

電子計算機による強震記録の読み取り (第2報)

諸 星 敏 一*

国立防災科学技術センター

Digitizing of Strong-Motion Earthquake Records by Computer (II)

By

Toshikazu Morohoshi

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

An improved method for reading the strong-motion earthquake records is proposed. All parts of earthquake waves are scanned photoelectrically in the form of light and shade figures, and after being processed by various treatments, these figures are converted into curves consisting of many linear segments. The strong-motion earthquake records, however, may have many stains and blurs which give influences unfavorable for digitizing when the two-dimensional light and shade figures are converted into curves.

Then, for obtaining better results, these figures are to be converted into curves through a Man-Machine system. Namely, the figures with a few stains and blurs are converted into curves by the computer, and the other figures are converted into curves by a man using a tablet-type input device of figures and a storage-type display device. For example, some stains and blurs in light and shade figures shown on the display device are pointed by a man with the pen of the input device, and the unfavorable influences can be minimized.

1. はじめに

南関東での大型地震発生の恐れが増大している現在、全国に約 600 台以上の SMAC 型強震計が設置され、今後さらに増設される傾向にある。そしてその記録は、強震動の性質を調べるために、また構造物の耐震設計のための各種解析に用いるために、大量に数値化する必要がある。しかし現在開発されている SMAC リーダは、人間の非常に大きな労力を必要とし、大量の読み取り、数値化には適さない。また強震計そのものを電気式にするという試み

* 第3研究部計測研究室

もなされているが、まだ試作の段階であり、さらにデータ・レコーダを用いることなどから、かなり高価なものとなる。

以上の状況をすこしでも改善するために、われわれが昭和47年3月頃より研究に着手し、かなりの成果をあげたことを第1報（渡辺他，1974）で報告した。その時に今後の問題点として、図形読取装置の改良、曲線化の際のシミとカスレの処理、処理時間の短縮等をあげた。しかしその後、タブレット型図形入力装置などを使用した新しい処理法を開発した結果、その問題がほぼ改善されたので、その改良点を第2報として報告する。また第1報と重複する点もあるが、読み取りの概略も合せて報告する。

2. 読み取り方法の概略と結果

第1報で報告したように、われわれはドラム式の図形読取装置の試作品を製作した。今回の読み取りでは、その試作品を改良したものを使用した。

第1報でも述べたように、われわれの図形読取装置は、光学系の読み取りヘッドを移動しながら、回転ドラムに巻きつけた原図の濃淡を、アナログ信号として出力するものである。そこでわれわれは、そのアナログ信号をAD変換器によりデジタル信号に変換し、電子計算機に入力する。

このようにデジタル化された信号は、単に原図上を回転方向、送り方向にスキャンした時の約0.1mmメッシュの濃度を表わしているにすぎないから、この後に地震波を一連の波としてつなげること、それに伴う記録のノイズ的シミやカスレの措置、処理時間の短縮など多くの処理を行なわなければならない。

この処理の系列を図1に表わし、その概略の説明を次に述べ、各段階の詳しい説明と今回の図形読取装置についての説明は、3.で述べることにする。なお全体の使用機器とその接続状況を図2に示す。

(1) 準備

強震記録紙は、ほとんどがろう紙であり、これをそのまま図形読取装置に装着できないのでフィルム状にする。この時、図形読取装置の大きさの制限から、一つの強震記録を何枚かのフィルムに分ける必要がある。この場合、つなげる時のために若干重ねておく。

(2) 読み取り・記録・チェック

フィルムを図形読取装置に装着し、濃度差を読み取り、デジタル化して、電子計算機の磁気テープに記録する。次に、正しく

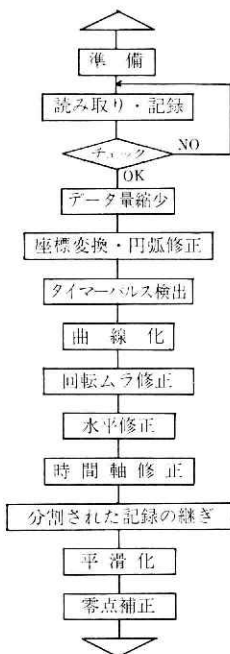


図1 読み取り手順
Fig. 1 Digitizing procedure

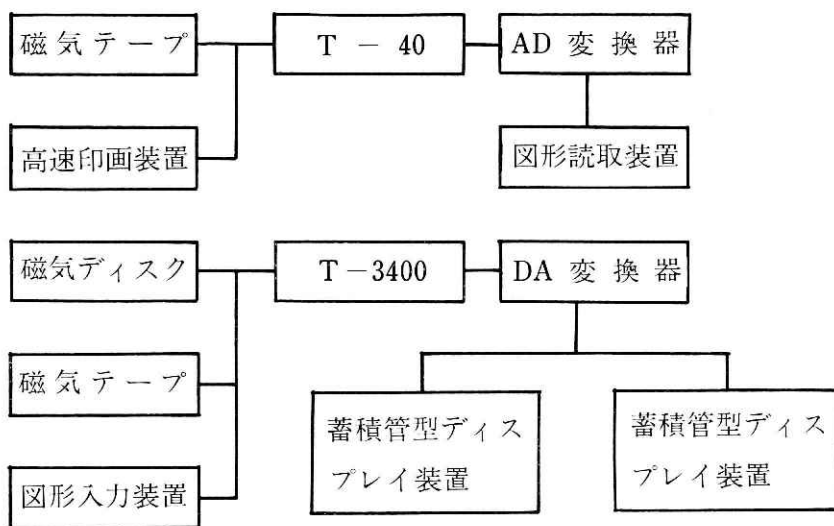


図 2 使用機器の接続図
Fig. 2 Configuration of the system used

読まれているか、黒と白のバランスはどうか、全体の位置関係はよいか、必要なものがすべて読み込まれているかなどをチェックするために、読み取ったものをファクシミリ方式の高速印画装置に出力する。もし不都合な点があれば、もう一度読み直す。

(3) データ量縮少

振幅の小さい強震記録には、後に示す図9のように地震波と地震波との間に、この後の処理に不必要な非常に大きな空間がある。これを処理容量の縮少と処理時間の短縮のために除去する。またわれわれのAD変換器はアナログ値を0～4095(12ビット)のデジタル値に変換する。しかし強震記録の性質や、この後の処理を考慮すれば、このように細かなくてもよい。そこでわれわれは、そのデジタル値を4段階(2ビット)にして使用することにした。

(4) 座標変換・円弧修正

フィルムを図形読取装置に装着する時に、時間軸が水平でなく少し斜めになることがある。この修正のために座標変換をしなければならない。

また強震計は円弧書きのペンを使用しているので、円弧書きの修正をしなければならない。ただし地震波の振幅が小さい時は、読み取りの精度から考えて、誤差の影響がなくなるので円弧修正は行なわない。

(5) タイマーパルス検出

時間軸修正に用いるために、記録紙上のタイマーパルスを検出する。われわれはタイマーパルス上のシミやカスレを考慮し、パターン・マッチング法を用いた。

(6) 曲線化

読み取ったデータの中で、地震波の EW・UD・NS の3成分と回転ムラ修正に用いる線の4つの線は、一連の線としてつなぐ。すなわちこれまでのデータは、記録紙の濃度差としての二次元的なものであったが、これを4つの一次元のデータ列とするのである。この時にノイズ的シミを取り除き、カスレている部分をつなぐという、最大の問題点がでてくる。われわれはこの問題点を解決するために、マン・マシンシステムを用いることにした。

(7) 回転ムラ修正

われわれの図形読取装置は、ドラムを回転させることにより回転方向の走査をしている。このため、どうしても回転方向にムラが生じる。そこでドラム上の直線（ドラムに彫刻されている線）を用いて、回転ムラを修正する。

(8) 水平修正

(4) で述べた座標変換は、二次元的なデータを扱うので非常に扱いにくい。そこで地震記録の振幅が小さいもの、あまり斜めにならなかったものは、一連の線としてつないだ後に、水平にする。

(9) 時間軸修正

(5) で検出したタイマーパルスを用いて、強震計の記録紙の送りムラ、図形読取装置の読み取りヘッドの送りムラを修正する。この処理の後で比例配分による補間で、0.01 秒ごとのデータとする。

(10) 分割された記録のつなぎ

(1) から (9) までの処理を行なったものは、図形読取装置の有効面の制限から、若干重ねて分割した強震記録の一部分である。そこで他の部分にも同様な処理を行ない、記録をつなげ必要がある。現在われわれは、分割する時に重ねた所のタイマーパルスを目安にしてつないでいる。

(11) 平滑化

必要があれば重みつき移動平均をとって平滑化する。

(12) 零点補正

零点の決定法は種々あるが、われわれは簡単に地震記録そのものの、ほぼ中央と思われる点を仮の零点とし、それ以上のことは何もしなかった。

以上の各処理を行なった後のデジタル値は、GAL 単位にして、磁気テープに収納する。第1報と異なる主な改良点は、図形読取装置、記録の不要部分を除去しての処理、パターンマッチング法によるタイマーパルス検出、マン・マシンシステムによる曲線化である。

図3は原図をフィルム状にしたもの、図4は高速印画装置に出力したもの、図5はデジタル化した地震波をカーブプロッタに出力したもの、図9は同じものの最初の部分をラインプリンタに出力したものである。



図 3 フィルム状の原図
Fig. 3 The source film

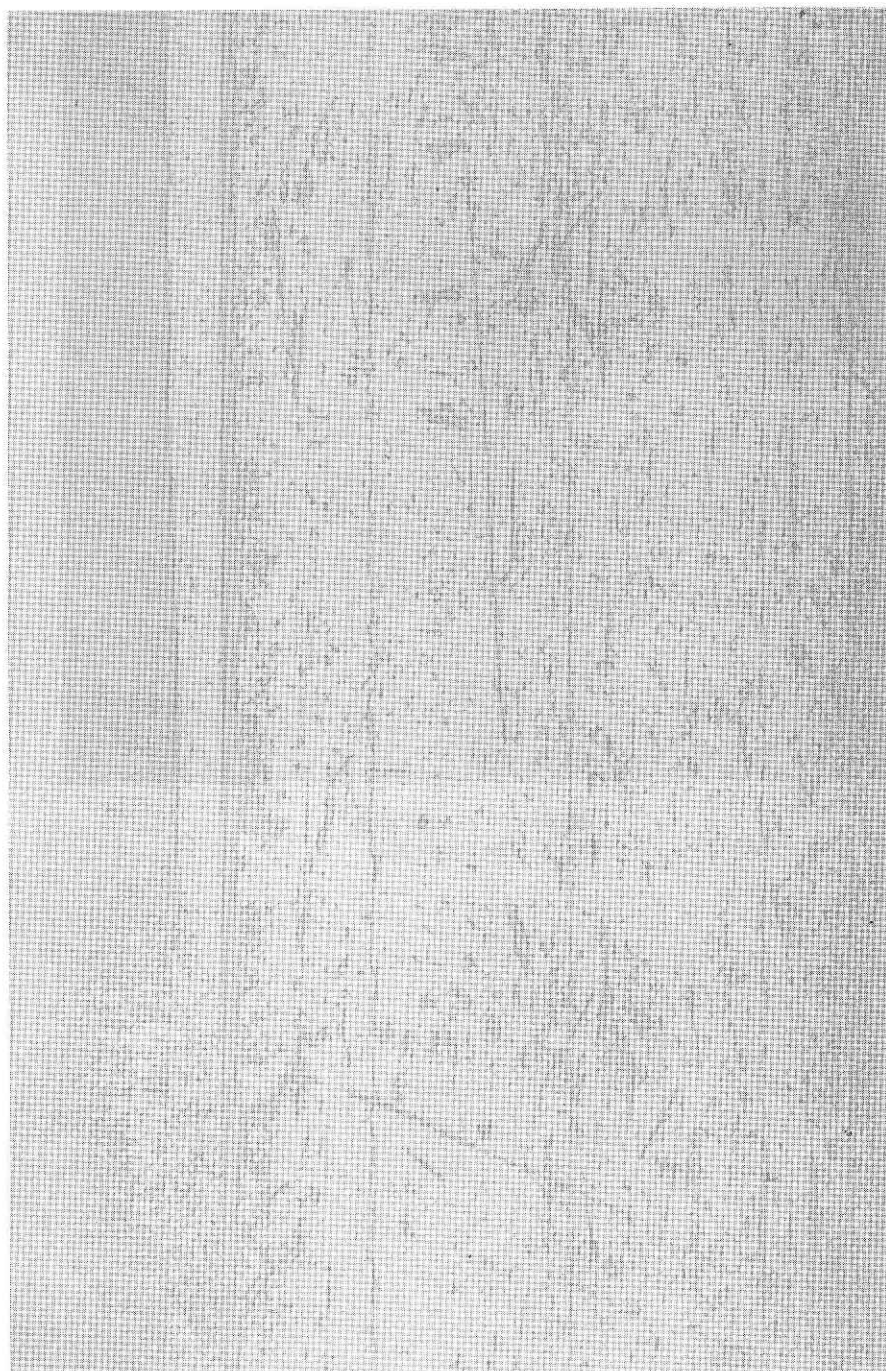


図 4 高速印画装置に出力したもの
Fig. 4 Output using the high-speed printing device

DIGITAL NUMBER 1
EARTHQUAKE NUMBER 000
NAME OF STRONG-MOTION EARTHQUAKE ACCELEROGRAPHS SMAC-B
SITE NUMBER KS 012-2
SITE NAME OITA WORK,NIPPON STEEL CO.
SITE ADDRESS NO1.NISINOSU,OITA CITY
NUMBER OF STORIES 1
NUMBER OF SMAC:DC 1.0
INSTALLATION SITE LANDING STAGE

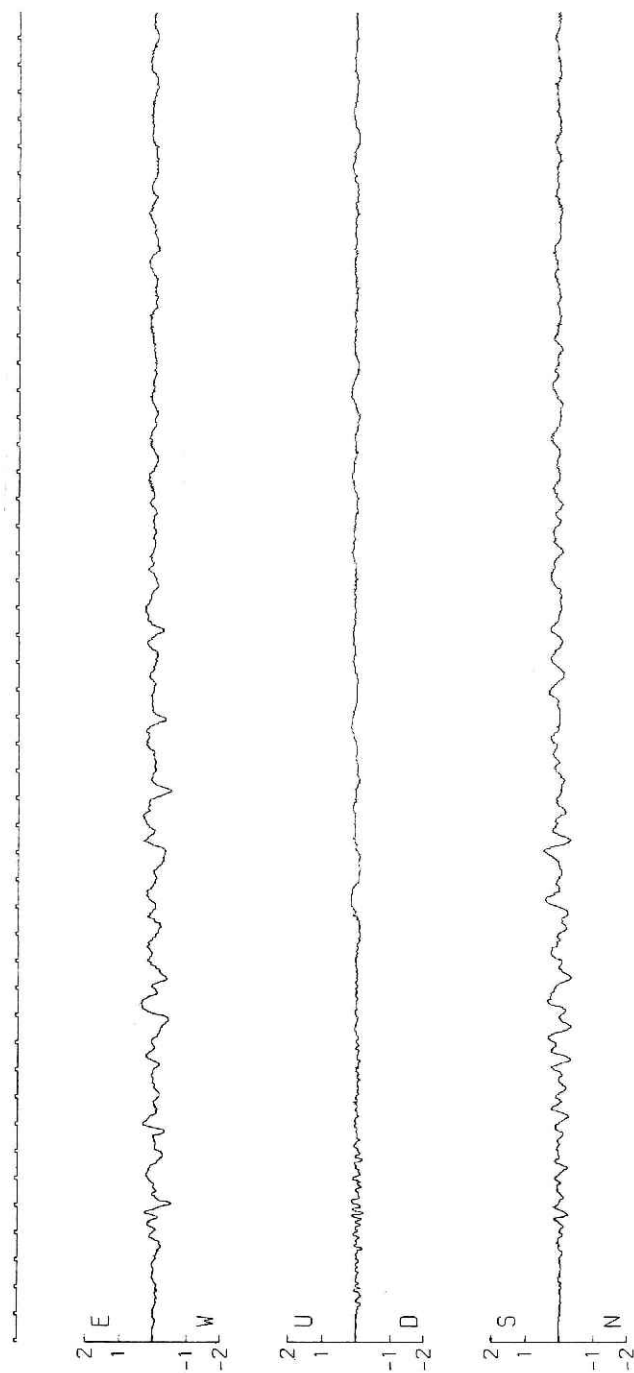


図 5 デジタル化後の記録をカーブプロッタに出力したもの
Fig. 5 Digitized result output by the curve plotter

DIGITAL NUMBER 1
 DATA NUMBER 0
 EARTHQUAKE NUMBER 000
 NAME OF STRONG-MOTION EARTHQUAKE ACCELEROGRAPHS SMAC-B
 SITE NUMBER KS 012-2
 SITE NAME OITA WORKS, NIPPON STEEL CO.
 SITE ADDRESS NO.1, NISINOSU, OITA CITY
 NUMBER OF STORIES 1
 NUMBER OF SMAC, DC 1, 0
 INSTALLATION SITE LANDING STAGE
 UNIT 0.01SEC, 1GAL
 COMPONENT F-W

DIG.NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIME	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	-0.5	-1.4	-3.2	-3.8	-3.8	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
70	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8
80	-4.5	-5.3	-6.3	-5.5	-5.5	-6.2	-4.4	-3.2	-2.1	-0.3
90	-0.8	-1.7	-2.5	0.1	1.7	2.0	0.2	-0.1	0.2	1.1
100	2.4	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.5	2.2	3.2	1.7
110	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	0.9	2.1	0.5	-0.2	-0.2
120	0.5	1.6	1.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
130	-1.2	-3.3	-4.0	-4.7	-5.3	-3.5	-2.9	-6.0	-7.7	-7.7
140	-7.7	-7.7	-7.7	-7.7	-7.7	-8.7	-9.9	-8.7	-7.8	-7.8
150	-7.8	-7.8	-7.8	-7.5	-6.4	-5.3	-6.6	-5.3	-6.4	-4.6
160	-4.0	-4.8	-7.4	-10.9	-12.8	-11.0	-8.2	-9.3	-9.9	-7.8
170	-7.8	-7.8	-7.8	-6.9	-5.6	-6.2	-5.8	-6.7	-7.8	-7.8
180	-7.8	-7.9	-7.6	-8.2	-2.9	-2.7	-7.4	-7.9	-8.8	-10.9
190	-11.6	-11.6	-11.1	-8.9	-6.2	-6.7	-10.8	-12.3	-7.5	-6.7
200	-5.4	-7.8	-7.9	-7.9	-7.9	-9.0	-10.3	-8.3	-7.9	-7.9
210	-7.9	-7.9	-9.7	-12.3	-9.5	-8.0	-7.2	-5.9	-6.3	-6.0
220	-6.2	-4.7	-2.3	-2.4	-1.8	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
230	-0.5	-0.5	-0.5	-0.1	1.4	3.2	3.2	3.2	3.0	2.0
240	2.5	5.4	3.2	3.2	3.1	1.9	0.8	3.2	3.2	2.0
250	0.6	3.1	2.1	0.7	2.9	2.9	0.8	2.8	2.2	-0.1
260	-0.6	0.3	1.6	0.1	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-1.3	-2.6
270	-1.7	-0.6	-0.6	0.1	-0.6	-0.6	-0.1	-0.6	-1.3	-2.6
280	3.1	3.5	4.7	5.2	5.0	6.5	5.0	3.1	3.1	3.1
290	3.5	4.5	5.3	3.1	2.9	1.8	0.6	3.0	1.8	-0.7
300	-0.7	-0.7	-0.8	-2.0	-3.2	-2.1	-4.5	-4.5	-4.6	-5.9
310	-8.2	-8.1	-6.9	-5.9	-8.7	-4.5	-4.7	-6.0	-6.4	-2.8
320	-1.3	-4.3	-8.3	-8.3	-8.3	-8.3	-8.3	-8.6	-9.9	-10.5
330	-10.3	-12.1	-12.1	-11.7	-10.4	-10.0	-10.4	-10.9	-14.7	-16.6
340	-13.4	-10.6	-11.6	-10.8	-15.0	-15.9	-16.4	-18.5	-19.6	-19.6
350	-20.2	-22.2	-23.4	-23.4	-23.4	-23.4	-23.4	-23.4	-22.7	-21.4
360	-21.7	-20.6	-18.9	-17.6	-17.2	-14.7	-15.1	-15.9	-15.9	-16.8
370	-18.9	-18.8	-16.6	-16.0	-16.0	-16.0	-15.0	-11.9	-8.1	-4.3
380	-2.4	-5.2	-4.1	2.9	0.8	2.4	3.8	6.2	7.5	11.0
390	13.8	12.9	11.5	12.7	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2

図 6 デジタル化後の記録をライプリンタに出力したもの
 Fig. 6 Digitized result output by the line-printer

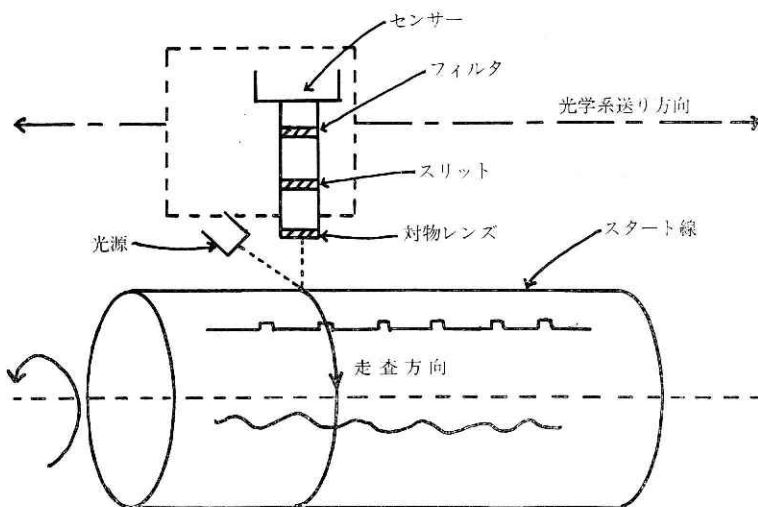


図7 図形読取装置の概略図
Fig. 7 Schematic diagram of the figure input device

3. 処理の詳細と考察

(1) 図形読取装置

すでに述べたように、われわれはトーンシャフアックスを改良した図形読取装置の試作品を開発した(大村, 1971)。しかしこの試作品には、強震記録の読み取りに対して次のような不都合な点があった。

- (i) ドラムの回転ムラが大きい。
- (ii) 読み取りヘッドの送りムラが大きい。
- (iii) 有効面が小さい
- (iv) 読み取ったデータの白と黒の電圧差が小さい。
- (v) フィルムを装着する時に斜めになる。

そこでわれわれは、この欠点をほぼ解決した、新しい図形読取装置を製作した。その解決法と結果を次に述べよう。(i)については、内部クリスタル発振器による50サイクルの同期モータを使用することにより、1回転あたりの誤差を $0.5\text{ mm}/400\text{ mm}$ 以下にすることができ、(ii)については、パルスモータの使用により、全送りあたりの誤差を $0.5\text{ mm}/300\text{ mm}$ 以下にすることができた。(iii)については、 $350\text{ mm}\times 260\text{ mm}$ が $378\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ となり、若干ではあるが大きくなった。(iv)については、光源にハロゲン電球を使用し、また反射光の通路に 0.1ϕ (直径 0.1 mm)、 0.2ϕ 、 0.4ϕ の3段切変えのスリットと6段切

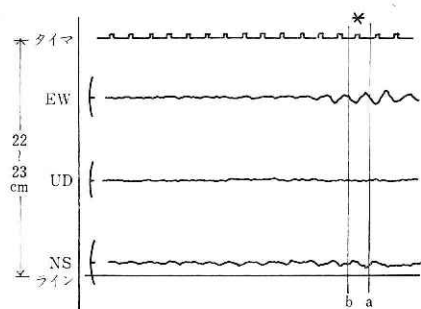


図8 記録の分割
Fig. 8 Method for dividing the source film

変えのフィルタ（現在は光量のフィルタ）を設け、そしてアンプの調整を外部で行なえるようにしたことなどから、かなりの電圧差が得られるようになった。（V）については、ドラム面に回転軸に平行な線を彫刻したことにより、ほぼ解決された。図7は図形読取装置の概略図である。

（2） 準 備

強震記録の原図は、金属石けんを表面に塗った紙でできていて、幅約 230 mm、長さ約 1,800 mm（約3分間の記録）のものである。（1）で述べたように、図形読取装置の有効面は 378 mm×300 mm であるから、記録を分割して読まなければならない。そこで原因を分割して接写した原寸のフィルムにし、それを読み取ることにした。フィルムを選んだのは作成する時の誤差、歪みの誤差などが少ないと思われたからである。

分割したフィルムをつなぐために第1報と同じく次のような準備をする。図8のような記録で最初のフィルムをa線までとすると、次のフィルムはb線からにする。つまりタイマーパルスが少なくとも1つ重なるように、記録を分割するのである。

（3） 読み取り・記録・チェック

第1報の時は、図形読取装置を中型機 TOSBAC-3400 に接続した。しかし AD 変換のような計算機を長時間占有する作業は、中型機の使用をできるだけさけなければならない。

そこでわれわれは、読み取りをミニコンピュータの TOSBAC-40 で行なえるように、TOSBAC-40 のハードウェアとソフトウェアの開発を行なった（福井他, 1975）。その結果、ミニコンピュータでも中型機とほぼ同程度の読み取り・記録が行なえるようになった。そこで今回は、図形読取装置を TOSBAC-40 に接続して読み取り、磁気テープに記録した。

読み取り精度は以下ようになる。図形読取装置の回転速度は 300 rpm で1回転あたり 200 ms である。また TOSBAC-40 の AD 変換速度は $75 \mu\text{s}$ である。これから回転方向のサンプリング間隔は、 401 mm （ドラムの円周） $\times 75 \mu\text{s} / 200 \text{ ms} = 0.151 \text{ mm}$ となる。また送り方向は $0.05 \text{ mm} \times 2 = 0.1 \text{ mm}$ である。これは図形読取装置を最小送り刻み 0.05 mm で送り、われわれの磁気テープ装置のデータ転送速度が遅いということから、データを2回転に1回拾ったからである。よって $0.15 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ の面積が読み取り点となる。これを一般的な強震記録にあてはめると、強震記録の線の太さが約 0.3 mm であることから、線は2～3点で表わされ、また時間軸方向は1秒が 10 mm であることから 0.01 秒 が1点となる。

$378 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ の全体を読み取ったときの全データ量は 2400 フィートの磁気テープ約1本分である。また処理時間は、送り方向に 30 cm 読み取るとして、 $0.2_s \times 2 \times 300 \text{ mm} / 0.1 \text{ mm} = 1200 \text{ s}$ となり、20 分かかる。

読み取ったものを、TOSBAC-40 に接続されている蓄積管型ディスプレイ装置（以下メモリスコープと略す）、またはファクシミリ方式の高速印画装置に出力してチェックする。メ

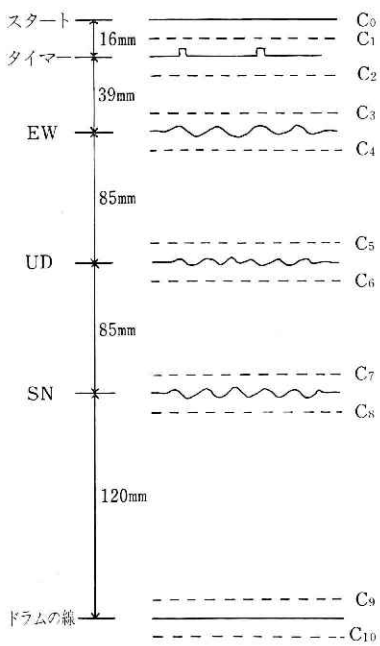


図 9 データ量縮少
Fig. 9 Data reduction method

モリスコープは画面の必要な所の輝度を上げることにより、任意の図形を描くものである。そこで記録を必要としないモニタ的なチェックの時に使用する。高速印画装置は感光紙に光をあてることにより、任意の図形を表わすものである。そこで記録を保存しておきたい時や、幾つものレベルで切ったものを比較したい時などに使用する。

読み取ったものを適当な大きさに拡大してチェックしたい時があるために、どちらの装置ともに適当な倍率にして出力できるような、プログラムが用意されている。

(4) データ量縮少

図 9 のような振幅の小さい地震記録には後の処理で必要としない非常に大きな空間がある。そこで今回はデータ量を少なくし処理時間を短くするために、それぞれ C_i から C_{i+1} ($i=0, 2, 4, 6, 8$) の間のデータを取り除く。この時に後の処理を楽にする

ために、 C_{i+1} と C_{i+2} の間のデータ数を 24 の倍数にしておく (TOSBAC-3400 の 1 語が 24 ビットであることから)。今回の読み取りに使用した強震記録 (最大加速度約 50 GAL) について、この処理を行なうとデータ量は約 1/4 になる。

AD 変換したものは 0~4095 のデジタル値 (12 ビット) であるが、これからの処理ではこのように細かくなくてもよい。そこでこれのある値で切って数を減らす。現在は初期入力として最大値と最小値を与え、その間を 4 等分して 0~3 の値 (2 ビット) にしている。これは各々の線により白黒の境界が一樣でないことなどから、1 つの値で白黒を分割することが非常にむずかしいこと、またこの方法で以下の処理を行なった時の結果が良かったことなどによる。この処理によりデータ量は 1/6 になる。前の処理と合わせると、データ量は初めの 1/24 となる。

処理時間については、処理の内容により多少の違いがあるが、ほぼデータ量と同程度短くなる。

(5) 座標変換・円弧修正

記録紙上の時間軸を図形読取装置の送り軸と水平にするために、記録紙上のタイマー線を用いる。今回は次のように第 1 報と多少異なる方法を用いた。

モリスコープにタイマー線の最初と最後の部分を二次元のドットパターンとして出力し、タブレット型図形入力装置上の点とモリスコープ上の点を対応させることにより、図

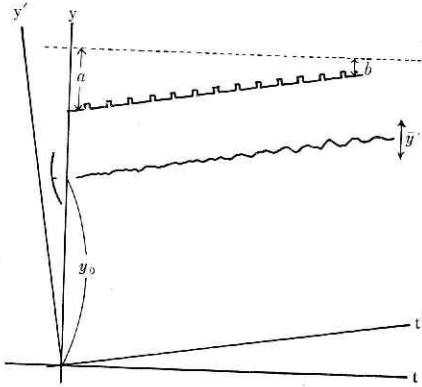


図 10 座標変換
Fig. 10 Transformation of coordinates

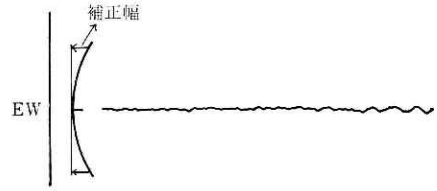


図 11 記録紙上の円弧による修正
Fig. 11 Modification on by the arc on the source film

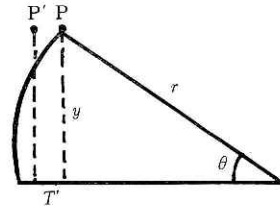


図 12 数式による円弧修正
Fig. 12 Arc modification

形入力装置の入力ペンの動きをメモリスコープに軌跡として表わし、その軌跡を見ながら入力ペンをタイマー線の所に移動させ、タイマー線の両端の2点の座標を入力する。

この後の座標変換と円弧修正の方法は、次に述べるように第1報と同じである。上記の方法により求めたものから記録紙の傾きを求め、座標回転の公式を使用して、二次元のデータのまま変換する。

この時に回転角 θ が非常に小さいことが予想できるので、 $\cos \theta = 1$ として演算を行なった。しかし装着の際の傾きが小さいものや、地震波の振幅が小さいものは、後述する曲線化後の水平修正を行ない、二次元的データを扱う座標変換は行なわない。図10で座標変換の方法を示す。

円弧修正は記録の最初に書かれている円弧(図11)を用いて修正する。すなわちこの円弧が直線になるように、二次元のパターンを動かすのである。しかし記録によっては、この円弧が書かれていないものがある。この場合は強震計の仕様から、円弧書きペンの長さ(r)と紙送りの速度(v)を求め、次式により修正する。

$$\theta = \sin^{-1}(y/r)$$

$$T = r - r \cos \theta$$

$$T' = (r - r \cos \theta) / v$$

すなわち図12におけるPをT'だけズラしP'とするのである。しかしこれも地震記録の振幅の小さいものは、円弧書きの影響が少ないためこの処理を行なわない。

(6) タイマーパルス検出

記録上のシミやカスレを考慮し、第1報とは異なりパターンマッチング法を使うことにし

た. しかしあまり複雑な計算を行なうことは, パターンの性質 (パルス上のもの) から時間的に無駄である. そこでわれわれは, 三値論理代数を簡略化した一方式により検出を行なった. すなわち, ある基本集合 $B(x, y) = \{0, 1\}$ と記録上のあるパターンの集合 $P_t(x, y) = \{0, 1\}$ の各々に対応する点について, 排他的論理和 \oplus なる演算を行ない和 $M(t)$ を求める.

$$\sum_{x=1}^{N1} \sum_{y=1}^{N1} B(x, y) \oplus P_t(x, y) = M(t)$$

次に P_t を t についてずらしながら, $M(t)$ が最大となる t を探す. そして $M(t)$ が最大となった t (MT とする) をマッチした位置とするのである. しかしこの時に MT がある予想位置 (TC とする) とかなりのズレがある時, \oplus を論理積 $*$ で置き換えた演算を行ない, ふたたびマッチングを試みる. ただしこの演算を行なってもまだ TC とのズレが大きい時は,

検出不可能として TC を MT とする.

\oplus	結果	
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$*$	結果	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

図 13 排他的論理和と論理積の真理値表
Fig. 13 Truth table for exclusive logical sum and logical product

t のずらし方であるが, TC を中心に前後にある値 $N3$ だけ動かす. この時, パルス線の傾きがある場合 (座標変換を行なわなかった時) は, その傾きにそってずらす. 次に $B(x, y)$ と TC の決定法であるが, $B(x, y)$ については, 1 記録中から人間が最良と判断したタイマーパルスを手検出して, それを適当なわく ($N1 \times$

$N2$) で囲んだものとする. また TC については, その時まで検出したタイマーパルスの位置の平均インターバルを前の位置に加えたものとする. 図 13 に \oplus と $*$ の演算内容を示す.

われわれが \oplus と $*$ の 2 つのアルゴリズムを用いた理由は次のとおりである. 図 13 からわかるように \oplus の方は, 0 (白) を 1 (黒) と同じに扱っている, つまりバックの白を重要視している. しかし最良のわくが決定できないことなどから, わくの決め方によってはパターンよりもバックの白の影響が大きくなってしまう. そこで \oplus の演算後, 結果が思わしくない時に, $*$ (バックの白の影響を消した) を用いて演算をやり直すことにしたのである. 今回の検出で用いた変数の具体的な値は, $N1=20$, $N2=15$, $N3=10$ である. この値を用いた時, 120 個のパルス中 118 個を正しく検出した. 図 14 にマッチングの様子を表わした.

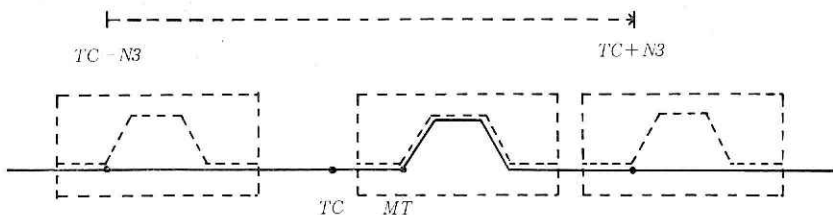


図 14 タイマーパルス検出の際のマッチング方法
Fig. 14 Matching method for detecting the timer pulse

(7) 曲線化

地震波を一連の曲線としてつなぐのであるが、シミやカスレがなければ、各チャンネル間の同時性に注意さえすれば、ごく当り前の曲線の読み取りである。しかしシミやカスレがあるため、この操作は計算機の一番苦手な図形処理の分野にはいる。そこでわれわれはマン・マシンシステムを使用することにした。すなわち曲線化の方式をできるだけ簡単にし、複雑な処理の必要な箇所は、人間の指示により処理を行なうようにした。この方式が今回の改良点の最大のものである。

実際の曲線化の処理を次の4つの段階に分け、順を追って説明しよう。

①曲線化の出発点の指示。②曲線化。③シミ、カスレの措置。④人間による曲線の修正。

① 曲線化の出発点の指示

これは座標変換の傾きを求める時に使用した方法を用いて求める。すなわちメモリスコープに地震波の最初の部分を二次元のドットパターンとして出力し、次にメモリスコープに図形入力装置の入力ペンの軌跡を出力しながら、地震波の出発点と思われる所を指示するのである(写真1)。

② 曲線化

$t-1$ 時と t 時の曲線の座標がわかっている時の、 $t+1$ 時の座標の求め方を述べよう。 $t-1$ 時、 t 時、 $t+1$ 時の座標をそれぞれ $y(t-1)$ 、 $y(t)$ 、 $y(t+1)$ とする。また $y(t) + \{y(t) - y(t-1)\}$ を仮りの $y(t+1)$ とし、これを YC とする。次に YC の白黒を判定し黒であったならば、 YC を中心に y 方向に ϵ_1 、 ϵ_2 の範囲の白黒を判定し黒から白になる境界を求め、その境界と境界の中点を $y(t+1)$ とする。次に YC が白の時は、同じく y 方向に ϵ_1 、 ϵ_2 の範囲で白黒を判定するのであるが、この時に

(a) ϵ_1 方向、 ϵ_2 方向の両方に黒の部分がある

(シミ)、

(b) ϵ_1 方向、 ϵ_2 方向のどちらか一方に黒の部分がある、

(c) ϵ_1 方向、 ϵ_2 方向の両方に黒の部分がない
(カスレ)、

の3つの場合がある。

(a)の場合は、人間に分岐を指示し人間の指示を求める(写真2)。(b)の場合は、黒の部分の中点を $y(t+1)$ とする。(c)の場合は、カスレを人間に指示し人間の指示を求める(写真3)。しかしある回数(今回は2回)連続カスレが生じない時、すなわちカスレの直後に黒の部分がある時は、カスレの部分を比例配分により補間する。

ここで用いた ϵ_1 、 ϵ_2 は $|\epsilon_1| = \epsilon - \{y(t) - y(t-1)\}$ 、 $|\epsilon_2| = \epsilon + \{y(t) - y(t-1)\}$ により決定す

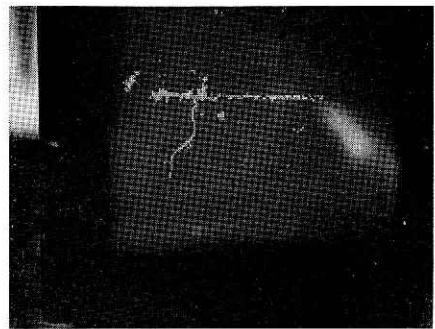


写真1 出発点の指示
Photo 1 Indication of the starting point

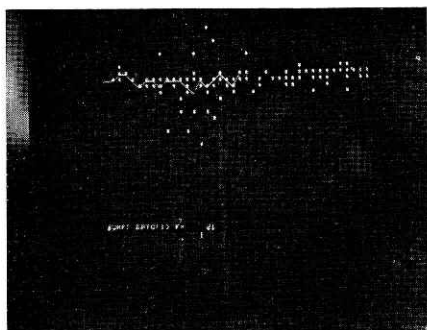


写真 2 分岐
Photo 2 Branch point

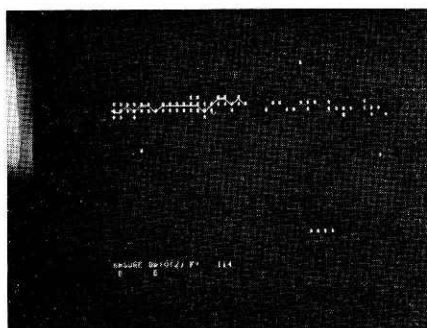


写真 3 かすれた曲線
Photo 3 Blurred curve

る。この時 ϵ は初期入力値であり今回は $\epsilon=4$ を使った。 ϵ_1 , ϵ_2 を上記のようにしたのは、曲線の方向を白黒判定の時の重みとし、シミをできるだけ拾わないようにするためと、変曲点で実際の曲線を逃がさないようにするためである。

③ シミ、カスレの措置

シミに対する措置は、②で白黒の判定範囲を ϵ_1 , ϵ_2 とし、なるべくシミを拾わないようにしたことと、地震波の近くのものは分岐指示により人間がさけること、の2点である。

カスレに対する措置は、小さなカスレは補間し、大きなカスレは人間の指示によってつなぐということである。

これらの措置に、後述する人間による曲線の修正という処理を加えると、ほぼシミやカスレの影響を消すことができる。

④ 人間による曲線の修正

一度曲線化したものを、最初からメモリスコープに二次元メッシュ上の濃度を表わすドットパターンと共に出力し(写真4)、人間が修正の必要があると判断した所を拡大して他のメモリスコープに出力し(写真5)、図形入力装置により修正する。修正法は図形入力装置

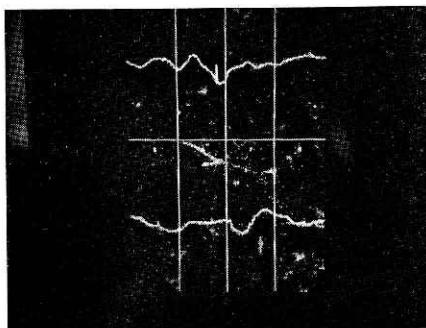


写真 4 修正個所の指定
Photo 4 Specification of some modified locations

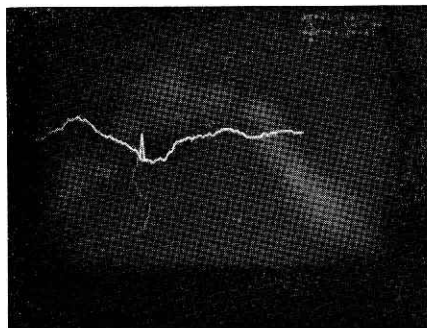


写真 5 修正個所の拡大図
Photo 5 Enlargement of a modified location

の入力ペンの軌跡をメモリスコープに出力し、修正位置と修正曲線を求めるのである。修正箇所は1フィルムの記録で0~2箇所程度である。

(8) 回転ムラ修正

第1報の時に問題点としてあげたものだが、今回の図形読取装置は前述したように1回転あたりの最大ムラが0.5 mmと非常に精度の良いものとなったことから、今回は回転ムラの修正は行なわなかった。なぜならば、この0.5 mmというのは、強震記録の読み取りの時の読み取り点数にすると約3点となる。すなわち回転スタートから一番遠い所(40 cm)で、3点しか誤差がないことになる。また強震記録は幅約23 cmのものであることから、地震波の中でスタートから一番離れているものでも20 cm以内にある。つまり読み取り点にして1点位の回転ムラの影響しかでない所にある。それで修正を行なう必要がなくなったのである。

しかし機械の精度が落ちムラが大きくなった時は、ドラム上に彫刻されている回転スタート線に平行な直線を利用して修正する。修正法は、その直線も地震波と同様に曲線化し、その曲線が直線になるようにずらす。その時にスタート位置からの距離による比例配分で地震波もずらすのである。

(9) 他の処理

(8)までの処理を行なったものに、水平修正、時間軸修正、記録のつなぎ、平滑化、零点補正、GAL修正などの処理を行なうのであるが、これらの処理は概要の説明で充分であり第1報と同じなので、詳細の説明は省略する。

(10) 処理時間

フィルム1枚あたりの処理時間は次のようになる。読み取り(AD変換)に20分、記録チェックに15分、データ量縮小に15分、座標変換に15分、円弧修正に15分、タイマーパルス検出に5分、曲線化に20分そして他の処理の合計として10分、すなわち合計115分かかる。しかしこの時間は、シミやカスレの多い悪い記録のものであり、フィルムによっては60分位で処理できるものもある。

4. おわりに

強震記録の読み取りについて第1報で問題点として残していた部分を、新しい図形読取装置、2台の蓄積管型ディスプレイ装置、タブレット型図形入力装置、などを有効に使用し、ほぼ解決することができたので第2報として報告したのであるが、まだ処理時間の問題、デジタル化した記録そのものの問題など、今後改善すべき所が残されている。しかしわれわれが初期の目標とした{SMACリーダーにおける人間の労力の軽減}という線には、充分達することができたので、現状の装置を用いた読み取りに関する開発は、一応これまでとしておきたい。

今後は、われわれが読み取ったデジタル値を使用して、スペクトル解析などを実際に行なって、その結果を報告したいと考えている。なおこの結果、われわれの読み取ったものが、このような解析に対して不十分であるということになれば、読み取りに關しての開発を続けることは言うまでもないことである。

最後に強震記録のフィルムなどの資料を用意して下さった当センター企画課資料調査室に深く感謝したい。

参 考 文 献

- 1) 福井隆文・諸星敏一(1975): オフラインデータ交換装置(TOSBAC-40)のシステム開発. 国立防災科学技術センター研究速報, 第15号.
- 2) 大村一夫(1971): 図形読取装置の試作および応用例. 国立防災科学技術センター研究報告, 第7号, 23-34.
- 3) 渡辺一郎・勝山ヨシ子・尾崎容子・福井隆文(1974): 電子計算機による強震記録の読み取り. 国立防災科学技術センター研究報告, 第9号, 11-31.

(1976年6月11日原稿受理)

