

スプレッドシートを用いたトラス主構設計システム

関西大学工学部	正会員	三上 市藏
㈱片山鉄工所	正会員	赤松 洋一
関西大学大学院	学生員	○土田 貴敬
関西大学情報処理センター	正会員	木村 作郎

1. まえがき

近年の土木工学分野においては、各種の設計業務にコンピュータプログラムが利用されるのが一般的となっている。さらにハードウェアの高性能化と、その低廉化によって、メインフレームのみならず、ミニコン、EWS (Engineering Work Station)、パソコンが普及し、積極的に利用されている。それに伴い、あらゆる分野において、多種多様なアプリケーションソフトウェアが開発され、それらを利用する機会が多くなってきている。

このアプリケーションソフトの1つであるスプレッドシート (Spreadsheet) は、わが国では『表計算ソフト』とも言われ、従来、会計事務計算において多用されてきた。また、最近では市販のワードプロセッサにおいても『カルク機能』などとして導入されている例が多い。そして、その利用方法の簡便さ、豊富な機能、優れた計算能力が評価され、現に多くのオフィスにおいて様々な業務に実用化されている。米国においては、これらの有用性が工学分野においても注目され、多くの実用例^{1)~16)}が発表されているものの、わが国においては見当たらないようである。

本論文においては、スプレッドシートを用いてトラス主構設計システムを構築し、工学分野におけるスプレッドシートの有効性を検討する。システム構築にあたっては、パーソナルコンピュータ『FMR-60 III』上でスプレッドシート『Lotus 1-2-3』¹⁷⁾を用いた。

2. スプレッドシートの概要

スプレッドシートとは、ディスプレイ画面上に表示される2次元のマスキュラに区切られたワークシートの中に数式や数値などを入力すると、自動的に計算結果が得られる一種の簡易言語である。一般に、スプレッドシートには次に示す4つの機能がある。

① 再計算機能

入力値を変更すると、ワークシート上に登録された数式の演算が再実行される機能である。

② グラフ機能

特別な操作やプログラムを必要とせずに、演算結果をグラフ表示する機能である。①により再計算された結果はグラフの中にリアルタイムに反映される。

③ データベース機能

ワークシート上のデータを用いて、簡易データベースとして機能する。これによりデータの検索、抽出などが容易に実行できる。

④ マクロ機能

定型的で、繰り返しの多い操作手順を記憶し、自動実行する機能である。

3. トラス主構設計システムの概要

トラス主構設計システム (以下; 本システムという) では、垂直材をもたない直弦単純ワーレントラ

ス橋の主構部材の断面決定を行う。設計手順は道路橋示方書¹⁹⁾によるものである。本システムは図-1に示すように3つのモジュールより構成されている。第1のモジュール(部材力計算モジュール)は、トラスの形状(支間長、トラス高、格間数)と、し荷重(死荷重、等分布荷重、線荷重)を数値で与えることにより、部材数と、各部材の設計軸力を算出する。第2のモジュール(断面決定モジュール)では、第1のモジュールにおいて算出された設計軸力を用いて、上弦材、下弦材、斜材の各部材の断面を対話的に設計する。第3のモジュール(メインメニュー)は2つのモジュール間を移動するために利用される。

「Lotus 1-2-3」は、図-3に示すように、その起動と同時にシステムプログラムがRAMに常駐するため、演算が非常に高速であるという特長をもっている。一方、ユーザの作成したワークシートは残りのRAMの中で展開するので、大規模なワークシートの実行に関しては限界が生ずる。本システムでは最低 640KBのRAMを必要とする。ワークシートが拡大するにつれ、演算所要時間が増大するので、本システムでは、メインプログラムを2つのワークシートに分割した。

4. システムの実行

和歌山県日高郡の小畑谷橋における実施設計¹⁹⁾に対して、本システムを実行する。本橋は下路式単純(平行弦)トラスであり、橋格は2等橋である。本橋の側面図を図-3に示す。

(1) 部材力計算モジュールの実行

本橋の寸法には、図-3より、支間長69.2m、トラス高 7.5m、および主構間隔 5.5mを与える。実橋のスパン割りは $69.200=7\text{a}7700+2\text{a}7650$ であるが、本システムでは、等格間長を前提にしているために、格間数9を与え、スパン割りは $69.200=9\text{a}7689$ となっている。また、有効幅員は 4.0mであり、載荷荷重は設計計算書¹⁹⁾を参考にして与える。死荷重強度には 2.741tf/m、活荷重(TL-14)には線荷重 7.000tf、等分布荷重 0.490tf/mを与える。死荷重強度は、実橋においてハンチの違いから、断面においての若干の差があるが、最大断面における値を入力した。

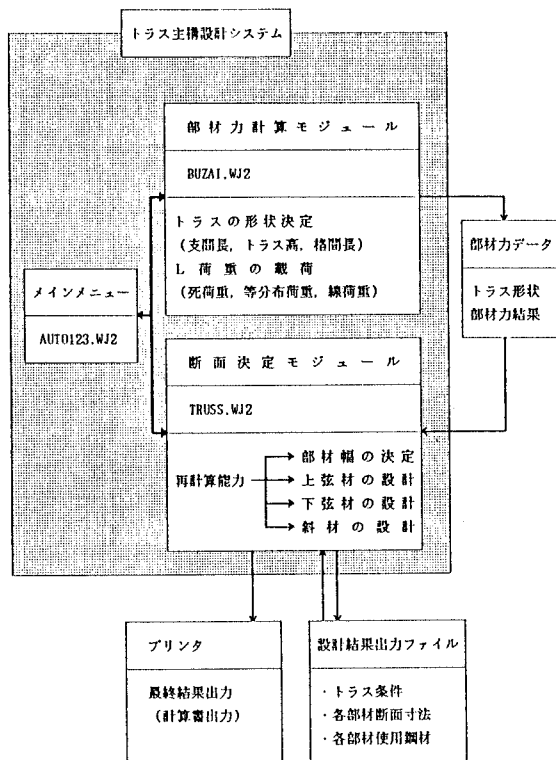


図-1 システムの構成

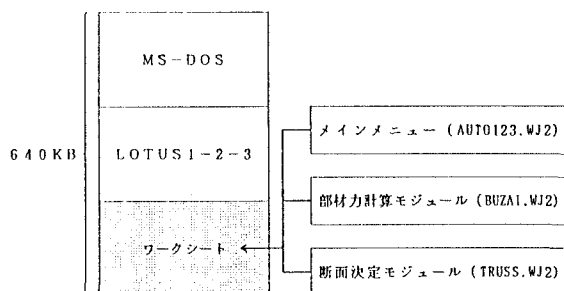


図-2 システムとRAM

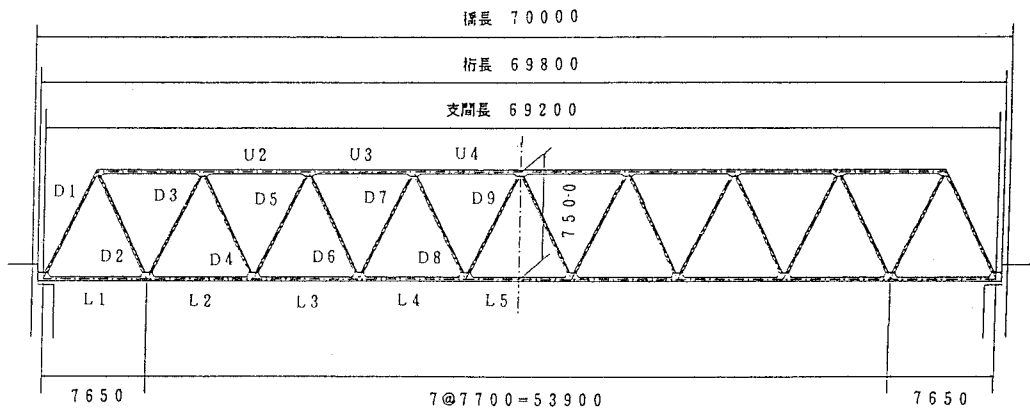


図-3 小畑谷橋側面図

すべての入力値を与えると、図-4に示すように、瞬時に各部材における設計軸力が計算され、表示される。

実施設計における設計軸力と本システムにおける設計軸力を表-1に比較する。両者の間には多少の差が見られるが、実際の設計に関して問題のない程度である。この差はスパン割りと死荷重強度の与え方に違いがあったためである。

(2) 断面決定モジュールの実行

断面決定モジュールを起動し、(1)において算出された各部材の設計軸力を読み込むと、図-5に示す画面となる。この画面では各部材の設計状況が一覧表示される。設計状況はすべて★印になっているが、これは未設計の結果断面であることを示すものであり、○印ならば設計完了、×印ならば設計不良の断面であることを示す。

よろしいですか? (Y/N)

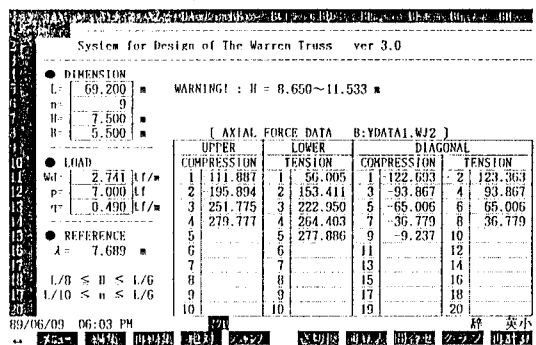


図-4 設計軸力の計算

実施設計

表-1 小畑谷橋の実施設計と本システム実行結果

Member	N	Steel	t_k	t_w	t_b	A	L_y	L_z	I_y	I_z	L/r_y	L/r_z	σ_{ca}	σ_c
U-1	-108.990	SS41	9	9	9	115.2	7.675	3.837	17014	18844	62.9	30.0	1040	945
U-2	-190.450	SM50Y	11	11	11	140.8	7.700	3.850	20966	23243	63.1	30.1	1364	1353
U-3	-244.490	SM50Y	14	14	14	179.2	7.700	3.850	27093	29988	62.6	29.8	1371	1364
U-4	-271.180	SM50Y	16	16	16	204.8	7.700	3.850	31278	34585	62.1	29.6	1379	1324

システム実行結果

Member	N	Steel	t_k	t_w	t_b	A	L_y	L_z	I_y	I_z	L/r_y	L/r_z	σ_{ca}	σ_c
U-1	-111.887	SS41	9	9	9	115.2	7.689	3.845	17014	18844	63.0	30.0	1039	971
U-2	-195.894	SM50Y	11	11	12	143.8	7.689	3.845	21667	23468	62.5	30.0	1373	1362
U-3	-251.775	SM50Y	14	14	16	185.2	7.689	3.845	28484	30438	62.0	30.0	1380	1359
U-4	-279.777	SM50Y	16	16	16	204.8	7.689	3.845	31278	34585	62.0	29.6	1380	1366

ただし、 L/r_y 、 L/r_z はそれぞれY軸、Z軸回りの断面2次半径に関する細長比である。

[illegible]

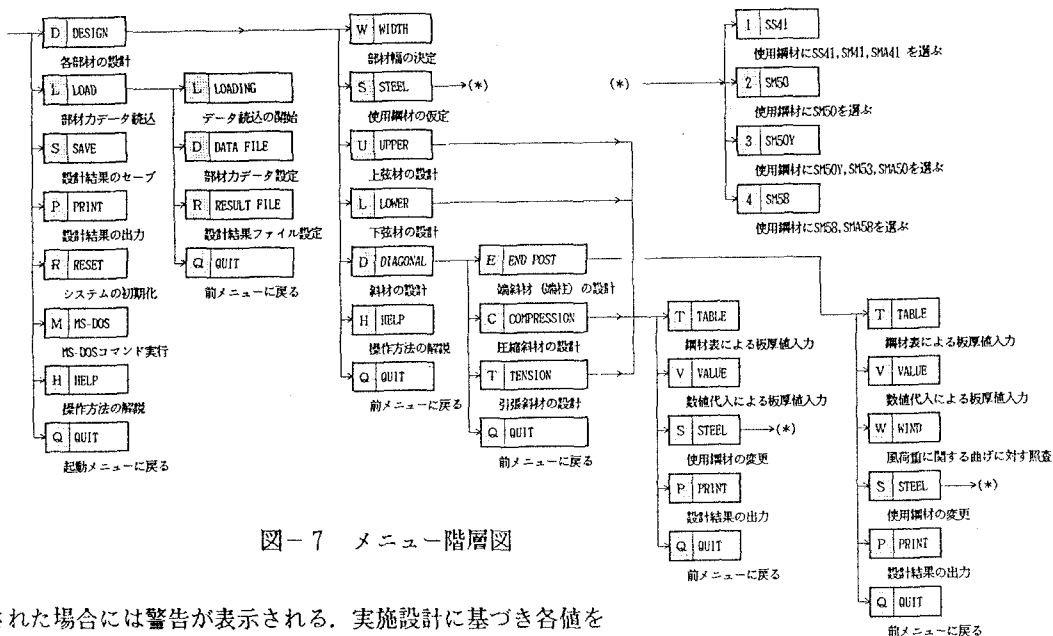
図 5 設計状況の表示

```

D DESIGN
各部材の設計を行う。(【ESC】でシステム停止)
{IF C4=0}{LET COMMENT, [ERROR] 部材力データを読み込んでください. [1 LOAD] を選択します. }- {MENUBRANCH MAINMENU}
{Y1}
{YD}
{MENUBRANCH MAINMENU}

```

図-6 メニューマクロの定義



された場合には警告が表示される。実施設計に基づき各値を入力したのが、図-8の画面である。

次に、各部材の断面を決定する。メニュー【U UPPER】を選択し、上弦材を設計する。設計したい部材番号を入力すると図-9に示す画面になる。この画面において、使用鋼材を決定し、板厚値を入力すると、断面諸量などが瞬時に計算され、図-10に示すように設計結果がコメント表示される。本システムにおいては、板厚の入力には2つの方法が選択できる。1つはユーザが板厚を数値で入力する方法で

ある。2つは提示された板厚のリストから適当な数値を選択する方法である。図-11に示すように画面左半分に示された断面図を参照しながら、対話的に設計ができるようになっている。

同様に、下弦材、斜材の設計も行い、図-5の画面において、すべての断面に対して○印が表示されるまで繰り返し実行する。一例として上弦材に対する実施設計¹⁹⁾における断面設計結果と本システムにおける設計結果を設計軸力の結果とともに、表-1に示す。設計が完了した断面はその詳細をプリント出力することもできる。上弦材(L-4)に対する設計結果の詳細出力を図-12に示す。

よろしいですか? (Y/N) >>

図-8 部材幅、部材高の入力

使用鋼材として SS41, SMA1, SMA41 を選ぶ。

図-9 使用鋼材の選択

板厚を示された値から選択する。

図-10 設計結果のコメント表示

入力したい板厚を選択してください。(適当な値がない場合は【0 OTHERS】)

図-11 メニューによる板厚入力

5. 土木工学分野への適用

すでに米国では表-2に示すように、土木工学の様々な分野において、スプレッドシートの適用事例¹¹⁻¹⁶⁾が報告されている。その多くが設計分野への適用である。

これら事例の検討と本システムの構築を通して得られた経験とから、スプレッドシートの適用について留意点を述べる。

● UPPER CHORD MEMBER

Number >>	4	N =	-279.777 tf	VALUE FOR DESIGN
1-top.PL.	360 × 16 =	57.6	cm ²	Aw/A = 48.4%
2-web.PL.	310 × 16 =	99.2	cm ²	e = 1.5 cm
1-bot.PL.	300 × 16 =	48.0	cm ²	Iy = 31278 cm ⁴
steel >>	SM50Y	A =	204.8 cm ²	Iz = 34585 cm ⁴
設計は完了しました。				ry = 12.4 cm
				rz = 13.0 cm
				Ly = 7.689 m
				Lz = 3.845 m
				Ly/ry = 62.0
				Lz/rz = 29.6
				σ ca = 1380 kgf/cm ²
				σ c = 1366 kgf/cm ²
				ratio = 99.0%

図-12 設計結果のプリント出力

表-2 スプレッドシート適用事例

文献番号	業務内容	適用対象	ハードウェア	ソフトウェア	グラフ機能	データベース機能	マクロ機能	外部ファイル	実用性	その他
1)	設計計算	鉄筋コンクリート柱	パソコン	?	相互作用図	?	?	なし	例示用	計算書作成可
2)	設計計算	鋼柱	T.I. HP	LOTUS " SYMPHONY "	なし	AISC形状規格表	?	なし	実用	計算書作成可
3)	設計計算	プレストレスコンクリート梁	中規模コンピュータ	?	モーメント図はか	?	グラフ表示	なし	実用	
4)	設計計算	梁端部	?	LOTUS 1-2-3	たわみ曲線図はか	?	?	なし	実用	
5)	設計計算	鉄筋コンクリート梁	?	?	なし	?	?	あり	試作品	計算書作成可
6)	設計計算	鉄筋コンクリート梁	IBM-PC/XT, AT	LOTUS 1-2-3	モーメント図はか	?	?	なし	例示用	計算書作成可
7)	設計計算	鉄筋コンクリート梁	?	LOTUS 1-2-3	なし	鉄筋規格表	メニュー表示はか	なし	例示用	
8)	設計計算	フーチング、土圧計算	?	?	なし	?	?	なし	試作品	計算書作成可
9)	施工	コンクリート配合	APPLE II e	APPLEWORKS SPREADSHEET	なし	?	?	なし	実用	
10)	教育	課題の個人別出題と解答の添削	IBMコンパチのマイコン	LOTUS " SYMPHONY "	なし	?	?	あり	実用	
11)	構造解析	モーメント分配法	?	LOTUS 1-2-3	なし	?	支点条件設定はか	なし	実用	
12)	施工管理	小規模現場工事での施工管理	?	?	なし	?	?	なし	例示用	計算書作成可
13)	計画	雨水管きょ調	マイコン	?	ハイドログラフ	?	グラフ表示	なし	実用	
14)	計画	水質シミュレーション	IBMコンパチ機	LOTUS " SYMPHONY "	計算結果と実測値	?	?	なし	実用	
15)	水理解析	畑地排水の非定常現象解析	マイコン	Microsoft " Excel "	圧力水頭と実測値	?	データ入力はか	なし	例示用	
16)	計画	雨水管理モデリング	パソコン	LOTUS 1-2-3	なし	?	?	あり	実用	

① スプレッドシートの再計算能力により、入力値（設計パラメータ）変更の際にはワークシート全体の再計算が実行されるので、1つのパラメータの変更が他のパラメータに及ぼす影響を瞬時に演算し、評価できる。本システムにおける入力値と出力値との関係を図-13に示す。矢印の向きは、その値に変更のあった場合に影響を与える方向を意味している。この図からも、1つの値の変更が設計結果に与える影響が大きいことが明らかであり、最適断面に対話的に近づくような設計業務においては『再計算能力』は非常に有効である。

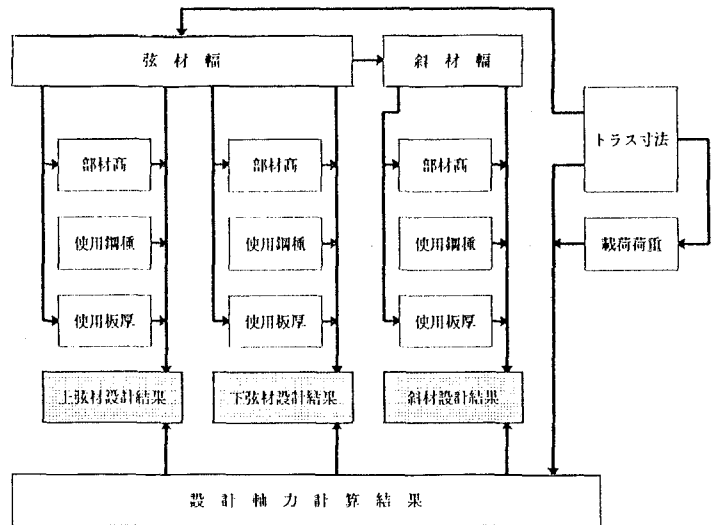


図-13 パラメータの相互作用

② スプレッドシートはワークシート上の全てのデータをCPU上で展開することにより、計算が非常に高速である。ただし、ワークシートの拡大につれ、その計算時間が伸び

るので、大規模のシステム構築にあたってはモジュール化が必要となる。本システムは約6500個に及ぶセルから構成されているが、再計算の実行速度は約5秒である。高度な数学関数も多数サポートされており、技術計算向きであるといえる。

③ 設計計算の手順は表形式で展開することが多く、日常の設計業務を容易にシステムに移行できる。システム構築にあたり、特別なプログラミング技術はほとんど必要なく、ワークシート上のそれぞれの計算式をセル座標を指定することにより連鎖させるだけである。ファイルを利用した入出力も可能

で、米国の事例^{5) 10)} には、大規模な計算は専用の外部プログラムを利用しているものもある。

- ④ マクロ機能を利用して、階層的なメニューを自由に作成できる。したがって、ユーザはマニュアルを参照する必要がなく、対話型設計システムが容易に構築できる。ただし、マクロ機能が自らを破壊することもあり得るので、ワークシートのレイアウトにはプログラマが責任を持たなくてはならない。
- ⑤ 全てのパラメータはワークシート上のいづれかに存在し、ユーザはその値を確認することが容易である。従来のシステムではブラックボックスであった部分が明瞭になり、システムの仕組みを容易に理解することができる。
- ⑥ 計算によって得られる膨大な出力をグラフ機能を用いて視覚化することが容易である。本システムにおいては、スプレッドシートの機能のうち、グラフ機能とデータベース機能を利用していないが、米国実用例の中では、多くの利用例が示されている。グラフ機能を用いたものとしては、文献1) において、コンクリート柱の設計が行われており、設計断面の相互作用図を作画し、設計結果を視覚化することに成功している。また、文献3) においては、P C梁の設計が行われており、曲げモーメント図、せん断力図を作画させている。
- ⑦ 設計においてデータベース機能を効果的に利用することにより、示方書、数表、鋼材表などの「マニュアル参照」が自動化され省力化される。データベース機能を利用した事例としては、文献2) において、鋼柱の設計が行われ、データベース化した鋼材の諸量を必要に応じて抽出し、利用している。

6. あとがき

最近、注目されつつあるアプリケーションソフトの1つである、スプレッドシートが、土木工学分野の諸問題に対し、いかに適用し得るかを考察するために、ワーレントラス主構設計システムを構築した。さらに、米国における適用事例を調査し、有用性を認めることができた。今後は、設計計算のみならず、様々な問題解決において、これまでのように高級言語にばかり頼ることなく、保守の容易なスプレッドシートを始めとする簡易言語の利用を進めるべきである。

参 考 文 献

- 1) Steve, W., and Lee, S.: Structural design of concrete columns using Spreadsheet graphics, Computer Applications in Structural Engineering, pp.232-240, Aug., 1987.
- 2) Charles, E.L.: Computer aided design of steel columns by Spreadsheet, Computer Applications in Structural Engineering, pp.373-382, Aug., 1987.
- 3) Andrei, M.J., Lan, Y., and Julian, S.: Prestressed concrete beam design, Computer Applications in Structural Engineering, pp.383-394, Aug., 1987.
- 4) Gordon, T.C., and Hans, S.: Design of a post tensuined segmental swing bridge, Computer Applications in Structural Engineering, pp.395-402, August, 1987.
- 5) David, G.K., and Ronald, E.B.: Spreadsheet for concrete beam design-Mu, Vu, Tu, Computer Applications in Structural Engineering, pp.403-411, Aug., 1987.
- 6) Andrew, W.S.: Computer Spreadsheet applications in structural engineering desidn, Computer Applications in Structural Engineering, pp.412-423, Aug., 1987.
- 7) Charles, G.S.: Concrete beam design using menus and macros of Lotus 1-2-3, Computer Applications in Structural Engineering, pp.424-437, Aug, 1987.
- 8) Richard, F.: Simplified Spreadsheet creation for everyday engineering, Computer Applications in Structural Engineering, pp.438-444, Aug., 1987.
- 9) William, E.B.: The design of concrete using an electronic Spreadsheet, Computer Applications in Structural Engineering, pp.445-460, Aug., 1987.
- 10) Terence, A.W.: Using Spreadsheet to individualize student assignments, Computer Applications in Structural Engineering, pp.461-473, Aug., 1987.
- 11) Edmond, T.M.: The moment distribution method using a Spreadsheet, Computer Applications in Structural Engineering, pp.474-485, Aug., 1987.

- 12) James, J.Y.: Use of spread sheets in small firms, Jour. of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol.1, No.3, pp.217-219, Jul., 1987.
- 13) Kevin, G.B., and Antonis, D.K.: Lotus spreadsheet design for storm drain networks, Jour. of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol.1, No.3, Jul., 1987.
- 14) Shaw, L.Y., and Todd, S.T.: Application of LOTUS SHYMPHONY in water quality modeling, Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.98-109, Oct., 1986.
- 15) Miles, S.W., James, P.H., Wayne, C.H., and Thomas, G.P.: Application of LOTUS 1-2-3 to SWMM processing, Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.969-984, Oct., 1986.
- 16) Neis, M.E., Wigham, J.M. and Neis, V.V.: Macro-Spreadsheet Programing Applied to well drawndown, Jour. of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol.2, No.2, pp.121-135, Apr., 1988.
- 17) Lotus Development Corporation : ロータス 1-2-3 リファレンスマニュアル, 1987.12
- 18) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 丸善, 1980.
- 19) 榑片山鉄工所: 小畑谷橋設計計算書
- 20) 日本道路協会: 鋼道路橋設計便覧, 丸善, 1980.
- 21) 中井博, 橋善雄: 橋梁工学 (改訂版), 共立出版, 1976.