

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-546

パーソナル・コンピュータを利用した構造物の
ひずみ変位等の大量データ計測処理システム

岩崎和夫・木部勢至朗

1985年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

パーソナル・コンピュータを利用した構造物の ひずみ変位等の大量データ計測処理システム*

岩崎和夫** 木部勢至朗***

1. はじめに

従来、構造物の強度試験に於けるひずみ計測はひずみゲージを構造物に貼付し、スイッチ・ボックスを介して静ひずみ測定器により1点ずつ手動で印示する方式で行われた。また、変位計測は変位計を構造物に取付けデジタル変換器によりデジタル化された変位を直接読み取る方式であった。

図形処理を考えると、その個々のデータを基に手作業で行うため各々の物理量計測のためのセンサー数も一つの構造物に対して数10程度に抑えざるを得なかった。

今回、ファンジェットSTOL機の研究の一環としてCFRP箱形構造模型¹⁾及びCFRP尾翼構造模型²⁾の強度試験さらに科学技術庁振興調整費による「風力-熱エネルギー利用技術に関する研究」として風車翼の強度試験³⁾を行うことになった。いずれも構造物が大型化しており、より細部に亘っての計測が要求されるためセンサー数も数100程度が必要となる。特に強度試験の中でも、段階的に破壊まで荷重を負荷する静強度試験では各荷重段階で構造物の各部材に於けるひずみ等の大きい位置を把握しながら次の荷重を設定する必要があり、そのために各荷重で荷重-ひずみ線図等を描かせるリアルタイム図形処理が要求される。

これらの試験を行うためパーソナル・コンピュータと万能デジタル測定器を用いて、ひずみ・変位等の大量データ計測及びリアルタイム図形処理システムのハードを組上げソフトを開発した。このシステムにより、実験を行う現場におけるひずみ・変位

等の大量データ計測及びリアルタイム図形処理が可能となった。

本報告では、システムの構成と機能について述べ次にシステムの適用例としてCFRP箱形構造模型の静強度試験計測プログラムとその強度試験から得たデータを用いたいくつかの図形処理プログラムについて述べる。

2. システムの基本機能

本システムが備えるべき機能として以下に示すものを基本とした。

- 1) システムの移動が可能なこと。
- 2) センサー数として1000程度の計測及びリアルタイム図形処理が可能なこと。
- 3) 各荷重段階に於ける1回の計測及びリアルタイム処理時間が3分以内であること。

3. ハードウェアの構成と機能

本システムはパソコン⁴⁾と万能デジタル計測システム(万能デジタル測定器⁵⁾, スキャナー⁶⁾, データ・レコーダ⁷⁾, キーボード⁸⁾)から構成されており、パソコンからのスタート命令により最大1000(センサー数)点のひずみ・変位等の静的データの計測及びリアルタイム図形処理が可能である。

本システムのハードウェアの構成を図1, 外観を図2に示す。

3.1 パソコン(HP-85)

パソコンはCPU, CRT, プリンタ, テープ・カートリッジが一体となっている。主な機能として、万能デジタル測定器がデータの計測を行う際の測定範囲の設定, FUNCTIONモード(3.2参照)の設定, スタート命令により計測を実行させることで

* 昭和60年1月30日受付

** 機体第一部

*** 機体第二部

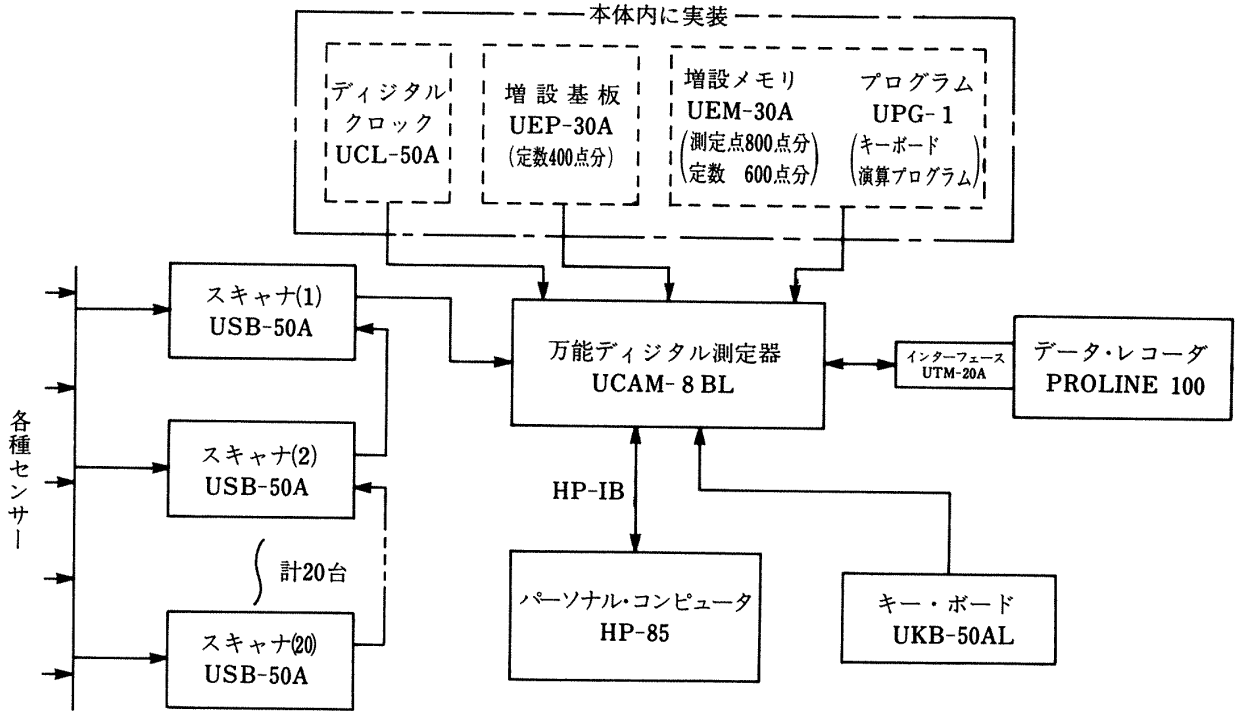


図1 システムの構成



図2 システムの外観

ある。そして、万能デジタル測定器からの測定データを基にリアルタイム図形処理を行う。リアルタイム図形処理はCRT上で行われ、プリンタに結果を出力することができる。基本言語としてBASICを用い、記憶容量は32Kバイトで、RAM領域として30.7Kバイトを有している。基本仕様を表1に示す。

3.2 万能デジタル測定器 (UCAM-8BL)

万能デジタル測定器はパソコンからの信号により(または、独立に)測定範囲の設定とFUNCTIONIONモードとしてDaily Check機能(CPUの

動作確認, ROM及びRAMチェック, 絶縁抵抗の測定), Initial計測機能, Measure機能等の設定及び実行が可能である。また, 測定データは万能デジタル測定器によりAD変換される。尚, あらかじめキーボード(3.5参照)から定数設定することにより測定電圧値に定数が掛けられ, ひずみ, 変位値等に変換され, 万能デジタル測定器から出力される。

万能デジタル測定器のパソコンへの測定データ転送形式を図3に示す。出力コードはASCIIコードを用いスキャナのBox番号, Point番号, 測定値, エラー番号, 測定点モード, 単位等を入力する。

表1 HP-85の仕様

	項 目	仕 様	
C P U	言 語	BASIC	
	記 憶 容 量	32Kバイト (RAM: 30.7Kバイト)	
C R T	スクリーン寸法	5インチ	
	分 解 能	192×256 ドット	
プ リ ン タ	印 字 方 式	ヘッド移動, 感熱式	
	月 紙 幅	108mm	
	印 字 速 度	120行/分	
	グラフィック解像度	2.63ドット/mm	
テ ー プ カ ー ト リ ッ ジ	容 量	デ ー タ	210Kバイト
		プ ロ グ ラ ム	195Kバイト
	リ ー ド / ラ イ ト 速 度	254mm/秒	
	サ ー チ 速 度	7,800バイト/秒	
	デ ー タ 転 送 速 度	650バイト/秒	

デルミタ(区切り)コードは,(コンマ)を用い、
転送キャラクタ数は27である。基本仕様を表2に
示す。

3.3 スキャナ(USB-50A)

スキャナの測定(配線)点数は50点/台とな
っており、最大20台までカスケード接続でき、最
大1000点まで測定可能である。スキャナには
Box番号設定用のデジタル・スイッチがあり、こ

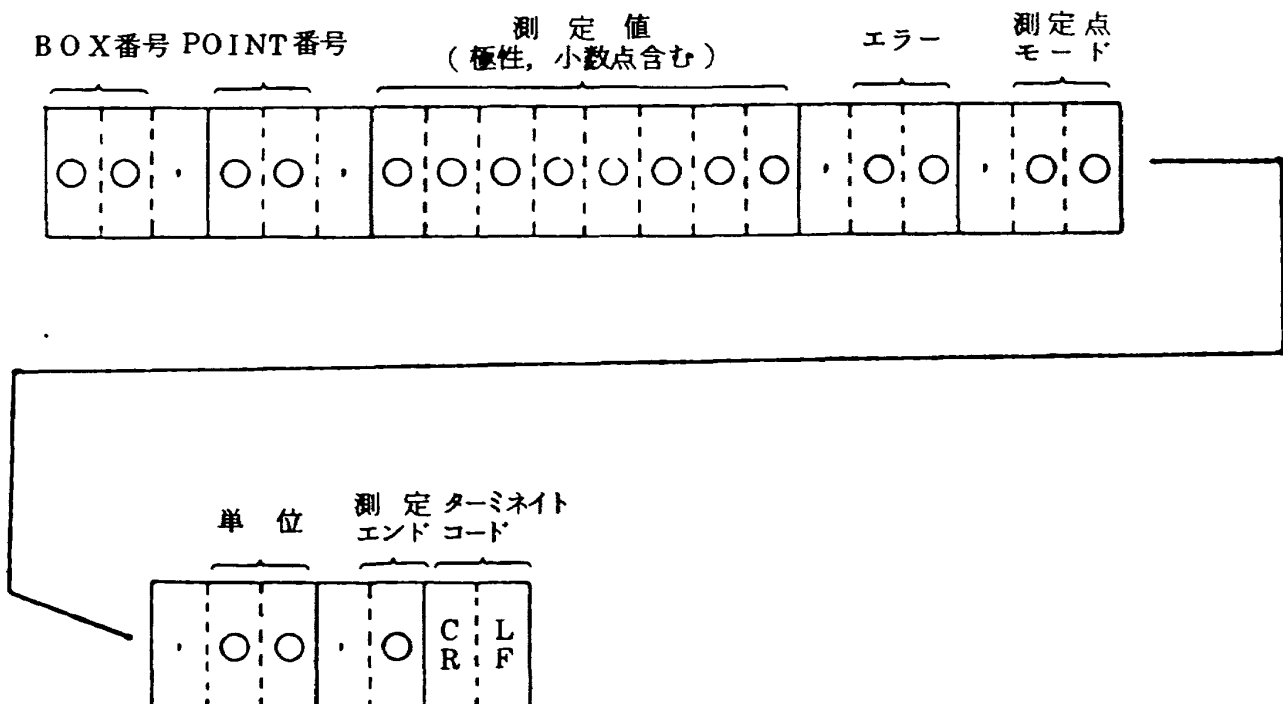


図3 測定データ転送形式

のスイッチにより Box 番号の設定を行う。各スキャナー・ボックスには 0～49 の Point 番号があり、計測は Box 番号順に、Point 番号の小さい順に実行される。各 Point 番号にはそこに接続されているセンサーに対応して表 3 に示すような測定点モードをデジタル・スイッチにより設定する。測定点モードはデジタル・スイッチが 1 の場合が共通のダミー・ゲージで、2 がアクティブ・ゲージ、7 が変位計、9 が荷重計となっている。

3.4 データ・レコーダ (P L O L I N E 1 0 0)

データ・レコーダは万能デジタル測定器により計測されたデータを磁気テープに記録する。記録コードとして ASCII コードを用い、テープ一巻に 20,000 点分のデータ記録が可能である。基本仕様を表 4 に示す。

3.5 キー・ボード (U K B - 5 0 A L)

キー・ボードは計測前に行う定数入力等に用い、

表 2 U C A M - 8 B L の仕様

サンプリング速度		ひ ず み	直流電圧
測 定 範 囲	0.1 秒/点 のとき	×1 レンジ 0～±10,000×10 ⁻⁶ ひずみ ×10 レンジ 0～±90,000×10 ⁻⁶ ひずみ (自動レンジ)	微小電圧 0～±32mV 多目的電圧 0～±8V
	0.2 秒/点 のとき	×1 レンジ 0～±35,000×10 ⁻⁶ ひずみ ×10 レンジ 0～±350,000×10 ⁻⁶ ひずみ (自動レンジ)	微小電圧 0～±40mV 多目的電圧 0～±10V

但し、0.1 秒/点で測定中上記範囲をこえる場合、測定は自動的に 0.2 秒/点となる。

表 3 測定点モード

測定点 モード (デジタル スイッチの 設定)	測 定 の モ ー ド			
	ひ ず み 測 定 (U S S - 1 0 *)		温 度 測 定 (U S T - 1 0 *)	
	ゲージ枚数	ゲ ー ジ 法	使用する熱電対	内部冷接点 補償
0	ス キ ッ プ			
1	1 ゲージ	共通ダミー	C A クロメル・アルメル	ON
2	1 ゲージ	アクティブ(ダミー共通)		OFF
3	1 ゲージ	アクティブ	C C 銅, コンスタタン	ON
4	2 ゲージ	アクティブ・ダミー		OFF
5	2 ゲージ	アクティブ・アクティブ	P R 白金, 白金ロジウム	ON
6	4 ゲージ	対辺アクティブ		OFF
7	4 ゲージ	フルブリッジ	(ア キ)	
8	微小電圧 0～±40mV			
9	多目的電圧 0～±10V			

* 10 点ユニットの型名

表4 PROLINE-100の仕様

項目	仕様
入力信号	万能デジタル測定器本体バスラインに接続
出力信号	データ・レコーダを駆動
ファイル構成	1ボリューム(カセットテープ1巻)マルチファイル
ファイルエンド	TAPE MARK 1個
リールエンド	TAPE MARK 2個
ファイル長	記録するデータにより可変長
ブロック長	固定長
ブロック長	2~256バイト
記録コード	ASCIIコード

直流電圧信号を適当な物理量として万能デジタル測定器に出力させる。また、データ・レコーダへのデータの出し入れ、コピーを行う。

4. ソフトウェア

本ソフトの特色としては、大量データを処理するため全センサーにゲージ番号を付けることにより出力されたひずみ、変位等がその場でどのセンサーの値で、構造物のどの位置にあるものかを認識できるようにした。また処理時間短縮のため、大きな圧縮引張りひずみの選択ルーチンでは、一度選択された場合、そのゲージは次の2番目以降の比較の対称からはずすよう工夫した。尚、実際の構造物の強度試験ではセンサーの種類、センサー数、リアルタイム図形処理データの種類等、各試験で異っている。そのため、各々の試験に適用可能な汎用性に優れた対話型システム制御プログラムが必要となる。また、段階的に破壊まで荷重を負荷する静強度試験では破壊荷重近くでも計測、処理中は構造物に荷重が負荷されているので各荷重段階での計測及びリアルタイム図形処理時間をできるだけ短くする必要がある。また、対話型システム制御プログラムは汎用性には優れているが、特に静強度試験ではキー入力等による誤操作は許されない。従って対話型システム制御プログラムを用いて予備的試験を行ない、その結果を基に予め決めることのできる設定値(例えば、割

込みキー・ルーチンのシーケンス、リアルタイム図形処理に於けるグラフのスケールリング等)をプログラム中に規定した各試験専用プログラムを作成し、実際の試験はこの専用プログラムにより行う。

ここでは、対話型システム制御プログラムについて説明し、次の適用例としてCFRP箱型構造模型の静強度試験計測プログラムについて述べ、最後にその試験のデータ整理のために作成した図形処理プログラムについて説明する。

4.1 対話型システム制御プログラム

本システムに用いた対話型システム制御プログラムの構成を図4に示す。プログラムがスタートすると、KEY#1からKEY#8の割込みキーの手前(KEY LABELS)でホールドされる。いずれかのキーを押すことによりそのルーチンを実行し、再び割込みキーの手前に戻り、次のキーが押されるまでホールドされる。キー番号の下のラベルはそのルーチン名である。本システム・ソフトの全体の流れを図5に示す。また、各ルーチンのフローチャートを図6から図9に示す。PRESET, UCA M以外のルーチンはHP-85附属の標準的プログラム⁹⁾を改良して対話型システム制御プログラムに組込んでいる。以下、各ルーチンについて解説する。尚、説明中“ ”はパソコンのキー・ボード入力を示す。

1) KEY # 1 (PRESET)

機能: スキャナーのBox, Point番号と測定点番号(以下、ゲージ番号と呼ぶ)との対応データを入力し、必要があればデータの修正を行う。

動作手順

- ① スキャナーのBox, Point番号とゲージ番号との対応データ・テープ^{※2}のファイル名を入力する。
入力形式 “英・数字6桁以内のファイル名”

※2 どのゲージ(または変位計, 荷重計等)がスキャナーの何番Box, 何番Pointとつながっているかの対応データで、予めデータ・テープとして作成しておく。

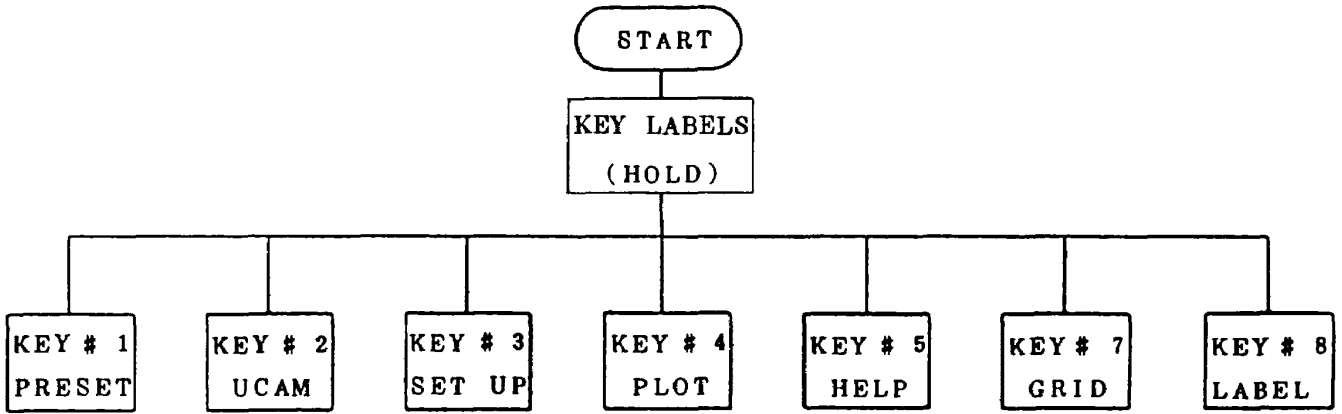
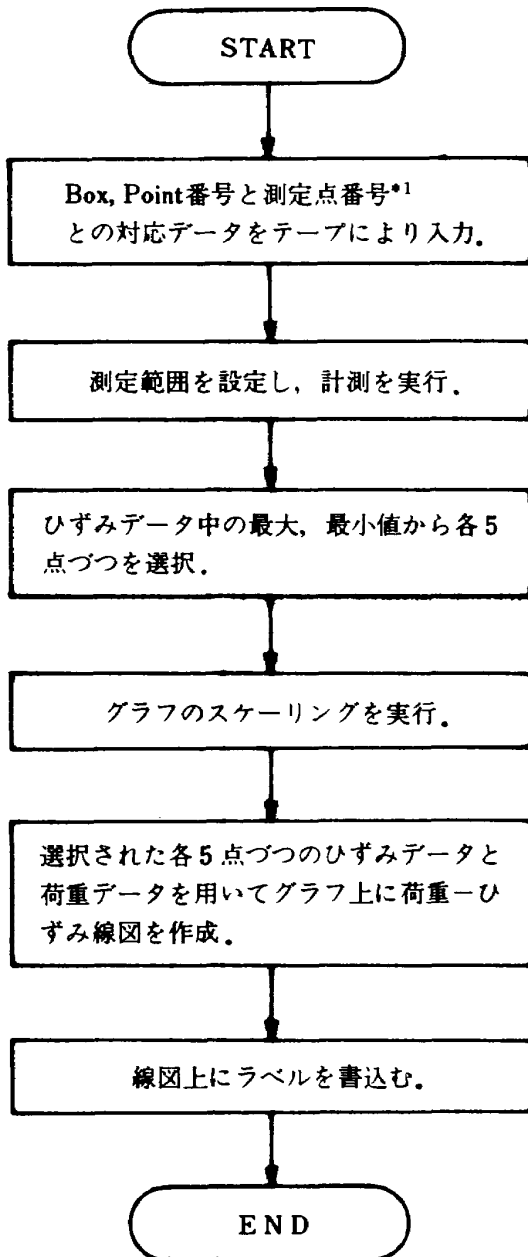


図4 対話型システム制御プログラムの構成



*1 ひずみゲージ、変位計、荷重計等の各センサーについて、その位置等を認識するための番号で、ユーザーが4桁以内の数字を用いて任意に設定可能

図5 対話型システム制御プログラムの流れ

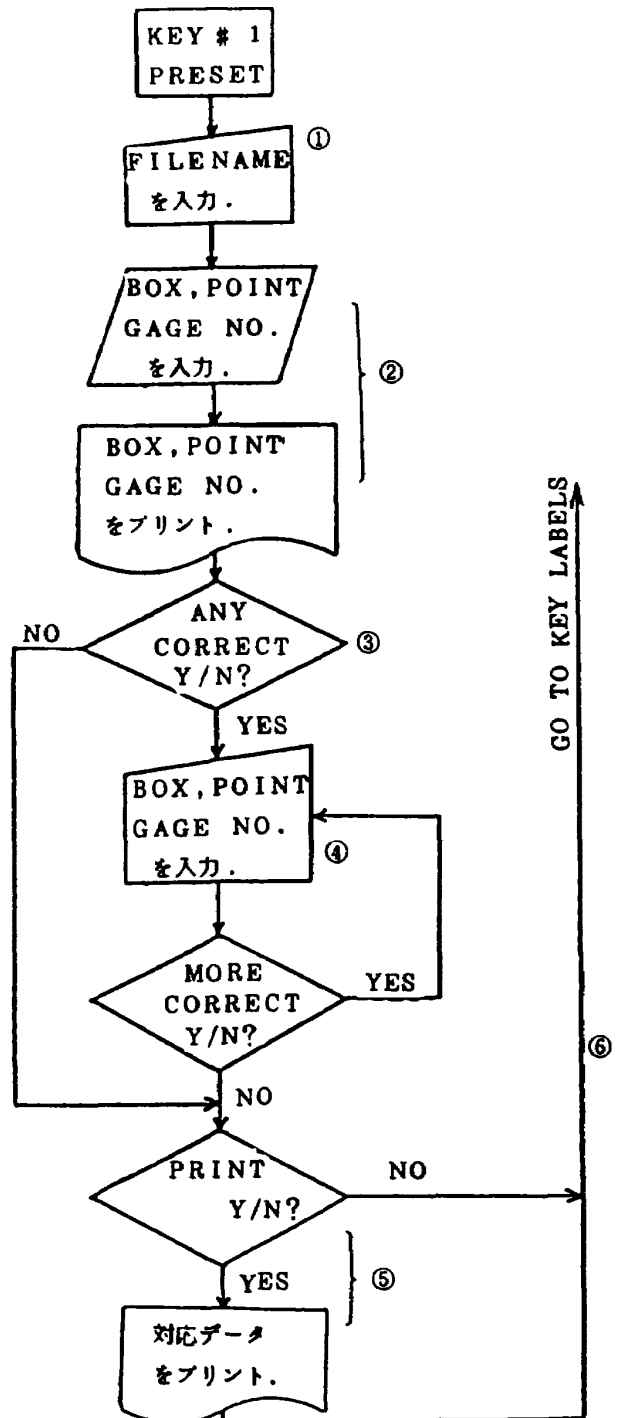


図6 KEY #1 "PRESET"

② スキャナーの Box, Point 番号とゲージ番号との対応データが入力され, プリントされる。

③ テープより入力された対応データに対し, 修正を実行するか否かの分岐。

“Y” → ④の修正ルーチンへ。

“N” → ⑤のプリント・ルーチンへ。

④ 対応データの修正を実行する。

Box, Point 番号及びゲージ番号を入力する。

入力形式 “Box番号, Point番号, ゲージ番号”

⑤ 修正後のデータをプリントする。

⑥ キー・ラベル(ホールド)状態へ戻る。

2) KEY#2 (UCAM)

機能: 測定範囲(スキャナーの Box, Point)の設定と計測を実行する。

動作手順

①, ②, ③ 測定範囲(スキャナーの Box, Point)を設定する。

①で表示される設定値を変更する場合は, ③のルーチンで以下の入力形式に従い入力する。

“開始 Box, Point番号, 最終 Box, Point番号。”

④ FUNCTIONモードの指定

FUNCTIONモードとしては“D”: Daily Check, “I”: Initial計測, “M”: Measureがある。

⑤ Daily Check を実行し, ④に戻る。

⑥, ⑦ Initial計測を実行する。

⑥に於て入力形式“6桁以内の英・数字”により指定したファイルに Initial計測結果を書き込む。Initial計測結果は以後の計測の零点として用いられる。

⑧~⑪ Measure(計測)を実行する。

⑧に於て入力形式“6桁以内の英・数字”により指定したファイルに計測結果を書き込む。図6では荷重, ひずみ, 変位のデータを想定し, ⑨計測番号, 荷重を計測してプリント, ⑩ひずみデータの圧縮と引張りの大きなものから各5点ずつを選択し, 値をプリント, ⑪変位データの計測, プリントの処理を行う。

⑫ キー・ラベル状態へ戻る。

3) KEY#3 (SET UP)

機能: グラフのスケールリングを実行する。(グラフィック画面が1つなので種類のグラフのみオン・ライン処理可能)

4) KEY#4 (PLOT)

機能: 計測結果をグラフ上にプロットする。

5) KEY#7 (GRID)

機能: グラフ上にグリッドを描く。

6) KEY#8 (LABEL)

機能: グラフの任意の位置に英・数字及び記号を書き込む。

7) KEY#5 (HELP)

機能: 各々の割込みキーの内容をCRT上に表示する。

実際の計測では図10に示す割込みキー手順を実行する。

4.2 CFRP箱型構造模型の静強度試験計測プログラム

本章では前章で解説したシステムの適用例として, CFRP箱型構造模型の静強度試験計測プログラムについて述べる。

実際の計測に於いては対話型システム制御プログラムを用いて予備的試験を行なうことにより, 予め決められることのできる設定値(例えば, 測定範囲, 割込みキー・ルーチンのシーケンス, データ処理に於けるグラフのスケールリング, ラベル等)をすべてプログラム中に規定しておき対話形式によるキー操作を極力少なくした専用プログラムを用いる。フローチャートを図11に示す。

本試験では, ひずみ372点, 変位19点, 荷重1点, ダミーゲージとして8点の計400点のデータを計測した。そして, ひずみ372点の中から引張りと圧縮の大きなもの各3点ずつの荷重-ひずみ線を描く図形処理を行ったが, 1回あたりの計測及び処理に要する時間は2分程度であった。その出力データの一例を図12に示す。

4.3 図形処理プログラム

CFRP箱型構造模型の静強度試験データ整理のための図形処理用プログラムとして,

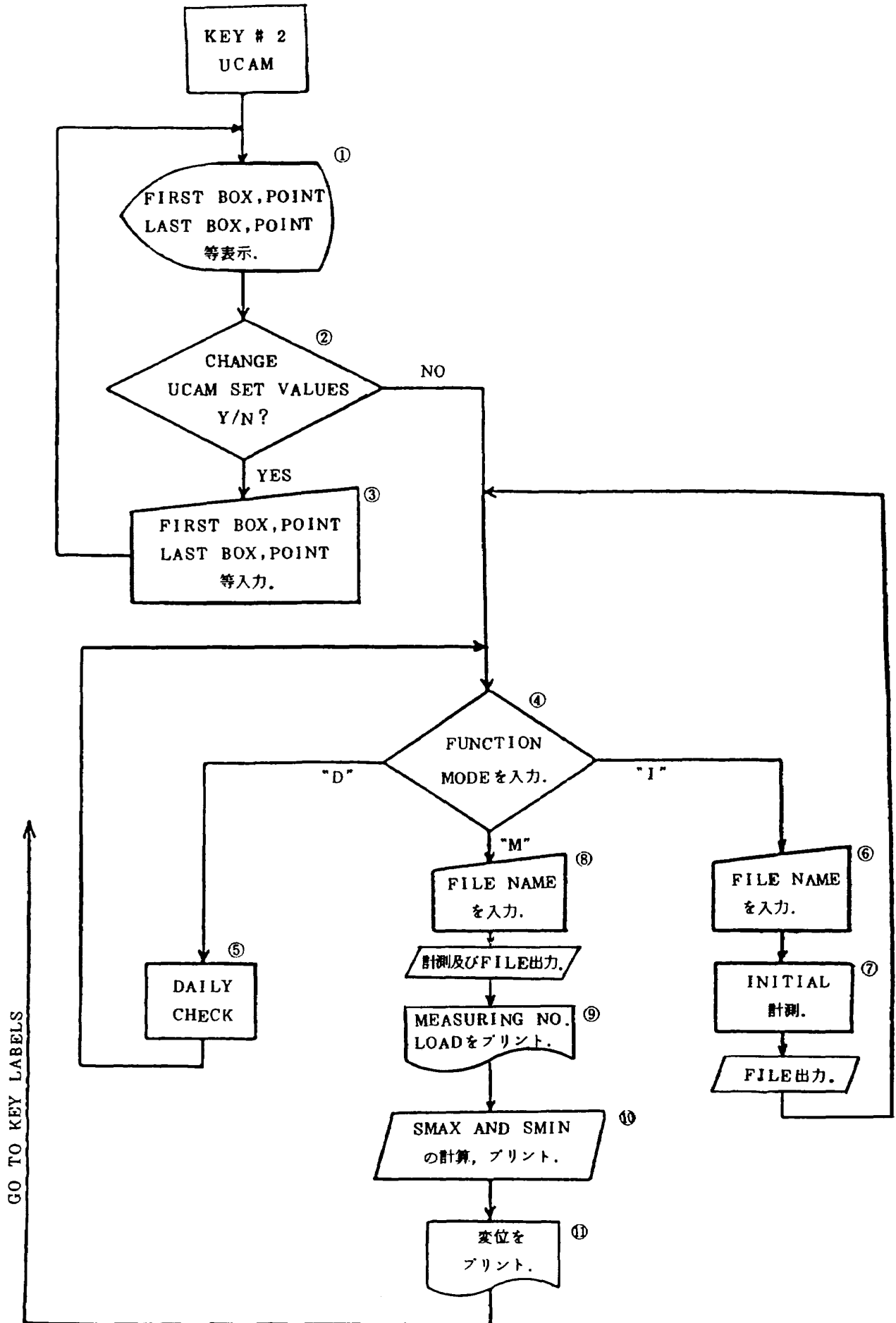


図7 KEY # 2 "UCAM"

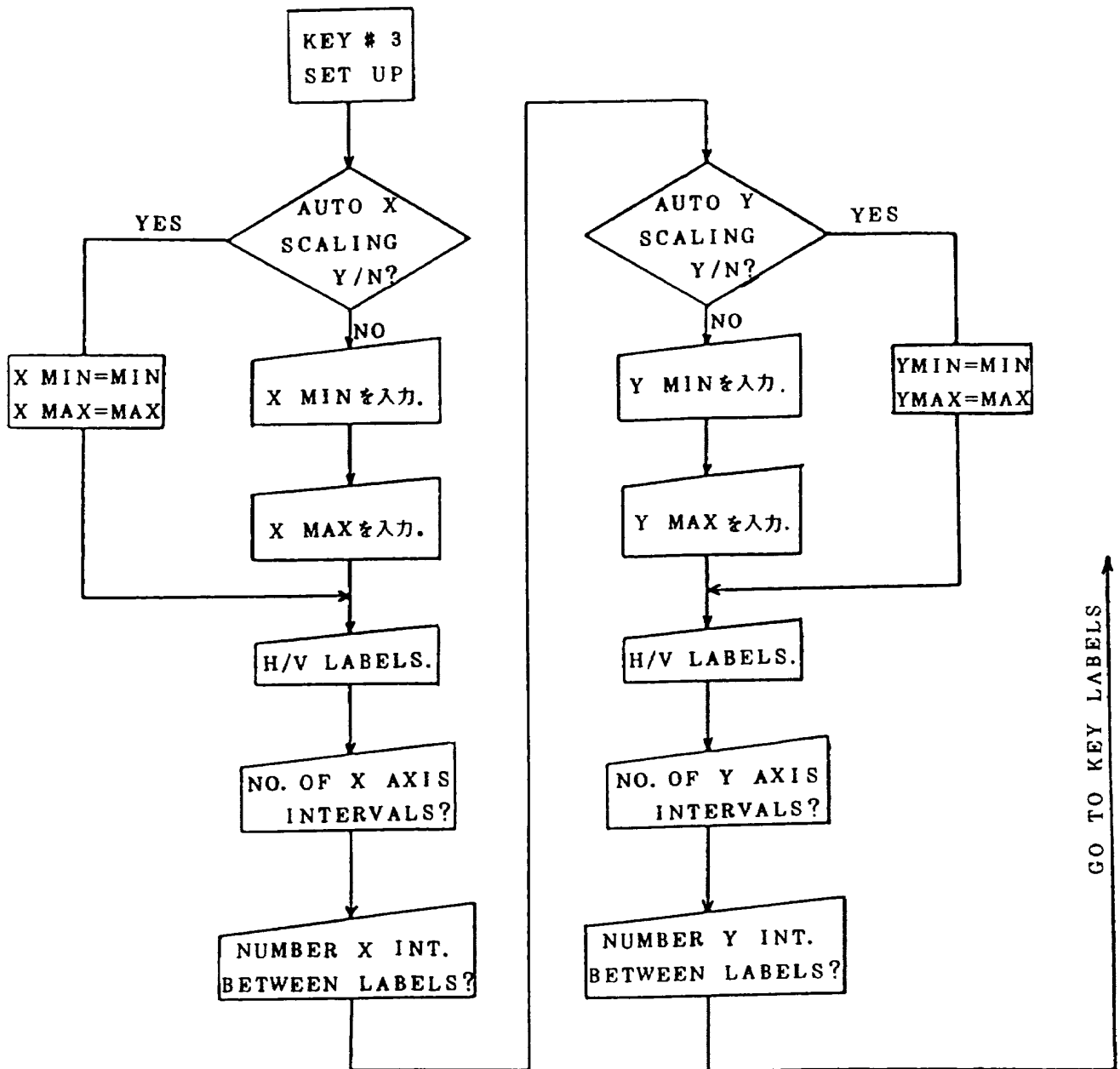


図8 KEY # 3 "SET UP"

1) 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図を描くプログラム

2) 変形を描くプログラム

3) 主ひずみ分布を描くプログラム

を作成したので概説する。各プログラムのフローチャートを図13から図15に示す。

1) 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図を描くプログラム(図13)。

機能: 模型の外板または桁フランジ部等の表裏の対応する位置に貼ってあるゲージのゲージ番号をキー入力することにより, 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図を描く。

動作手順:

① 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図を描きたいゲージ番号2個をキー入力する。

② CRT上にグラフのX, Y座標のスケールング, ラベルの書き込みが実行される。

③ $F=0$ と置く。

④ 全データをテープから読み込む。

⑤ データのファイル番号をプリントする。

⑥ ①で指定したゲージのひずみ値を読み込み, プリントする。

⑦ 面内, 曲げひずみを計算し, プリントする。

⑧ 面内, 曲げひずみのグラフを描く。

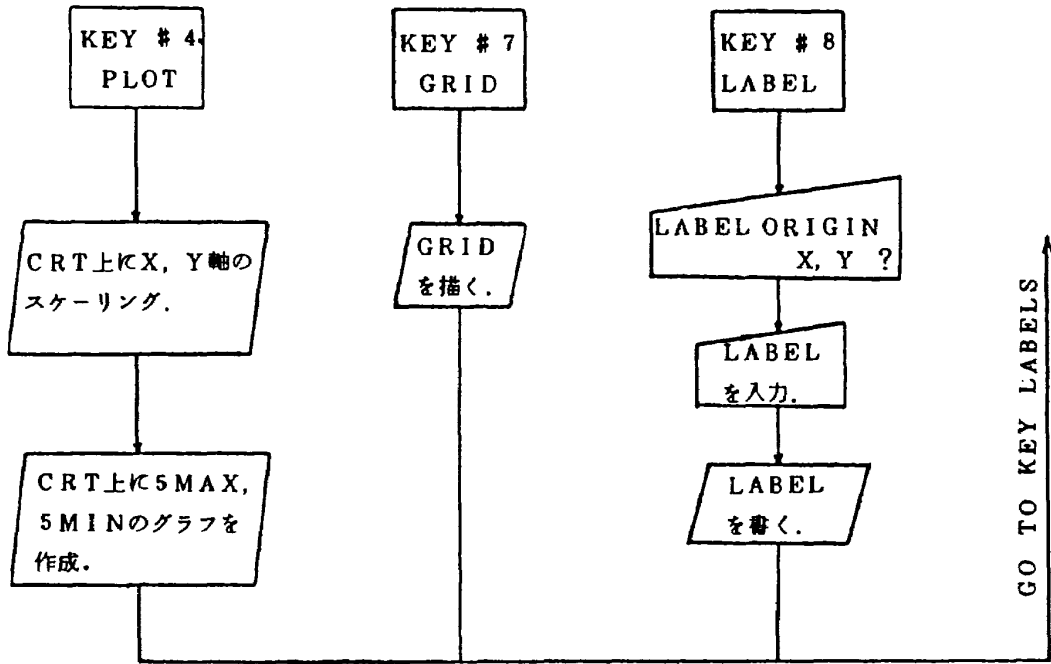


図9 KEY # 4, # 7, # 8

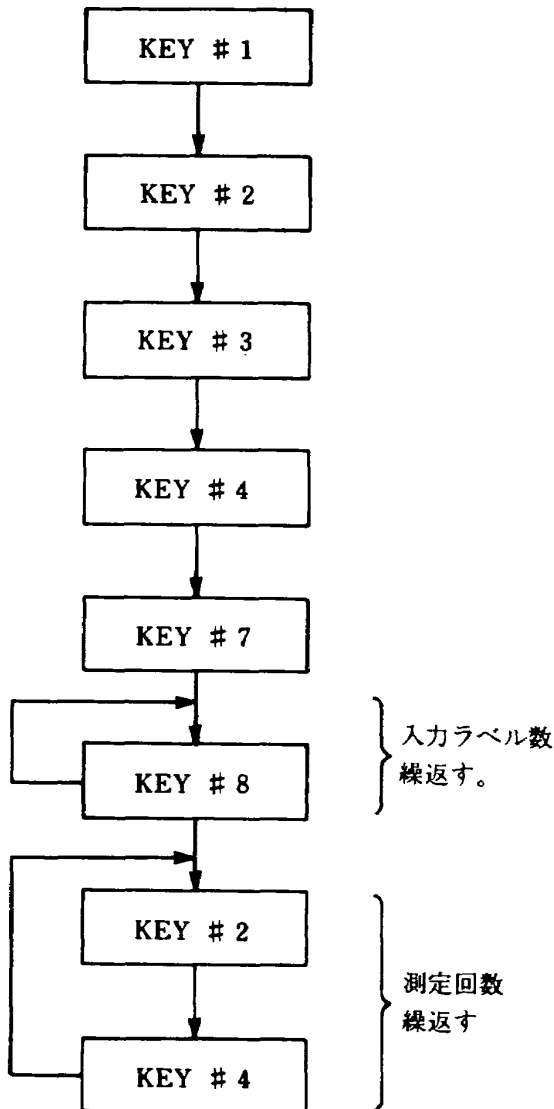


図10 割込みキー操作手順

- ⑨ F = F + 1 が実行される。
 - ⑩ F ≠ 9 の場合は⑤に飛び、このルーチンを F = 8 ※³ まで繰り返す。F = 9 の場合は⑪に進む。
 - ⑪ 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図をコピーする。
- 2) 変形を描くプログラム(図14-a)
- 機能: 変形状態を任意の倍率・視点で描く。
- ① 変形量の倍率を入力する。
 - ② 視点方向(図14-b)を入力する。
入力形式 "α, β, γ"
 - ③ ②で指定した角度に基づいて座標変換を行う。
 - ④ ラベルが書き込まれ、変形前の図形が②で入力された視点方向の投影図として、CRT上に実線で描かれる。
 - ⑤ 変形量の入っているデータ・テーブルを入力する。
 - ⑥ 変形後の図形を①で入力した変形倍率により破線で描く。
 - ⑦ コピーする。
- 3) 主ひずみ分布を描くプログラム(図15)

※3 Fはデータ・ファイル数であり、一荷重下でのデータは1ファイルに対応している。ここでは8段階の荷重データがテーブルに記録されている。

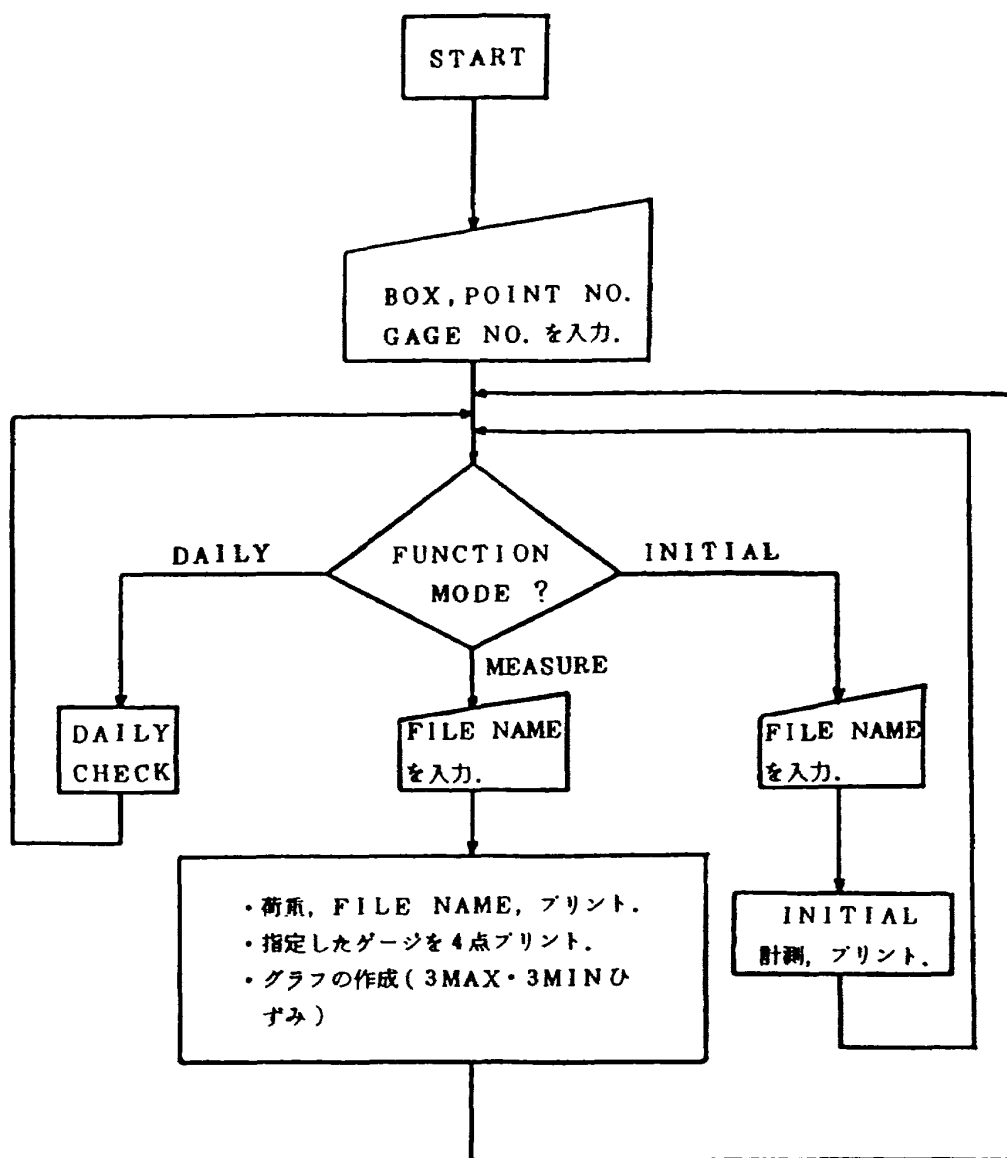


図 1 1 CERP箱型構造模型の静強度試験計測プログラム

機能：ひずみデータから主ひずみの大きさと方向を計算し、横型の展開図のゲージ位置に矢印（逆矢印）を用いて主ひずみ分布を描く。矢印（逆矢印）の大きさは主ひずみの大きさに対応しており、方向は主ひずみ方向に対応している。

動作手順

- ① ひずみ 1000μ をどれくらいの長さにするかを入力する。
- ② 矢印の先端部分の長さを入力する。
- ③ 上面外板, 下面外板, 前桁及び後桁の中からどの部分についての主ひずみ分布を描くかを選択する。
- ④ ③で選択した部分の表側か裏側かを選択する。

- ⑤ ゲージの貼ってある位置のデータを読み込む。
- ⑥ ゲージ番号とひずみ値を読み込む。
- ⑦ ③と④で選択した部分の展開図を描く。
- ⑧ ⑦で描いた展開図上に、各ゲージ位置に対応した場所に矢印（逆矢印）を用いて主ひずみ分布を描く。

上記、図形処理プログラムの出力例を図 1 6 から図 1 8 にプログラムを付録 1 から付録 3 に示す。図 1 7, 1 8 は X-Yプロッタに描かせたものである。図 1 8 に於いて \leftrightarrow 印は引張りひずみを \rightarrow 印は圧縮ひずみを表わす。尚、これらの図形処理はパソコンにより編集したデータ・テープを用いて行っている。

FILE NO: 171325 ----- ファイル番号
 DATE 1982-10-16 }
 TIME 13:57 ----- 日・時

*** UCAM END ***

Place	Bo-Po	Gage	Strain(μ)	
Up.SK.	02-25	6281	3377	} 指定したゲージ番号 とひずみ値
Fr.SP.	05-02	5342	-1306	
Re.SP.	02-08	6202	-2767	
Lo.SK.	01-08	6021	-5358	

[3 MAX AND 3 MIN DATA]

MEASURING NO: 12 ----- 測定回数
 LOAD: 24992 Newton --- 荷重

No	Bo-Po	Gage	Strain(μ)	
1	03-15	6491	4021	} 引張り, 圧縮ひずみの 大きなものから各3点 づつのゲージ番号と ひずみ値
-1	01-08	6021	-5358	
2	03-41	614	3878	
-2	03-32	602	-4643	
3	06-47	306	3540	
-3	06-11	3111	-4524	

Bo-Po	D-Ge	Disp.(mm)	
08-31	DG01	-26.55	} ダイヤルゲージの 番号と変位
08-32	DG02	-28.25	
08-33	DG03	-14.08	
08-34	DG04	-16.60	
08-35	DG05	-3.84	
08-36	DG06	-2.74	
08-37	DG07	-20.63	
08-38	DG08	-22.95	
08-39	DG09	-5.83	
08-40	DG10	-10.57	
08-41	DG11	.45	
08-42	DG12	.22	
08-43	DG13	-27.73	
08-44	DG14	-21.73	
08-45	DG15	-18.33	
08-46	DG16	-15.51	
08-47	DG17	-8.99	
08-48	DG18	-3.35	
08-49	DG19	.26	

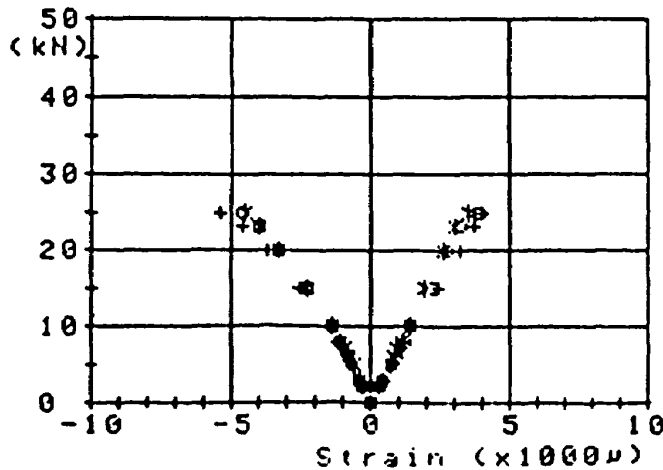


図12 パソコン出力の一例

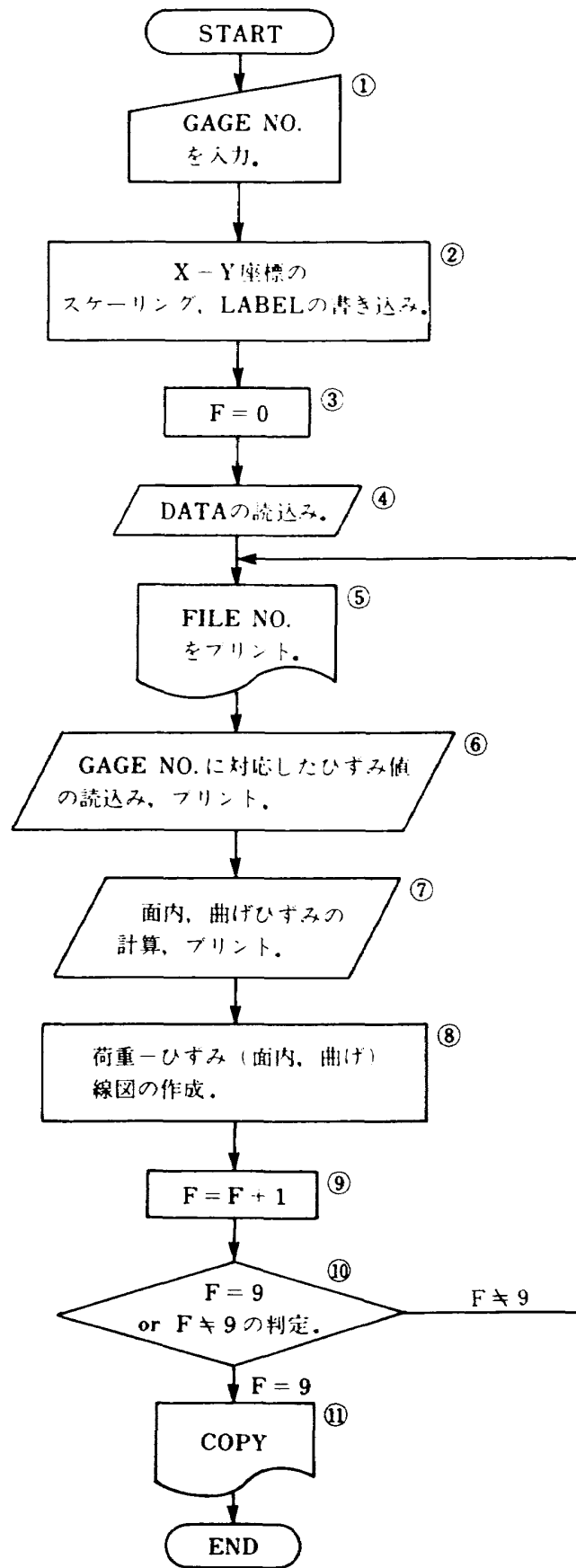


図13 荷重-ひずみ(面内、曲げ)線図

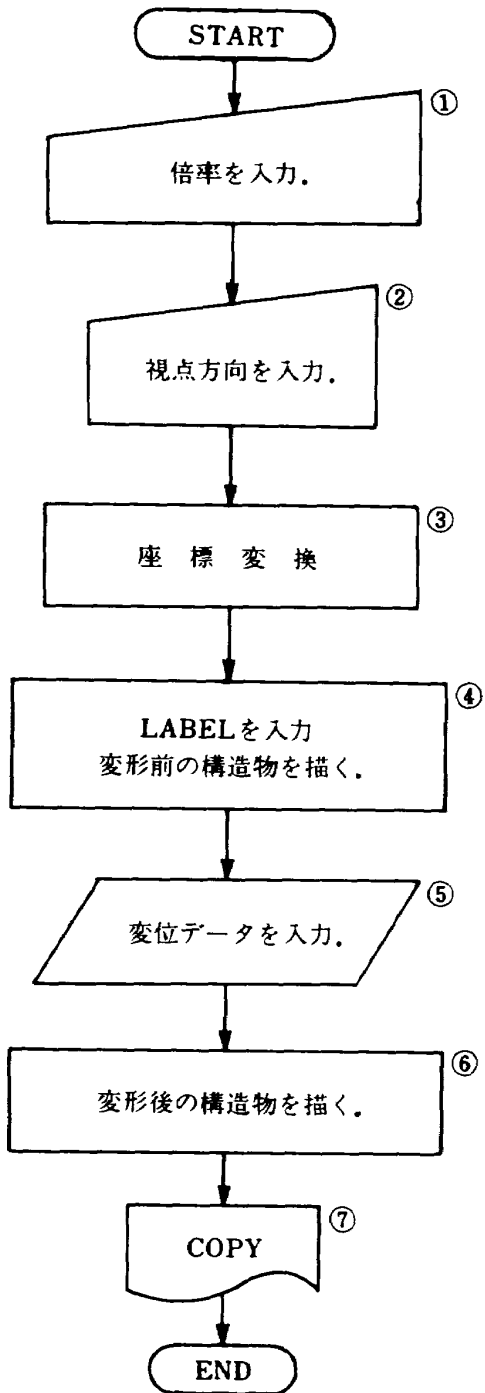


図14-a 変形を描くプログラム

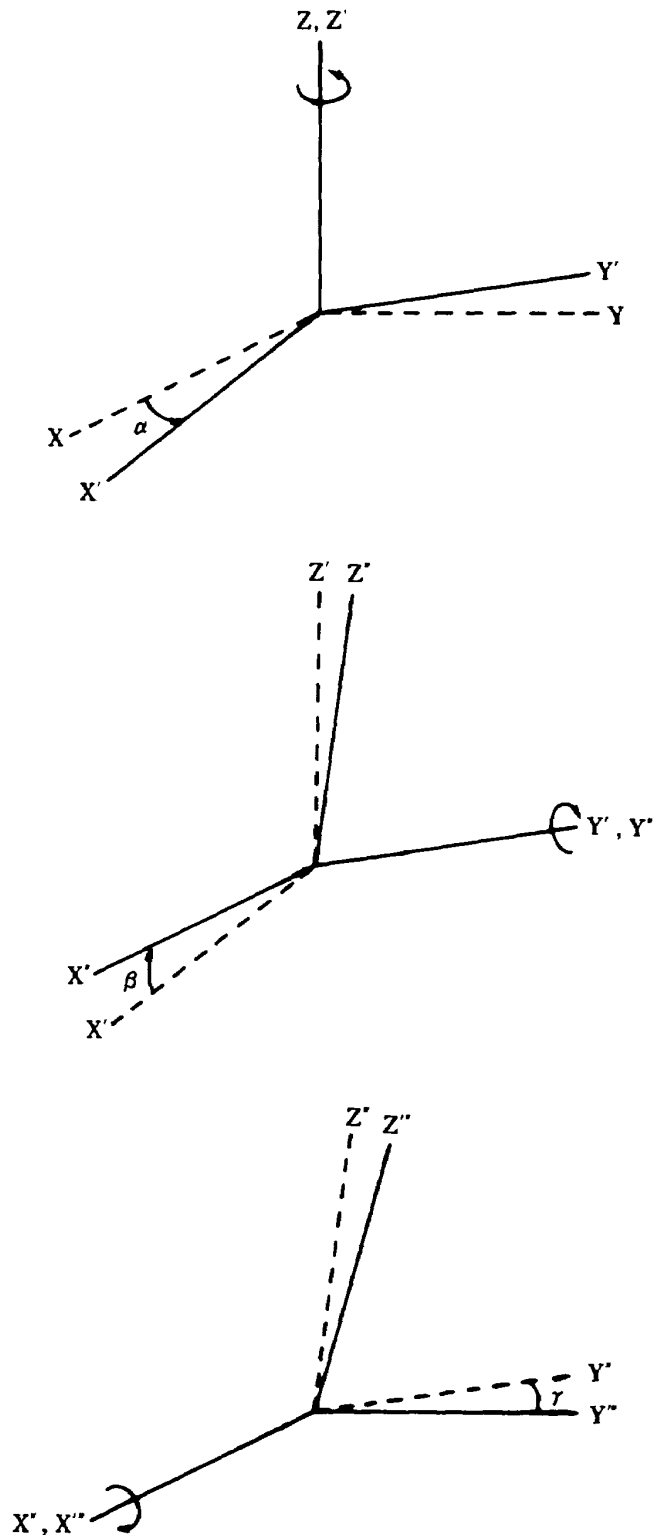


図14-b 視点方向 (α, β, γ)

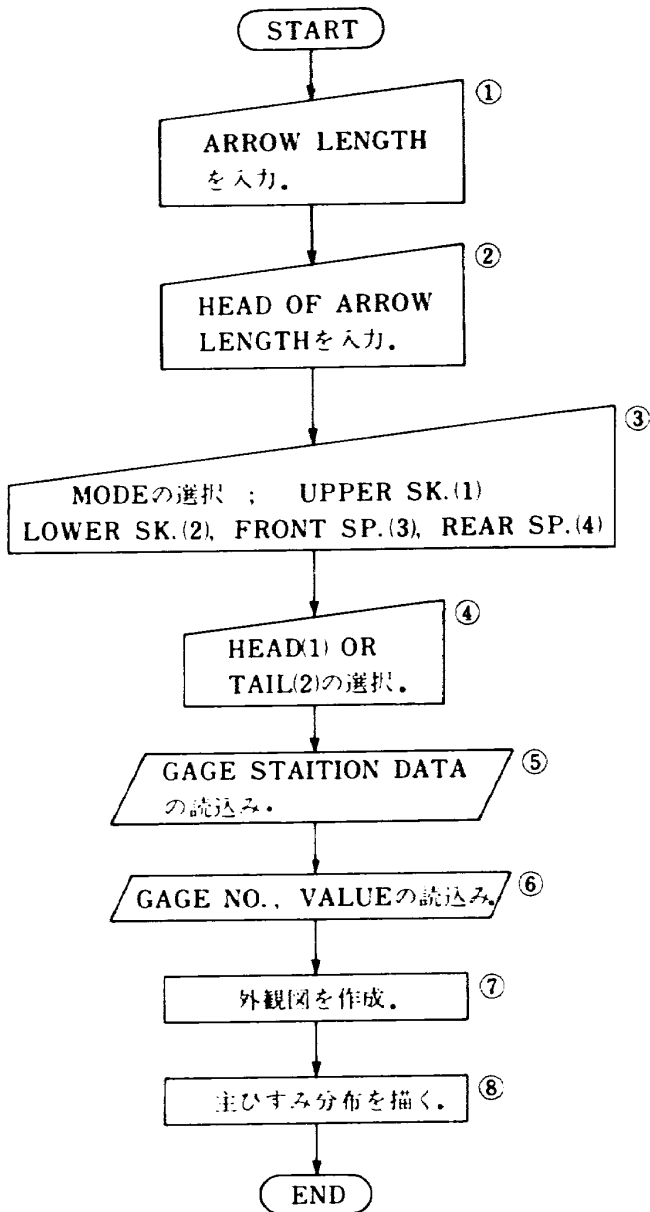


図15 主ひずみ分布を描くプログラム

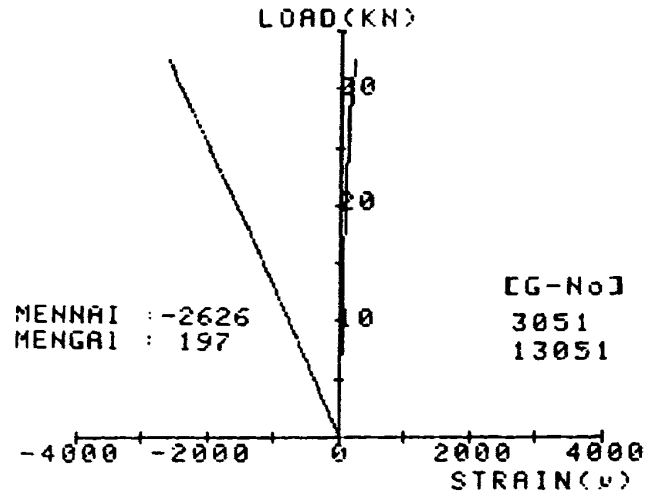


図16 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図

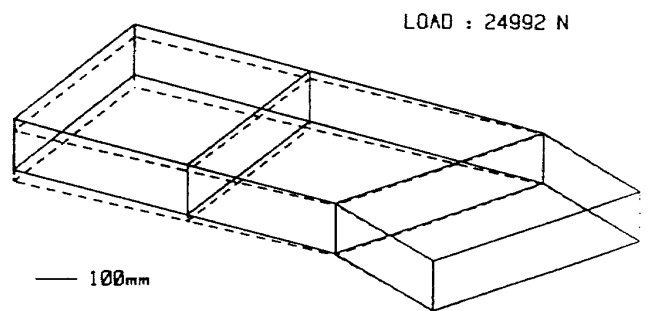


図17 変形後のCFRP模型

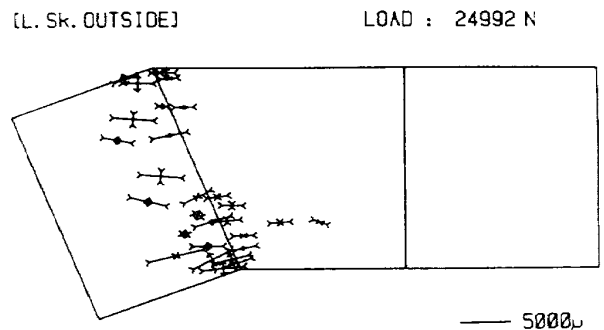


図18 ひずみ分布

5. おわりに

本システムにより、構造物の静強度試験中に於ける図形処理化されたひずみデータ等を基に破壊荷重の予測、大まかな破損状況の把握が可能となった。そのため、試験中に於ける荷重ステップ幅の変更が可能となり、良好な試験データを取得できるようになった。

本システムを用いてCFRP箱型構造模型及びCFRP尾翼構造模型の強度試験、さらに風車翼の強度試験について計測・処理を行った。CFRP箱型構造模型の静強度試験では400点のデータを計測し、図12に示す処理を行うのに2分程度であった。図形処理の内容等一部変更したCFRP尾翼構造模型では500点の計測・処理に約2分30秒、風車翼は200点で1分30秒程度であった。

尚、本システムはひずみ・変位等の直流電圧に変換可能な物理量に対してセンサー数1000点まで使用可能であり、システム全体を試験する場所へ移動して計測及びリアルタイム図形処理を行うことができる。

最後に、システム作成に際して御高配賜った当所機体第二部の多田保夫部長及び機体第一部の小野幸一複合材構造研究室長に謝意を表す。

参考文献

- 1) 岩崎, 木部; 第26回構造強度に関する講演会講演集, (1984.7) p.348.
- 2) 小野, 多田; 第26回構造強度に関する講演会講演集, (1984.7) p.352.
- 3) 機体第一部, 機体第二部; 風車翼の強度試験(I), 航技研資料TM-537, (1984.10).
- 4) HP-85 使用説明書, 横河ヒューレットパッカート^株.
- 5) 万能デジタル測定器(UCAM-8AL/8BL型用)取扱説明書, ^株共和電業.
- 6) スキャナー(USB-20A/50A型用)取扱説明書, ^株共和電業.
- 7) デジタル・カセット(PRLINE-100)取扱説明書, ティアック.
- 8) キー・ボード(UKB-50AL型用)取扱説明書, ^株共和電業.
- 9) "DPLOT", 横河ヒューレットパッカート^株.

付録1 荷重-ひずみ(面内, 曲げ)線図を描くプログラム

```

10 OPTION BASE 1
20 ! DISP"STRNC7"
30 DIM F$(6),G$(6),H$(6)
40 DIM I$(6),J$(6),K$(6)
50 DIM L$(6),M$(6),N$(6)
60 SHORT G0(500),M0(500),I1(2)
90 SHORT E1(2),O1(2),G1(3)
100 SHORT A0(282),G2(282),G3(282)
)
110 SHORT A1(282),M2(282),M3(282)
)
120 SHORT G4(282),G5(282),G6(282)
)
130 SHORT M4(282),M5(282),M6(282)
)
140 SHORT G7(282),G8(282),G9(282)
)
150 SHORT M7(282),M8(282),M9(282)
)
160 H1=0
170 DISP "Rosette Gage Only"
180 DISP "INPUT G-No"
190 DISP " XXXXX,XXXXX "
200 BEEP @ INPUT G1,G2
210 GCLEAR
220 SCALE -5000,5000,-5000,38000
230 XAXIS 0,1000,-4000,4000
240 YAXIS 0,5000,0,35000
250 LOIR 0
260 MOVE -4000,-2400
270 LABEL "-4000"
280 MOVE -2000,-2400
290 LABEL "-2000"
300 MOVE -66,-2400
310 LABEL "0"
320 MOVE 1500,-2400
330 LABEL "2000"
340 MOVE 3500,-2400
350 LABEL "4000"
360 MOVE 1800,-4700
370 LABEL "STRAIN(μ)"
380 MOVE 30,9500
390 LABEL "10"
400 MOVE 30,19500
410 LABEL "20"
420 MOVE 30,29500
430 LABEL "30"
440 MOVE -1230,35300
450 LABEL "LOAD(KN)"
460 MOVE 2550,12000
470 LABEL "IG-NoJ"
480 MOVE 2700,9000
490 LABEL VAL$(G1)
500 MOVE 2700,6500
510 LABEL VAL$(G2)
540 LI=0
550 FOR I=1 TO 2
560 Q1(I)=0 @ Q2(I)=0
570 NEXT I
580 F$="300304" @ G$="300410"
590 H$="300515" @ I$="300620"
600 J$="300722" @ K$="300825"
610 L$="300927" @ M$="301030"
620 N$="301132" @ O$="300304"
630 DEG
640 H=0
650 F=0
660 IF H1=1 THEN 1090
670 IF F=1 THEN F$=G$
680 IF F=2 THEN F$=H$
690 IF F=3 THEN F$=I$
700 IF F=4 THEN F$=J$
710 IF F=5 THEN F$=K$
720 IF F=6 THEN F$=L$
730 IF F=7 THEN F$=M$
740 IF F=8 THEN F$=N$
750 ON ERROR GOTO 740
760 ASSIGN# 1 TO F$
770 READ# 1 ; G0(),M0()
780 ASSIGN# 1 TO *
790 OFF ERROR
800 P(F+1)=M0(I)
810 IF F#0 THEN 870
820 FOR I=190 TO 471
830 J=I-189
840 A0(J)=G0(I)
850 A1(J)=M0(I)
860 NEXT I
870 FOR I=190 TO 471
880 J=I-189
890 IF F=1 THEN G2(J)=G0(I)
900 IF F=1 THEN M2(J)=M0(I)
910 IF F=2 THEN G3(J)=G0(I)
920 IF F=2 THEN M3(J)=M0(I)
930 IF F=3 THEN G4(J)=G0(I)
940 IF F=3 THEN M4(J)=M0(I)
950 IF F=4 THEN G5(J)=G0(I)
960 IF F=4 THEN M5(J)=M0(I)
970 IF F=5 THEN G6(J)=G0(I)
980 IF F=5 THEN M6(J)=M0(I)
990 IF F=6 THEN G7(J)=G0(I)
1000 IF F=6 THEN M7(J)=M0(I)
1010 IF F=7 THEN G8(J)=G0(I)
1020 IF F=7 THEN M8(J)=M0(I)
1030 IF F=8 THEN G9(J)=G0(I)
1040 IF F=8 THEN M9(J)=M0(I)
1050 NEXT I
1060 F=F+1
1070 IF F=9 THEN 1090
1080 GOTO 670
1090 F=0
1100 FOR I=1 TO 282
1110 J=I+189
1120 IF F#0 THEN 1140
1130 G0(J)=A0(I) @ M0(J)=A1(I)
1140 IF F=1 THEN G0(J)=G2(I)
1150 IF F=1 THEN M0(J)=M2(I)
1160 IF F=2 THEN G0(J)=G3(I)
1170 IF F=2 THEN M0(J)=M3(I)
1180 IF F=3 THEN G0(J)=G4(I)
1190 IF F=3 THEN M0(J)=M4(I)
1200 IF F=4 THEN G0(J)=G5(I)
1210 IF F=4 THEN M0(J)=M5(I)
1220 IF F=5 THEN G0(J)=G6(I)
1230 IF F=5 THEN M0(J)=M6(I)
1240 IF F=6 THEN G0(J)=G7(I)
1250 IF F=6 THEN M0(J)=M7(I)
1260 IF F=7 THEN G0(J)=G8(I)
1270 IF F=7 THEN M0(J)=M8(I)
1280 IF F=8 THEN G0(J)=G9(I)
1290 IF F=8 THEN M0(J)=M9(I)
1300 NEXT I
1310 IF F=0 THEN F$=O$
1320 IF F=1 THEN F$=G$
1330 IF F=2 THEN F$=H$
1340 IF F=3 THEN F$=I$

```

```

1350 IF F=4 THEN F$=J$
1360 IF F=5 THEN F$=K$
1370 IF F=6 THEN F$=L$
1380 IF F=7 THEN F$=M$
1390 IF F=8 THEN F$=N$
1400 PRINT "F$ : ",F$
1410 G1(1)=G1 @ G1(2)=G2
1420 FOR I=190 TO 471
1430 IF G1(1)=G0(I) THEN 1440 EL
SE 1450
1440 I1(1)=I @ GOTO 1490
1450 IF G1(2)=G0(I) THEN 1460 EL
SE 1490
1460 I1(2)=I
1490 NEXT I
1530 FOR J=1 TO 2
1540 PRINT "E1( ";J; ")=";M0(I1(J)
)
1550 NEXT J
1552 E1(1)=IP((M0(I1(1))+M0(I1(2)
))) / 2)
1554 E1(2)=IP((M0(I1(1))-M0(I1(2)
))) / 2)
1556 PRINT "MENNAI :";E1(1)
1558 PRINT "MENGAI :";E1(2)
1560 M5=P(F+1)
1570 FOR I=1 TO 2
1580 MOVE Q1(I),L1
1590 DRAW E1(I),M5
1600 Q1(I)=E1(I)
1610 NEXT I
1620 L1=P(F+1)
1630 PRINT
1640 H=1
1650 F=F+1
1660 IF F=9 THEN 1680
1670 GOTO 1100
1680 COPY
1690 H1=1 @ GOTO 170
1700 END

```

付録2 変形を描くプログラム

```

10 OPTION BASE 1
20 ! DISP "DISP-2"
30 DIM X(50),Y(50),Z(50),X1(50)
,Y1(50),Z1(50),D(50),T(3,3),
Q(50),R(50),M(50)
40 SHORT G0(200),M0(200)
50 DIM F1(50),F2(50),F(50),K(50)
)
60 DIM A1(50),A2(50),A(50)
70 DIM F$(63)
80 DEG
85 PLOTTER IS 705
90 H=0
100 SCALE -56,200,-142,50
110 DISP "ENTER RATIO OF DISP."
120 INPUT R
130! DISP "NUMBER OF NODES ?"
140 N=18
150 FOR I=1 TO N
160 READ X(I),Y(I),Z(I)
170 NEXT I
180 DATA 90,0,24,0,0,24,90,75,24
,0,75,24,90,138,24,0,175,24,
45,0,24,90,0,0
190 DATA 0,0,0,90,75,0,0,75,0,90
,138,0,0,175,0,45,0,0
200 DATA 113,193,0,24,231,0,24,2
31,24,113,193,24
210! DISP "NUMBER OF MEMBERS ?"
220 N1=34
230 DISP "ORDER OF DRAWING & M O
R D "
240 FOR I=1 TO N1
250 READ Q(I),R(I)
260 NEXT I
270 DATA 9,-1,14,1,8,1,1,1,7,1,2
,1,9,1,11,1,10,1,3,1,4,1
280 DATA 11,1,13,1,12,1
290 DATA 5,1,6,1,13,1,16,1,15,1,
18,1,17,1,16,1,17,-1,6,1,4,1
300 DATA 2,1,1,-1,3,1,5,1,18,1,1
5,-1,12,1,10,1,8,1
310 FOR I=1 TO N1
320 READ A(I)
330 NEXT I
340 DATA 1,-1,-1,-1,1,1,1,1,-1,-
1,1,1,1,-1,-1,1,1
350 DATA 1,-1,-1,1,1,1,-1,-1,-1,
1,1,1,1,1,-1,-1,-1
360 INPUT A,B,G
370 C1=COS(A)
380 C2=COS(B)
390 C3=COS(G)
400 S1=SIN(A)
410 S2=SIN(B)
420 S3=SIN(G)
430 T(1,1)=C2*C1
440 T(1,2)=C2*S1
450 T(1,3)=S2
460 T(2,1)=-C3*S1+S3*S2*C1
470 T(2,2)=C3*C1+S3*S2*S1
480 T(2,3)=-S3*C2
490 T(3,1)=-S3*S1-C3*S2*C1
500 T(3,2)=S3*C1-C3*S2*S1
510 T(3,3)=C3*C2
520 FOR I=1 TO N
530 X1(I)=T(1,1)*X(I)+T(1,2)*Y(I)
+T(1,3)*Z(I)
540 Y1(I)=T(2,1)*X(I)+T(2,2)*Y(I)
+T(2,3)*Z(I)
550 Z1(I)=T(3,1)*X(I)+T(3,2)*Y(I)
+T(3,3)*Z(I)
560 NEXT I
570 IF H=1 THEN 930
575 PEN 2
576 CSIZE 6
580 FRAME
581 MOVE 100,20
582 LABEL "LOAD "
585 MOVE 157,20
586 LABEL "N"
590 FOR I=1 TO N1
600 IF R(I)=-1 THEN 630
610 DRAW Y1(Q(I)),Z1(Q(I))
620 GOTO 640
630 MOVE Y1(Q(I)),Z1(Q(I))
640 NEXT I
650 WAIT 1000
660 COPY
670 DISP "GCLEAR Y/N"

```

```

680 INPUT A$
690 IF A$="N" THEN 710
700 GCLEAR
710 M=7
720 DISP "ENTER DISP. DATA TAPE"
730 BEEP @ INPUT F$
740 ON ERROR GOTO 720
750 ASSIGN# 1 TO F$
760 REHD# 1 ; G0(),M0()
770 ASSIGN# 1 TO *
780 OFF ERROR
790 FOR I=1 TO 6
800 M(I)=M0(I+181)
810 NEXT I
820 M(7)=M0(194)
830 FOR I=8 TO 14
840 M(I)=M(I-7)
850 NEXT I
860 FOR I=1 TO 14
870 Z(I)=Z(I)+M(I)*R/4.73
880 NEXT I
883 MOVE 130,20
884 LABEL VAL$(M0(1))
890 H=1
900 DISP "ENTER ----- C"
910 INPUT C
912 MOVE -30,-120
913 DRAW -30+370/24XR,-120
914 MOVE -30+370/24XR,-122.5
916 LABEL "100mm"
920 GOTO 360
930 FOR I=1 TO N1
940 IF I=1 THEN 990
950 F1(I)=(Y1(Q(I))-Y1(Q(I-1)))^
    2 @ F2(I)=(Z1(Q(I))-Z1(Q(I-1)
    ))^2
960 F(I)=SQR(F1(I)+F2(I)) DIV C
970 K(I)=(Z1(Q(I))-Z1(Q(I-1)))^2
    Y1(Q(I))-Y1(Q(I-1)))
980 K(I)=ATN(K(I)) @ A1(I)=C*COS
    (K(I)) @ A2(I)=C*SIN(K(I))
990 IF R(I)=-1 THEN 1190
1000 FOR M=1 TO F(I)
1010 M1=M/2 @ M1=FP(M1)
1020 IF A(I)=-1 THEN 1100
1030 IF M1#0 THEN 1060
1040 DRAW Y1(Q(I-1))+M*A1(I),Z1(
    Q(I-1))+M*A2(I)
1050 GOTO 1160
1060 MOVE Y1(Q(I-1))+M*A1(I),Z1(
    Q(I-1))+M*A2(I)
1070 IF M#F(I) THEN 1090
1080 DRAW Y1(Q(I)),Z1(Q(I))
1090 GOTO 1160
1100 IF M1#0 THEN 1130
1110 DRAW Y1(Q(I-1))-M*A1(I),Z1(
    Q(I-1))-M*A2(I)
1120 GOTO 1160
1130 MOVE Y1(Q(I-1))-M*A1(I),Z1(
    Q(I-1))-M*A2(I)
1140 IF M#F(I) THEN 1160
1150 DRAW Y1(Q(I)),Z1(Q(I))
1160 NEXT M
1170 M=M+1
1180 IF M<=F(I) THEN 1120
1190 MOVE Y1(Q(I)),Z1(Q(I))
1200 NEXT I
1210 WAIT 1000
1220 COPY
1225 PEN 0
1230 END

```

付録3 主ひずみ分布を描くプログラム

```

10 OPTION BASE
20 REM **STRAIN DISTRIBUTION**
30 DIM F$(6)
40 SHORT X(200),Y(200),G0(200)
50 SHORT M0(200),A1(200),S1(200)
    ,A2(200),S2(200)
60 SHORT A3(200),S3(200)
70 DEG
75 PLOTTER IS 705
80 SCALE 0,1360 0,1020
90 B=0
100 IF B> 5 THEN 150
110 DISP "INPUT ARROW LENGTH /10
    00u"
120 INPUT L1@ L3=L1/2000
130 DISP "INPUT HEAD OF ARROW LE
    NGTH"
140 INPUT L2
150 DISP "INPUT MODE;UPPER SK(1)
    ,LOWER SK(2),FRONT SP(3),REA
    R SP(4)"
160 INPUT M
170 DISP "HEAD(1) OR TAIL(2)"
180 INPUT S
190 IF S=2 THEN 200 ELSE 220
200 CLEAR @ DISP "Don't enter da
    ta"
210 GOTO 110
220 IF B>.5 THEN 410
230 GCLEAR
240 DISP "READING OF DATA X,Y"
250 FOR I=3 TO 165 STEP 3
260 READ X(I),Y(I)
270 NEXT I
280 DATA 210,-50,270,-186,324,-3
    06,242,-4,296,-130,342,-256
290 DATA 225.83,251.75,300,24,31
    4,-40,367,-176,368,-216,397,
    -230,387,-285
300 DATA 396,-314,417,-334,438,-
    324,287,98,425,-229,433,-314
    ,307,98,313,65
310 DATA 342,22,406,-176,435,-19
    5,457,-262,456,-290,530,-233
    ,608,-233
320 DATA 208.53,266.190,318,310,
    240,6,294,138,350,262,226,-0
    0,298,-19
330 DATA 322,41,352,111,377,177,
    403,230,423,333,439,329,462,
    320,322,-103
340 DATA 550,230,-159,-12,-195,-
    103,-195,-12,-249,-103,-249,
    -12,-302,-103,-302,-12
350 DATA 195,-103,310,-103
360 FOR I=3 TO 165 STEP 3
370 PRINT "I,X(I)";I,X(I)
380 PRINT "I,Y(I)";I,Y(I)

```

```

390 1 NEXT I
400 DISP "READ OF DATA G-No, VALU
E"
410 DISP "ENTER DATA FILENAME"
420 BEEP @ INPUT F$
430 ON ERROR GOTO 410
440 ASSIGN# 1 TO F$
450 READ# 1 ; G0(),M0()
460 ASSIGN# 1 TO *
470 OFF ERROR
480 FOR I=3 TO 165 STEP 3
490 A1(I)=G0(I)
500 S1(I)=M0(I)
510 NEXT I
520 FOR I=4 TO 166 STEP 3
530 A2(I)=G0(I)
540 S2(I)=M0(I)
550 NEXT I
560 FOR I=5 TO 167 STEP 3
570 A3(I)=G0(I)
580 S3(I)=M0(I)
590 NEXT I
595 PEN 2
600 FRAME
610 MOVE 800,900
615 CSIZE 6
620 LABEL "LOAD : "
630 MOVE 980,900
640 LABEL VAL$(M0(1))
650 MOVE 1120,900
660 LABEL "N"
670 ON M GOTO 680,950,1200,1360
680 ON S GOTO 690,820
690 MOVE 551,636
700 DRAW 271,744
710 PLOT 100,300
720 PLOT 380,192
730 PLOT 551,636
740 PLOT 1260,636
750 PLOT 1260,192
760 PLOT 380,192
770 MOVE 876,192
780 DRAW 876,636
790 MOVE 100,900
800 LABEL "EU.Sk.OUTSIDEJ"
810 GOTO 1520
820 MOVE 551,364
830 DRAW 271,256
840 PLOT 100,700
850 PLOT 380,808
860 PLOT 551,364
870 PLOT 1260,364
880 PLOT 1260,808
890 PLOT 380,808
900 MOVE 876,808
910 DRAW 876,364
920 MOVE 150,950
930 LABEL "U.S.INSIDE"
940 GOTO 1520
950 ON S GOTO 960,1090
960 MOVE 551,364
970 DRAW 271,256
980 PLOT 100,700
990 PLOT 380,808
1000 PLOT 551,364
1010 PLOT 1260,364
1020 PLOT 1260,808
1030 PLOT 380,808
1040 MOVE 876,808
1050 DRAW 876,364
1060 MOVE 100,900
1070 LABEL "CL.Sk.OUTSIDEJ"
1080 GOTO 1520
1090 MOVE 551,636
1100 DRAW 271,744 @ PLOT 100,300
1110 PLOT 380,192
1120 PLOT 551,636 @ PLOT 1260,636
1130 PLOT 1260,192
1140 PLOT 380,192
1150 MOVE 876,192
1160 DRAW 876,636
1170 MOVE 150,950
1180 LABEL "L.S.INSIDE"
1190 GOTO 1520
1200 MOVE 100,500
1210 DRAW 1260,500
1220 PLOT 1260,385
1230 PLOT 100,385
1240 PLOT 100,500
1250 ON S GOTO 1260,1310
1260 MOVE 380,500
1270 DRAW 380,385
1280 MOVE 100,900
1290 LABEL "CF.Sp.OUTSIDEJ"
1300 GOTO 1520
1310 MOVE 980,500
1320 DRAW 980,385
1330 MOVE 150,950
1340 LABEL "F.S.INSIDE"
1350 GOTO 1520
1360 MOVE 100,500
1370 DRAW 1089,500
1380 PLOT 1089,385
1390 PLOT 100,385
1400 PLOT 100,500
1410 ON S GOTO 1420,1470
1420 MOVE 809,500
1430 DRAW 809,385
1440 MOVE 100,900
1450 LABEL "CR.Sp.OUTSIDEJ"
1460 GOTO 1520
1470 MOVE 380,500
1480 DRAW 380,385
1490 MOVE 150,950
1500 LABEL "R.S.INSIDE"
1510 GOTO 1520
1520 IF B>.5 THEN 1590
1530 FOR I=1 TO 4
1540 FOR J=1 TO 2
1550 READ X0(I,J),Y0(I,J)
1560 NEXT J
1570 NEXT I
1580 DATA 100,300,100,700,100,70
0,100,300,100,500,1260,500,
1089,500,100,500
1590 IF M=1 THEN 1600 ELSE 1640
1600 IF S=1 THEN 1610 ELSE 1640
1610 N1=90 @ N2=138
1620 IF S=2 THEN 1630 ELSE 1640
1630 PRINT "DON'T ENTER N1,N2"
1640 IF M=2 THEN 1650 ELSE 1690
1650 IF S=1 THEN 1660 ELSE 1690
1660 N1=3 @ N2=87
1670 IF S=2 THEN 1680 ELSE 1690
1680 PRINT "DON'T ENTER N1,N2"
1690 IF M=3 THEN 1700 ELSE 1740
1700 IF S=1 THEN 1710 ELSE 1740
1710 N1=162 @ N2=165
1720 IF S=2 THEN 1730 ELSE 1740
1730 PRINT "DON'T ENTER N1,N2"
1740 IF M=4 THEN 1750 ELSE 1790

```

```

1750 IF S=1 THEN 1760 ELSE 1790
1760 N1=141 @ N2=159
1770 IF S=2 THEN 1780 ELSE 1790
1780 PRINT "DON'T ENTER N1,N2"
1790 ! PRINT
1792 A=1000
1794 MOVE 1000,120
1795 DRAW 1000+10*A*L3,120
1796 MOVE 1000+10*A*L3,105
1798 LABEL " 5000u"
1800 ! PRINT " N1=";N1
1802 MOVE 1223,106
1804 DRAW 1218,97
1810 ! PRINT " N2=";N2
1820 FOR K=N1 TO N2 STEP 3
1830 ! PRINT " X(K),K";X(K),K
1840 ! PRINT "S1(K),A1(K)";S1(K)
,A1(K)
1850 X=X(K) @ Y=Y(K)
1860 S1=S1(K) @ G1=A1(K)
1870 S2=S2(K+1) @ S3=S3(K+2)
1880 X=X+X0(M,S) @ Y=Y+Y0(M,S)
1890 A=(S1+S3)/2
1900 B=SQR((S1-S2)^2+(S2-S3)^2)*
SQR(2)/2
1910 E1=A+B @ E2=A-B
1920 G0=E1-E2 @ C=(S1-S3)/2 @ D=
A-S2
1930 IF C=0 THEN 1990
1940 D1=ATN((S1+S3-2*S2)/(S1-S3)
)/2
1950 IF C>0 THEN 2020
1960 IF D>0 THEN 1980
1970 D1=D1-90 @ GOTO 2020
1980 D1=D1+90 @ GOTO 2030
1990 IF D>0 THEN 2010
2000 D1=-45 @ GOTO 2020
2010 D1=45
2020 E(1)=E1 @ E(2)=E2 @ T=01
2030 T0=0
2040 IF M>2.5 THEN 2070
2050 IF G1<6000 THEN 2070
2060 T0=(-1)^(M+S+1)*21.5
2070 T=-T+T0
2080 T1=-45+(-1)^(M+S)*45
2090 T=T+T1
2100 FOR I=1 TO 2
2110 IF I=1 THEN GOTO 2130
2120 T=T+90
2130 A=ABS(E(I))
2140 X(1)=X-A*COS(T)*L3
2150 Y(1)=Y-A*SIN(T)*L3
2160 X(2)=X+A*COS(T)*L3
2170 Y(2)=Y+A*SIN(T)*L3
2180 MOVE X(1),Y(1)
2190 IF E(I)<0 THEN GOTO 2280
2200 DRAW X(1)+L2*COS(T+45),Y(1)
+L2*SIN(T+45)
2210 MOVE X(1)+L2*COS(45-T),Y(1)
-L2*SIN(45-T)
2220 DRAW X(1),Y(1)
2230 PLOT X(2),Y(2)
2240 IPLOT -L2*COS(45-T),L2*SIN(
45-T)
2250 MOVE X(2),Y(2)
2260 DRAW X(2)-L2*COS(45+T),Y(2)
-L2*SIN(T+45)
2270 GOTO 2350
2280 DRAW X(1)-L2*COS(45-T),Y(1)
+L2*SIN(45-T)
2290 MOVE X(1)-L2*COS(T+45),Y(1)
-L2*SIN(T+45)
2300 DRAW X(1),Y(1)
2310 PLOT X(2),Y(2)
2320 IPLOT L2*COS(T+45),L2*SIN(T
+45)
2330 MOVE X(2),Y(2)
2340 DRAW X(2)+L2*COS(45-T),Y(2)
-L2*SIN(45-T)
2350 NEXT I
2360 NEXT K
2370 ! PRINT @ COPY
2380 ! PRINT @ PRINT
2390 B=B+1 @ GCLLAR
2395 PEN 0
2400!GOTO 100
2410 END

```

航空宇宙技術研究所資料 546 号

昭和 60 年 7 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町 7 丁目 44 番地 1
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182
印刷所 株式会社実業公報社
東京都千代田区九段南 4-2-12
