \text{最大支間} = 12.8 / 0.4 = 32 \text{ m}$$

$$2(B) \text{タイプ} \quad \text{最大支間} = 12.8 / 0.334 = 38.923$$

となり、逆に支間と最大部材長により、添接すべき箇所数が初期値化される。

またフランジ変化点位置の初期値化として、表-2に示す通り支間に対する係数によってフランジ長が初期値化され、更に最小部材長を2m以上とし、端数調整後骨組設定の初期データとする。骨組の設定後、構造の対称性および荷重状態、断面力を考慮し製図すべき主桁を自動指定する。

### 6・4 主桁断面設計

主桁の断面設計は最大断面、支点断面とこれらに接続する中間断面および添接部の鉸孔引断面について断面設計する。最大断面は最適応力断面計算として求められるが、他の桁とのバランス、添接断面を考慮し最終決定される。支点断面は支承および合成後中立軸の位置等により、応力以外の要素によって求められる事が多い。中間断面は前後の断面の連続性を考慮し、これも応力以外の要素で断面が決定される事が多い。

活荷重合成桁の鋼桁の所要断面積は次式によって求め、鋼製の市場性を考慮し決定されるが、基本的にはフランジ幅を広く、薄板断面とした方が有利となる。

$$A_u = \frac{M_1}{h(\sigma_{ca} - x)} - \frac{Aw}{6} \cdot \left( 2 - \frac{\sigma_{ta} - y}{\sigma_{ca} - x} \right)$$

$$A_l = \frac{M_1}{h(\sigma_{ta} - y)} - \frac{Aw}{6} \cdot \left( 2 - \frac{\sigma_{ca} - x}{\sigma_{ta} - y} \right)$$

ただし 
$$\frac{M_2}{h} \cdot \left\{ A'_c \cdot \left( 1 + \frac{d}{h} \right) \cdot \frac{d}{h} - \frac{Aw}{6} \right\} \cdot y$$

$$x = \frac{\frac{1}{\sigma_{ca}} \cdot \left( \frac{M_1}{h} + \frac{\sigma_{ta} - y}{6} \cdot Aw \right) + A'_c \cdot \left( 1 + \frac{d}{h} \right)^2}{A'_c = \frac{Ac}{n}}$$

$$y = \frac{e}{c} \left( 1 + \frac{e}{c} \cdot \frac{a}{c} \right) \quad a = A'_c \left( \frac{d}{h} \right)^2$$

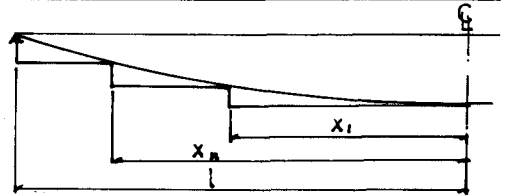
$$c = \frac{M_1 + M_2}{h} + \frac{Aw}{6} \sigma_{ca} + A'_c \left( \frac{d}{h} \right) \cdot \sigma_{ta} \quad e = \frac{M_2}{h} \cdot \sigma_{ta}$$

表-1 添接数による添接部材長係数

添接数	添接部材長係数
1	0.30 ; 0.70
2 (A)	0.30 ; 0.40 ; 0.30
2 (B)	0.333 ; 0.334 ; 0.333
4 (A)	0.1875 ; 0.1875 ; 0.30 ; 0.1875 ; 0.1875
4 (B)	0.175 ; 0.20 ; 0.25 ; 0.20 ; 0.175

表-2 フランジ変化点位置分割係数

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	0.667ℓ			
2	0.522ℓ	0.783ℓ		
3	0.437ℓ	0.656ℓ	0.838ℓ	
4	0.380ℓ	0.571ℓ	0.729ℓ	0.870ℓ



歩道・車道にまたがるコンクリート断面は、主桁の左右について有効幅を計算後、車道側床版厚を固定し床版幅と中立軸に関して換算した、換算コンクリート断面として設計する。換算断面は次式による。

$$B = \frac{BA \cdot TA + BB \cdot TB}{TA}$$

$$H = \sqrt{\frac{BA \cdot TA \cdot HA^2 + BB \cdot TB \cdot HB^2}{B \cdot TA}}$$

### 6・5 主桁の添接

主桁の添接はリベットまたは高力ボルトのいずれかを用いて、鋲配置を設計し、添接板と縦補剛材等位置を検討する。フランジの添接は実応力度かつ全強の75%以上の応力度にて設計し、フランジ幅別に最小鋲数をあらかじめ設定して用いる。また腹板の添接は全強にて設計するが、全強の75%以上の実応力度にても設計可能である。鋲配置はモーメントプレートを使用する事もできる。下フランジの鋲本数計算および母材応力度は次式により求める。

$$N = \frac{\sigma_t \cdot A_n}{\rho}$$

$$A_{nbb} = A_g - (\text{鋲孔} + \text{千鳥の影響})$$

$$\sigma_{bb} = \sigma_t \cdot \frac{A_g}{A_{nbb}} \cdot \frac{N - n}{N}$$

### 6・6 床組の設計

分配横桁はSS41級を用い、上フランジを主桁の上フランジ上面と一致させ、添接板は上面だけの単せん断にて設計する。

横構、対傾構断面は山形鋼、CT形鋼、溶接成形部材の順で断面をグレードアップし求める。耐候性鋼材を使用する場合は、溶接成形部材にて設計する。横構部材断面は支点付近と他区間とで2種類の断面を取り対傾構はトラス形式とする。横荷重は風荷重と地震荷重を比較し大きい値を用いる。かつまた床版と横構とで半分づつ負担するものとする。

### 6・7 ずれ止め

合成桁のずれ止めとして、22mmのスタッドジベルを用いる。スタッドピッチは支間に対して3ないし4区間に分けて設計し出力する。なお、主桁図上のスタッド間隔は更に、フランジ変化点、添接板、横桁を考慮した配置となる。

## §7 あとがき

開発期間は4年、寸度計算8,000ステップ、設計々算28,000ステップでその大部分はFORTRAN言語で作成した。処理時間はCPUで寸度計算4~8分、設計々算5~8分である。設計図および材料計算については、次の自動製図・材料計算書編を参照して戴きたい。なお、現在は引き続き連続鋲桁を開発中である。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説
- 2) 北海道開発局建設部；橋りょう関係設計要領
- 3) 北海道開発局；道路工事設計基準
- 4) 北海道土木部道路課；道路工事設計要領
- 5) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会；北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針
- 6) 長大橋技術研究会設計分科会；鋼道路橋設計図の標準化基準(案)、鋼げた編
- 7) 高島春生、佐藤悟；活荷重合成桁の鋼桁断面決定法について、工学研究43年5月号

図-7 設計々算書

