

# 電子計算機システムの支援を受ける設計図作成経費試算の一例

## COST ANALYSIS OF DRAWINGS FOR DESIGN SUPPORTED BY COMPUTER SYSTEMS

高島敏夫\*

By Toshio TAKASHIMA

The design of civil engineering constructions extends to wide range. Each design drawing has so different contents that such drawings all by hands needs highly skill. It is said now that technical labor powers are short. And experiments of auto-drawing supported by computer systems have been carried out in many fields. The author examines a method to manage labor shortage by introducing auto-drawing systems and tries to compare its cost with the cost of hand-drawing systems.

*Keywords* : cost analysis, auto-drawing, computer system, bridge drawing

### 1. はじめに

土木構造物の設計には緻密さが要求される。特にRCホロースラブ橋上部工の設計は作業量が多く大変である。

この設計技術者の教育訓練には3~4年の時間を必要とし、設計製図は主として手作業により行われるため、就労時間が多大となって、時間短縮目標の障害となり、電子計算機の支援を得て設計作業の効率化を目指せば、システムは高価格となる。電子計算機用ソフトウェア(S/W)は数多く必要とする。特に設計図面全体を表現する作図ツールの使用が効果的であるが、汎用性についての事前調査が必要である。グラフィックディスプレイ(GD)での作図作業や、プロッターで処理を行うオペレータの養成、訓練は、これらシステムの鍵となる。

現代はあらゆる業務で電子計算機扱きの事務作業は考えられない。金融業界での処理業務は女性によって行われているが、これはシステム化が整備されているからにはかならない。この発想を展開すると、設計技術者がマニュアルを整備し、女子を訓練して、電子計算機の支援を受ける設計図作成に投入する考え方が出て来る。

技術労働力の不足がいわれている今日、自動設計・自動製図は、重要なテーマである。本論文は、RCホロースラブ上部工の設計図面の自動化に対して手書き図面との経済比較は、どのような係数処理により行うかを、9年間の調査資料から分析して述べるものである。

### 2. 自動製図における経費分析の前提条件

#### (1) 自動設計と自動製図

土木構造物の各断面を自動設計によって決定し、細部の図形を自動製図により表現するためには、連続性をもつ次の断面への変化、構造線の傾き、斜線や緩和曲線の表現等の整理が行われないと、形状確定とはならない。

自動設計・製図を阻む要因は、これらのほかに

- ① 図形の一部を省略する。
- ② 図形の一部を拡大して説明する。
- ③ 図形の一部を別方向からみた表現を行う。
- ④ 1枚の図面の中で、数種の縮尺を使用し表現を行う。

等で、図形的全変化部分の表現を人間の介入なしに確定させることの困難さを示している。これらの観点より、この検討では構造物の断面形状の数値が確定した段階から、自動製図機により図化されることについて論ずる。

\* 正会員 技術士 高島コンサルタント(株)代表取締役社長  
(〒930 富山市宝町1-4-1)

## (2) オフライン

GD で作成された図形情報を、ホスト側から直接自動製図機へ指令を行うオンラインと、MT から自動製図機側に作図指令を出すオフラインがあるが、

- ① オフラインは、ホストコンピュータと自動製図機を、媒体の使用による線を切った使い方ができる。
- ② オフラインは、ASSIN (ペン指定) を主体としたベンチエンジの対応性がよい。
- ③ オンラインでは、GD 1 台を、自動製図機のコントローラとして使用せざるを得ない。

等を考慮し、MT 使用によるオフラインを採用する。

## (3) GD への作図方法

本検討においては IBM 5080 システムとツールソフトウェアの「CADAM」を使用している。

「CADAM」は、図面を書く要素である約 30 個のファンクションを備え、この操作の習熟には作業指導書 (マニュアル) が必要である。これはどのオペレータにも同じ図形は同じやり方で速く確実に出力する方法を指示するものである。オペレータはライトペン (LP) および KEY-IN 作業で、同じ図面を繰り返し書かされる訓練により、複雑な図面の作図が可能となる。

RC 上部工の設計図面は、B-1 判 1 枚当たりで線の数が 3000~5000 本となり、これを手作業のドラフターで図面の各部分に十分技術的配慮を加えた方法で書くことは、5 年くらい経験を積んだ男子技術者を必要とする。

このような RC 上部工の図面を GD に女子オペレータによって LP で書くとき、手書きドラフターで構造物の設計図面作成の訓練を十分受けている女子技術者の方が、上達が早いことが認められ、GD のオペレータ訓練は、手書きドラフター作業で設計訓練を十分行わせることから始める必要がある。

GD と「CADAM」の操作へ、オペレータの習熟度を示したものが図-1 で、左側の生産性は手書きドラフターで書く速度を基準としている。

一般に女子オペレータは 10~40 時間で簡易な設計図が書けるようになり、2 か月くらいで細かい図面も書け



写真-1 女子オペレータによる作図

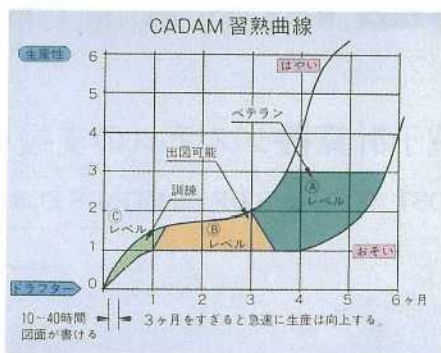


図-1 CADAM の習熟に伴う作業生産性向上曲線

るようになる。3 か月くらいから急速に上達のスピードが向上し、4 か月を過ぎるころには設計図面を手書きで処理したときを上回る作図を期待できるようになる。これらの作業において最初は男子の方が優れた動きを表わすが、長期の訓練に耐えて技術水準の上昇を目指すときには徐々にではあるが女子が確実に男子を抜き去っていく、女子の対応性がよいことを示す。

## 3. プログラムによる作図

### (1) プログラムで図面を書くことの良さ

GD に構造線の多い B-1 判図面を LP 書きで作成するには、3~4 日も要するが、これを図化プログラムで図形出力を行うと、GD の占有時間は 3 時間くらいに短縮でき、コストを下げられる。このプログラム処理により図面の 70~80% を出力させ残りの約 20~30% をオペレータが LP で作図する処理方法には、編集修正、転送作業が必要となる。

### (2) プログラムで図面を書くための準備

#### ① 入力データ作成

データシートには、RC ホロースラブ上部工を設計した男子技術者が入力パラメーターの書き込みを行う。このデータシートと同形式で、プログラマーが画面設計を行い入力形式を整え、SE (システムエンジニア) がデータのファイル設定と管理を行う。

#### ② ドローイングシステムとアクセスプログラム

図形表現には、線分と、線種や、数字、文字を必要とするが、このためのドローイングプログラムを作成する必要がある。GD に対してプログラムによる作図指令では、点、線、円等を書くことはやさしいが、指定点上を通過する自由曲線の定義、線の太さ指定、図形の寸法定義、寸法線矢印の作成と数字表現等が要求され、コピー、拡大等の対応や、ファイルの整備、ハードコピー作成、データ管理を行う、という処理システムの構築は、大きな作業量となる。このような視点から、当検討においてドローイングツールシステムとして「CADAM」を選び、

これまで蓄積されたプログラムは、システムに合わせて汎用プログラムとしてユーザーデータベースを作成した。

また、図面作成には、ユーザーデータベースから図面ファイルへのアクセスプログラムの作成が必要である。

(3) プログラムで図面を書く

① データ入力と図化プログラムに要する費用

画面設計に従ってデータ入力を行うことの利点は、オペレータが作成される構造図形の予見性に欠けることから発生する、パラメーター入力の間違いを最小限にとどめるという点である。

ユーザーデータベースから送られる作図データは、CADAMで処理される。これは直線を引くとき、ユーザー側で作られた作図プログラムでLINE起終点を指定すれば、CAD-CDでCADLN<sub>X</sub>Y<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>Y<sub>2</sub>, ……………の様にフォーマット処理を行い、基本モジュールへアクセスするという点である。

CADAMシステムはLPによる手書き用対話モジュール部分、ユーザーデータベースから図形インターフェースモジュール(CAD-CD)による入力を基本モジュールで処理してGD表示を行う部分、プロット用ハードコピーモジュールと、バックアップを行う、データ管理モジュールの3つの部分から成っている(図-2)。

RCホロースラブ断面図作成S/Wは、図形編集、横断面図化、配筋図化の各データより構成され、CAD-CDにより、断面図が基本モジュールで処理されて、図面ファイルにCADAMの書式で書き込まれ、同様に平面図、側面図等が、図面ファイルに書き込まれて、一組の図面が出力される。

これらの図化システムは外形線、鉄筋形状、寸法線等を決定するメインプログラムと、構造物の立体的位置の

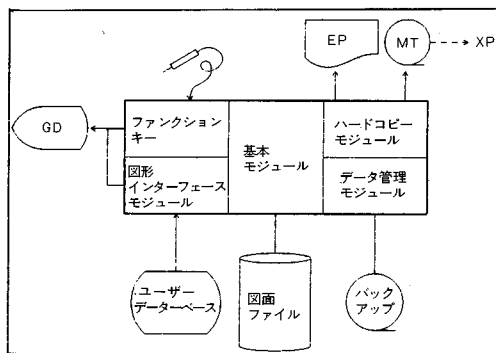


図-2 CADAMシステム概念図

確定、全体的形状の連続性、傾きの変化、配筋図の寸法線や寸法表示数字の位置を指定するプログラム、数量計算、図面出力プログラム等の汎用性支援プログラム、の2つによって構成される。

表-1に示した各プログラムの本数と行数は、これらプログラムの容量を表現する一方法であるが、このメインプログラムと汎用プログラムの作られた背景は異なる。

メインプログラムの平均作成行数は100行/日となっている。このプログラムの直近3年間の使用頻度は8回、設計図面数184枚(B-1判)である。

汎用プログラムは、土木設計全般の各ケースに対応可能なプログラムとして作成する必要があるため、内容の見直しや仕様変更を行うことが多く、メインプログラムに比較して平均作成速度は低く50行/日で上限を示している。ここで使用される主な汎用プログラムは10数本で、これらのプログラムは、繰返し部分改造と仕様変更の修正を受け、安定したプログラムとなっている。

またプログラムが電子計算機の機種変更やVMシス

表-1 使用プログラム一覧表

RCホロースラブメインプログラム				支援(汎用)プログラム			
プログラム名	本数	行数	摘要	プログラム名	本数	行数	摘要
J-RCHR2-1	58	8,260	構造断面図 図化プログラム 画面設計 プログラム 数量作成 プログラム	J-LINE-2	82	5,030	線形データ XYZ表示
J-RCHR2-2	105	12,800	平面図 図化プログラム 側面図 図化プログラム 配筋図 図化プログラム 鉄筋図表 プログラム 断面図転換 プログラム	J-LINEHM-2	31	1,640	幅員データ XYZ表示
				I-KKZ-2	92	6,370	鉄筋加工図 サブルーチン
				I-ZHATA-2	7	630	鉄筋寸法図 サブルーチン
				C-CT-2	5	5,340	平面線形 サブルーチン
				C-TP-2	8	4,040	縦断線形 サブルーチン
				F-TKKNGO-1	5	2,440	鉄筋 CADET サブルーチン
				F-HNR-1	5	2,000	合流部 サブルーチン
				G-HNR-2	45	1,200	"
				G-NOSE-1	7	800	"
				J-NOSE-2	11	1,270	"
				その他 小プログラム	約10	約 500	数量計算図表作成 プロットプログラム等

1. 頭につくアルファベットは開発終了年を示す
2. 添数字はバージョン番号を示す
3. 添数字補助番号は同系プログラムの分割番号を示す

テム等のリリース変更，ツールソフトウェアの仕様変更等により，修正される場合が多い。当検討で使用されるプログラムの一部には7年経過しているものがあり，これらはまだ相当年数，仕様変更により使用可能であると考えられるが，ここでは7年を限度としてプログラム作成の価格算出を扱うこととする。

ここでこれらのメインプログラムと汎用プログラムの生産費用を検討してみる。

メインプログラム作成の諸元は，表一により

$$8260+12800=21060 \text{ ステップ}$$

である。プログラムの作成速度は1日100ステップであるから，

$$21060 \text{ ステップ} \div 100 \text{ ステップ} = 211 \text{ 日}$$

となる。3年間に8回メインプログラムは使用されているので，この回転数は，

$$8 \text{ 回} \times 7/3 = 19 \text{ 回}$$

である。図面作成枚数は3年間では184枚（1設計当たり23枚）となっているので，これを7年当りに換算すると，

$$184 \text{ 枚} \times 7/3 = 430 \text{ 枚}$$

となる。また，汎用プログラムが3年間で何回使用されているかという頻度調査の結果は表二に示すとおりである。

プログラマーの教育訓練は，プログラム原語，仮想計算機機能システムの学習に始まり，CAD-CDの理解，数量計算プログラムの繰返し作成，土木構造物の学習，小構造物作図プログラムの作成まで，約6か月におよぶ。7か月目には，擁壁プログラムの開発を行わせて土木構造物の配筋方法，加工図寸法の学習，支援プログラムを理解させる。擁壁の作図プログラムは約8000行となり，修正作業を含めて3か月間を必要とする。

これを経て，RCホロースラブ図化プログラムの作成へ進む。平面線形は曲線をもち，ホローと横桁の組合せ，斜橋床版の処理方法等，新しい取組みとなるため，テストプログラムを作成し，汎用プログラムとのインタフェースを作成する期間は，一組10～12枚の図面では2か月を必要とする。

表一で述べている技術者Dは，メインプログラム担当のプログラマー（女子）であり，技術者C（男子）は汎用プログラム担当のシニアプログラマーで，技術者Eはオペレータ（女子）である。B（男子），F（女子）およびG（女子）が1年目の技術者である。このDとCについて遡って調査すると，Dは1年Cは1.5年の教育実習を要している。6.で技術者Aについての教育訓練期間の必要経費の割掛け検討を行っているが，DとCについても同様の教育必要経費の割掛け調整を行うものとする。Dは2年目からプログラム作成を始め，3年目からは標準的なプログラムを開発してきているので，教育必要経費の割掛けは3～5年の3年間にわたり行うものとする。Cは3年目より新規プログラムを作成し始め，単独で動いていたプログラムの統合，改造処理のバージョンアップを4年目には行い，5年目には外部検定可能なプログラムの作成とシステム全般の運用監視も行っている。これにより，教育必要経費の割掛けは5年目から7年目までの3年間にわたり行う。表一よりプログラマーDの年間コストは，教育必要経費を含め，

$$D+1/3 F = 3260777+2927186 \times 1/3 \\ = 4236505 \text{ 円}$$

実働日数は250日であるので，1日当たり

$$4236505 \times 1/250 = 16946 \text{ 円/日}$$

となり，メインプログラム作成費用の図面1枚当たり割掛け費用は，

表一 汎用プログラムの使われ方とコスト

	プログラム名	プログラムの 行 数	プログラム 作成日数(A)	プログラムの価格 (A)×22,898=(B)	3年間の 使用回数	7年間の(C) 予想使用回数	プログラム使用料 (B) / (C)
1	J-LINE-2	5,030	101	2,312,698	15	$15 \times \frac{7}{3} = 35$ 回	66,077
2	J-LINEHM-2	1,640	33	755,634	15	$15 \times \frac{7}{3} = 35$ 回	21,589
3	I-KKZ-2	6,370	127	2,908,046	24	$24 \times \frac{7}{3} = 56$ 回	51,929
4	I-ZHATA-2	630	13	297,674	24	$24 \times \frac{7}{3} = 56$ 回	5,315
5	C-CT-2	5,340	107	2,450,086	95	$95 \times \frac{7}{3} = 222$ 回	11,036
6	C-TP-2	4,040	81	1,854,738	56	$56 \times \frac{7}{3} = 131$ 回	14,158
7	F-TKKNGO-I	2,440	49	1,122,002	44	$44 \times \frac{7}{3} = 103$ 回	10,893
8	F-HNR-1	2,000	40	915,920	48	$48 \times \frac{7}{3} = 112$ 回	8,177
9	G-HMR-2	1,200	24	549,552	13	$13 \times \frac{7}{3} = 31$ 回	17,727
10	G-NOSE-1	800	16	366,368	13	$13 \times \frac{7}{3} = 31$ 回	11,818
11	J-NOSE-2	1,270	26	595,348	14	$14 \times \frac{7}{3} = 33$ 回	18,040
12	そ の 他	500	10	228,980	81	$81 \times \frac{7}{3} = 189$ 回	1,211
	計			14,357,046			237,970



$$211 \text{ 日} \times 16 \text{ 946} \times 1/430 = 3 \text{ 575 } 606 \times 1/430 \\ = 8 \text{ 315 円/枚}$$

である。シニアプログラマーCは同様に

$$C + 1.5 B \times 1/3 = 3 \text{ 863 } 377 + 1.5 \times 3 \text{ 722 } 507 \times 1/3 \\ = 5 \text{ 724 } 630 \text{ 円}$$

1日当たり

$$5 \text{ 724 } 630 \times 1/250 = 22 \text{ 898 円/日}$$

となる。シニアプログラマーCの1日当たりのコストを入れた作表したものが表-2である。この表で「3年間の使用回数」とあるのは、これら12本の汎用プログラムがRCホロースラブメインプログラムで8設計(8回)に使用されたものを含め、別システムでのメインプログラムにおいて他の汎用プログラムとの組合せで3年間にそれぞれの各設計で使用された、総使用回数を表示している。

汎用プログラム1回当たりの使用料は、237 970円となる。

RCホロースラブで3年間に作成された図面枚数は、8設計184枚であるから(1設計当たり23枚)1枚当たりのコストは、 $237 \text{ 970} \times 1/23 = 10 \text{ 346 円/枚}$ 。これに表-3に示すバックアップ管理費を計上する。この管理費はその他図も一橋分を一括して定時バックアップを行うため、この枚数は約100枚として扱う。これは、

$$28 \text{ 620 円} \times 1/100 = 286 \text{ 円/枚}$$

であり、合計

$$237 \text{ 970 円} \times 1/23 + 28 \text{ 620} \times 1/100 \\ = 10 \text{ 346} + 286 = 10 \text{ 632 円}$$

である。メインプログラムと汎用プログラムの図面1枚当たりの費用は、

$$8 \text{ 315 円} + 10 \text{ 632 円} = 18 \text{ 947 円/枚}$$

となる。

② LPで追加書きを行う

RCホロースラブの代表的な図面についてプログラムでGDに送られた図面と、補足分をLPで書いた後の図面(写真-2)との比較を以下に述べる。

表-3 アクセスタイム表

作業順序	女子オペレーターE	技術者A	プログラマーD	シニアプログラマーC	備考
データシート記入		180分			一橋分
データシートキーイン	20分				一橋分
印刷装置出力検査	15分				一橋分
メインプログラム作成			188,189円		一橋分(23枚)
汎用プログラム作成				237,970円	一橋分(23枚)
GDにデータ転送	2分				
GDで編集作業	15分				
GDで追加編集	50分				1枚-23枚時間同E
EPで出力	5分				
作図者検図	20分				
GDで修正作業	15分				
EPで再出力	5分				1枚-23枚時間同E
設計者検図		40分			
GDで修正作業	15分				1枚-23枚時間同E
EPで再出力	5分				
設計者検図		20分			
MT作成	30分				
バックアップ管理				(10時間) 28,620円	一橋分10回バックアップ
計	52分 ☆ 145分	180分 ☆ 60分	188,189円	266,590円	☆ E P 1枚分

プログラムで書かれた図面の重さは、約25 600ワード(写真-2左)でレスポンスタイムは約7秒、ファイルからのコールタイムは約2秒である。これにLPでの手書き作業を追加書きした部分は、説明のため白色線で表示されている(写真-2右)。この白色部分の追加書き時間は約50分で、図面の重さは約9 600ワードで約27%、コールタイムは約4秒となり、次第にスピードは鈍くなる。この図面をすべてプログラム処理によって、図面ファイルに送り込みを行うと、例外的な部分のプログラム化に多くの時間が必要され、またGDの制限容量に近づく重さとなり、図面細部の拡大縮小、部分図の移動、レイアウトの修正等のレスポンスタイムや、ファイルの登録時間が長くなるとともに、オペレータの疲労感も早める。

プログラム処理を行わないものは、

(a) GDにLPで書く方が易しく、これをプログラムで処理するには、何度もトライアルを必要とするもの。

(b) 単純な図形であるが、プログラムにより作成すると図形での対応が多岐にわたり、ケースバイケースになるもの。

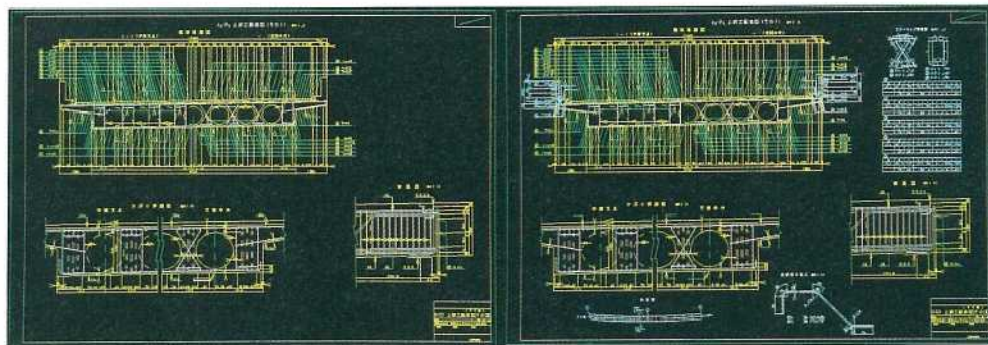


写真-2 プログラム処理で作成された設計図面(左)、LPで追加書き(白色部分)を行って完成した設計図面(右)



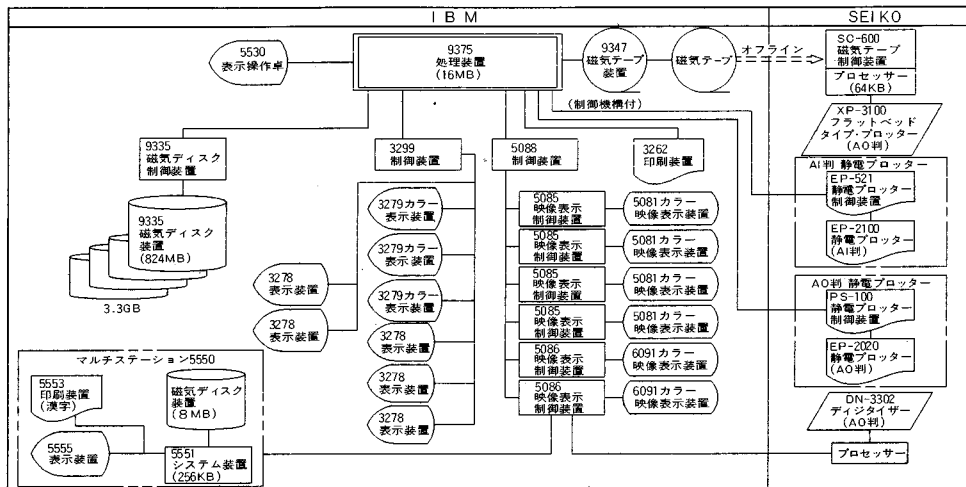


図-4 ハードウェア構成図

表-4 電子計算機システム使用料金表

機 械 名	容量・台数	リース料金	ソフト料金	保守料金	備 考
9370 システム		760,893	169,500	138,157	
C P U	16MB×1				
ディスク装置	824MB×4				
M T 装置	1				
5080 システム		386,559		206,060	
カラー映像装置	6				
印刷装置	1	63,611		21,000	
表示装置	8	87,079		28,737	
CADAM-V II システム		434,207	166,600		
図 化 機		615,031		282,600	
FB式プロッター	A-0×1				
静電プロッター	A-1×1, A-0×1				
デジタイザー	A-0×1	43,557		12,088	
電源装置・空調装置		50,455			
小 計		2,441,392	336,100	688,642	
電力料金・消耗品・SE・CE料金		月 364,721			
合 計		2,806,113	336,100	688,642	月 間

このシステムにより、プロッターで処理された設計図面を、3年間について出力枚数を調査したものが表-5である。プロッターへのテスト図面(図-3)は、同じ図面を3回出力しているため、テスト図チェックが済み最終仕上図としてXPプロッターへ進んでゆく実数は、

$$\left. \begin{aligned} &EP \text{ プロッター } 5768 \text{ 枚} \times 1/3 = 1922 \text{ 枚} / 3 \text{ 年} \\ &XP \text{ プロッター (ボールペン)} \\ &\quad (1668 + 1183) / 3 = 950 \text{ 枚} / 3 \text{ 年} \end{aligned} \right\} \text{計 } 2872 \text{ 枚} / 3 \text{ 年}$$

1年あたりでは

$$2872 \times 1/3 = 957 \text{ 枚} / \text{年} \dots\dots (1)$$

直接出力使用図面数は

$$EP \text{ } 2510 \text{ 枚} \times 1/3 + 123 \text{ 枚} = 959 \text{ 枚} / \text{年} \dots\dots (2)$$

$$XP \text{ } (969 + 304 + 1515 + 69) / 3 = 952 \text{ 枚} / \text{年} \dots\dots (3)$$

$$(2) + (3) = 959 + 952 = 1911 \text{ 枚} / \text{年} \approx 160 \text{ 枚} / \text{月}$$

となる。なお(1)957枚と(3)952枚の出力枚数はほぼ一致し、図-3による検図ルーテーションが、平均的に行われていることを示している。

図面出力作業に従事するオペレータE(女子)の作業経費は、6.の規準により算出すると図-1に示すように、

表-5 出力枚数表

出力図面の種類	サイズ	使用回数	テスト回	1987-4-	1988-4-	1989-4-	合計
				1988-3	1989-3	1990-3	
Eプロッター	A-1	○		710	877	923	2,510
	A-1		○	2,519	2,046	1,203	5,768
	A-0	○				123	123
XPプロッター	ボールペンB1		○	913	313	442	1,668
	ボールペンA1		○	571	461	151	1,183
	スミB1	○		289	378	302	969
	スミA1	○		67	108	129	304
	鉛筆B1	○		466	676	373	1,515
鉛筆A1	○		6	3	60	69	
計				5,541	4,862	3,706	14,109

3か月間は教育訓練期間である。またFB式製図機についても、5.で述べているが、教育訓練期間は3か月であり、いずれもこの教育訓練期間にかかる作業経費は、3年から5年で割掛けを行うものとする、この技術者Eのコストは、表-7より、

$$\begin{aligned} & \text{技術者E} + \text{技術者G} \times 3/12 \times 1/3 \\ &= 3172119 + 2339737 \times 3/12 \times 1/3 \\ &= 3367097 \text{ 円} / \text{年} \end{aligned}$$

$$3367097 \times 1/250 = 13468 \text{ 円} / \text{日}$$

で示される。



## 5. 自動製図機

### (1) 製図機の選定

土木製図に使用される自動製図機においてプロット方式のものは、フラットベットタイプ (FB) とドラム方式に大別される。FB タイプの製図ヘッドは、二方向をそれぞれのモーターで線を描くものと、リニア方式で描くものがある。ドラム式は小型化を目指し近年製図方法も、FB 方式の描画精度に近づいている。

非接触型である静電プロッターは、1980年代後半に至り、良質な図面が得られるようになってきている。

土木製図は厳しい水準に位置していると考えられ、またトレーサーが書き出すシャープペンでの細線、自由線に対抗して表現できるプロッターの条件も非常に厳しいため、種々検討の結果、土木製図の基本を守っている機器としてFB方式のD-SCANXP 3100を選定した。

製図ヘッドはリニアシンクロサスモータにより細線や斜線、自由曲線もスムーズに表現し、0.01 mmの分解能をもっている。この機能により、円は正多角形と定義されて綺麗に描かれる。

土木構造物の設計図面の約80%はシャープペン仕上げであるため、ここでは、シャープペンについて述べる。

シャープペンセットは、芯の太さ0.3 mm・0.5 mmの2種類が装着され、替芯は自動供給される。トレーサーは、0.3 mmのシャープペンで0.1 mmの細線を手書きで表現する。しかしプロッターでの線の太さは、0.3 mmよりも細くはなり得ない。もし0.1 mmのシャープペン用芯を製作しても、この芯は用紙に対して鋭い刃物となる。

こうしたことより、0.3 mm芯で細線を表現する製図用紙の検討では、用紙は芯の強度、速度に耐え、芯の微粒子がよく乗り、この細線が青焼図で0.1 mmの手書き細線の表現に迫るもの、を目標とした。

#150フィルムに薬剤塗布加工をした用紙で、0.3 mm、2Hでのテストを重ねたところ細線の表現が良好であるので、0.3 mm 3H、4Hの試作品による、ドローイング対応の検討を行った。4Hでの描線はこれを青焼図面として表現するとき、他の線種とは明らかな濃淡の差がつき、0.3 mmでの細線間のコントラストを強めるため、芯の硬度間を離してHと4Hとして使用することとした。

0.3 mm芯を3種類使用する表現では、従来の0.3 mm用ホルダー1個のみでは作業性が低下するため、0.3 mm用ホルダーを2個もつ、シャープペンキッド(B)を試作し、このA・B2セットをASSIN(ペン指定)に応じ取り替え、シャープ芯を0.5 mm H、0.3 mm HB、0.3 mm H、0.3 mm 4Hと、4種類にしている(写真-4)。

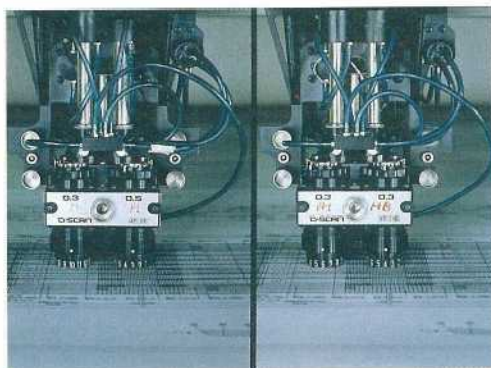


写真-4 4種類の芯が使用可能なシャープペンキッド

### (2) 製図機(プロッター)を動かす要員の訓練

プロッターは、始業点検を綿密に行えば、定期点検整備以外に、保守点検修理等を必要としないことから、GDから最終出力図作成まで、女子によって行われる。

プロッターの訓練は、オペレータ助手として3日間プロッターでの作図作業から始められる。次に設計図面を理解するため、構造物設計図面を手書きトレースする訓練が1か月にわたり延べ12日間行われる。この1か月の他の12日間は、LP操作によってGDに構造物を書く基礎訓練を併行し、MT作成も行わせる。プロッターおよびGDに対し、連日同じ作業に従事すると疲労感が伴い、作業効率が減少することが試行期間に認められた。そこでGDの作業ローテーションをグループ別に調査したところ、1週を前半と後半に分離し3日間連続して行う、この4週ローテーションでは、作業性は安定してくるという結果となった。

### (3) RCホロースラブを書く

RCホロースラブ橋の設計図面は、狭いピッチで細線がぎっしりと詰め込まれている。これを手書きで順次作成してゆくためには、経験を積んだ設計技術者が必要で、一組約20枚で構成される設計図面は、各図面が関連性を有するため、分担して作業すると逆に効率が悪くなる。

このような設計図面を、自動製図機により処理すれば均質な図面の作成と、作業時間の短縮を計ることが可能であるが、設計図面は、細線が多いため、引出線や数字の配列とのバランスに注意する必要がある(写真-2)。

ドローイング作業時間は、A橋の上り線12枚について所要時間を調査すると表-6であり、作業経費は  

$$624 \text{分} \times 13468 \text{円} \div (8 \text{時間} \times 60 \text{分}) = 17508 \text{円} / 12 \text{枚}$$
 1枚当り17508円 $\times 1/12 = 1459 \text{円}$ となる。

## 6. 手書き図

RCホロースラブ上部工の設計図面は、一組の構成が



表—6 作業時間表

作	業	準	備		15分
断	面	詳	細	図	1枚 50分
床	版	配	筋	図	4枚 234分
構	軸	方	向	鉄筋加工図	3枚 117分
主	鉄	筋	配	筋図	2枚 93分
そ	の	他	図		2枚 100分
跡	片	付	け		15分
合	計			12枚	624分

平均20枚となり、全体の関連と調整を計り図面を直接トレーシングペーパーに各図面をスムーズに図化してゆけるようになるのは、大卒後5年目くらいの設計技術者からである。この技術者(A)がどのような訓練を経たかを、約5年間にわたり遡って調査をした。

最初の1年は、設計の基礎的教育と仕様書の理解を設計が行われた教材をモデルとして、設計検討、断面決定、作図作業と数量作成を、反復して行わせる。この期間は、他の補助作業も行っているのので、1年を通して集計すると、約50%がこの教育訓練に使われている。2年目になると、道路設計、舗装設計を担当し、ボックスカルバートの設計製図を行っている。3年目では、橋梁下部工の考え方を理解するようになってくる。4年目では、単純桁のRC、PC上部工の橋梁構造物設計の経験を積んで、RCホロースラブ上部工の設計製図が可能となる。

この4年間の設計作業に従事した期間で初級技術者は一般的に設計作業原価としての評価を受ける業務を行っており、最初の1年間の約50%に当たる教育訓練費用のコスト分担は、5年目から向う3年間に均等に分割し、割り掛ける考え方でコストの検討を行うこととする。これは、技術者を大卒後7年で設計主務者として扱う実績による。設計技術者の給与と基準の検討は5年の間にベースアップを実施しているのので、本検討において1989年4月1日の大卒者(B)の初任給を初年度給与とし、同日で入社5年目の技術者(A)の給与と比較することとする。

この対象者の1989年4月より1年間の年間給与所得は3,636,004円である(表—7)。企業側の負担額は、この他に法定福利費と福利厚生費、および技術経費を加えたものである。(A)について調査した結果と(B)~(G)は比較のために(A)と同じ動きを示したものとしてみとめ表—7に示す。1年間の総休日数は、日曜日52日、

祝日13日、土曜休日24日、土曜日半休分14日、年末年始休日5日、夏期休暇等指定休日7日の計115日であり就労日数は、

$$365日 - 115日 = 250日(年間)$$

となる。以上の年間就労日数に対する総直接人件費総額は、(A)の初年度(B相当)教育訓練費用の均等割掛け分を、5~7年の3年間にわたって考慮されるべき扱いとし(A)の1日当たりの直接人件費は、次式となる。

$$4,069,997円 + 3,722,507円 \times 50\% \div 3年$$

$$= 4,069,997 + 620,417 = 4,690,414円$$

$$4,690,414円 \div 250日 = 18,761円/日$$

RCホロースラブ上部工の手書き設計図面の中から、ほぼ同規格の5橋を選び、製図日数の実績を作業記録から調査した。これらの上限および下限を除いて、12枚の設計図面について手作業で作図が行われた3橋の平均値は、数量計算を含めて22.5日(表—8)となっている。

## 7. コスト比較

RCホロースラブ橋を選んで検討を行ったのは、図面内容の複雑さのため、手書き図では多くの作成時間が要されるが、電子計算機システムでは基本的に影響されないことによる。設計図面を電子計算機システムで書くときの準備、ユーザープログラム作成、H/W構成、プログラマー、SE、CEおよびオペレータ等の人件費など、表面に現われにくい教育訓練費用等についても述べてきた。

作成される設計図面枚数は

- ① 1か月間のプロッター出力枚数 160枚。
- ② 一設計当たりでは23枚。
- ③ XPプロッターまわりの人件費では12枚

表—8 作図日数表

図面名	枚数	作業時間
断面詳細図	1枚	1.5日
床版配筋図	4枚	8.0日
構軸方向鉄筋加工図	3枚	4.5日
主鉄筋配筋図	2枚	4.0日
その他の図	2枚	2.5日
材料計集		2.0日
計	12枚	22.5日

表—7 技術者コスト試算表

	技術者A	技術者B	技術者C	技術者D	技術者E	技術者F	技術者G
年 収	3,636,004	3,325,500	3,427,561	2,872,887	2,818,000	2,580,000	2,050,000
法定保険料 (企業負担分<年間>)	360,676	328,970	336,280	289,674	284,762	279,149	226,980
企業年金・傷害保険 厚生費・技術経費	73,317	68,037	99,536	98,216	69,357	68,037	62,757
合 計	4,069,997	3,722,507	3,863,377	3,260,777	3,172,119	2,927,186	2,339,737

表—9 電子計算機使用による図面作成費用

費用項目	費用	図面 1枚当り	摘要	
1. プログラム作成費用	18,947	18,947	1)+2)	
1) メインプログラム作成	8,315	8,315		
2) 汎用プログラム作成	10,632	10,632		
2. ハードウェア費用	3,830,855	23,942	[(1)+2)+3)+4)] ÷ 160枚	
1) 電子計算機等機械装置リース料	2,441,392	15,259		(月額)
2) 電力料金消耗品費S・E・C料	364,721	2,279		(月額)
3) ソフト使用料	336,100	2,100		(月額)
4) 機械保守料	688,642	4,304		(月額)
3. 人件費		8,241	1)+2)	
1) データシートからMT作成まで	156,006	6,782		23枚当り
2) X P プロッター打ち出し	17,508	1,459		12枚当り
合計		(円) 51,130	1枚当り	

との区分で作成費用をまとめたのが、表—9である。この表より、設計図面1枚当たりのコストは、51130円であることが示される。

一方、6. (表—8)でRCホロースラブ上部工設計図面を従来の手書き図で作成した場合の経費について述べたが、設計図面12枚の作図日数は22.5日となり、技術者(A)のコストを乗ざると1枚当たり平均価格は、

$$22.5日 \times 18761円 \times 1/12 = 35176円$$

である。トレーシングペーパーと雑品で600円。製図機(ドラフター)損料として(7年償却)

$400000円 \times 1/7 \times 20.5/250 \times 1/12 = 390円/枚$   
円弧定規, S形クロノイド定規(7年償却)を使用するので

$$1165000円 \times 1/7 = 166428円/年$$

使用日数は、床版配筋図(表—8参照)の4枚であり、この日数は8日である。

$$166428 \times 8/250 \times 1/12 = 443円/枚$$

消耗品および損料は、 $600 + 390 + 443 = 1433円/枚$   
手書き費用合計は

$$35176円 + 1433円 = 36609円$$

となり、電子計算機システムで作成された設計図面1枚

の価格は51130円(表—9)。

これらの比率は、

$$51130/36609 = 139.66\%$$

である。年間賃金の4%増が続くと手書き図は経費増となるので、ハードウェア価格の下降と、プログラムの償却を考慮すると、上記の価格差は縮小する可能性が高い。

## 8. おわりに

土木構造物の設計図面は、各種示方書や設計基準に従い設計されているので、これに対する電算システム化は、比較的高い効率をあげることができる。これらの中から鉄筋量が多く、また設計製図が従来手書き作業で手数のかかるRCホロースラブ橋の上部工を選び、その自動図化と従来の手書き図に対する比較を論じ、比率は約140%となった。

システム化による特長は、集中度の高い繁忙期での作業消化、図面の均質化と内容の安定化、適正な設計数量の算出とミス防止を計ることである。当検討での稼働日数は250日であるが、これらの日数はさらに約10%減少が目標とされ、これにより人件費の上昇は必至となる。よって手書き図と自動製図によるこれらのコストの比率は4~5年後にかなり接近してくるものと予想される。

最後に、本稿をまとめるにあたってご指導を頂いた日本大学理工学部-川口昌宏教授に、深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 土木学会：土木製図基準
- 2) 山谷正己・秋山義弘：仮想計算機，共立出版，1978年。
- 3) 高島敏夫：土木設計・製図の自動化支援システム，IBM REVIE 95，1985。

(1990.8.13・受付)