

# (44) 強震記録自動数値化装置について

建設省 土木研究所 正会員 ○兼原 徹郎  
 " 正会員 佐々木 康  
 " 正会員 吉見精太郎

## 1. まえがき

従来、SMAC型強震計、気象庁一倍強震計等によるアナログ記録の活用には、ディジタイザーを用いた数値化処理が必要であった。しかし、数値化作業には多大な労力と時間を要し、精度の点においても人間の読み取りのため限界があった。これまでに数値化に伴う作業の省力化、数値化精度向上のため、自動数値化処理方法を検討してきたが、通常の記録にはよごれ、かすれ、にじみ、重なりがあり、一倍強震計記録には背線が混在するなど自動化には種々の問題点があった。

土木研究所では、CAD、CAM分野で用いられている画像処理装置を用い、40dot/mmの分解能で地震動波形を読み取った後、対話処理により上記問題を処理するソフトウェアを開発し、強震記録を自動的に数値化する装置を導入した。本文では、この装置の原理、機能及び精度検討結果についてその概要を報告する。

## 2. 強震観測の現状

建設省では、公共土木施設の地震時挙動を観測し耐震工学の基礎的資料とすることを目的として、平成元年3月現在、全国328箇所860台の強震計により強震観測を実施している。強震観測の概要を図-1に、施設毎、強震計型式毎の設置箇所数、台数を表-1に示す<sup>1)</sup>。建設省において強震観測が開始された昭和33年以降設置された工学用強震計は、主としてSMAC型強震計である。SMAC型強震計は、振子の動きをペンの動きに変換して記録紙上にアナログ的に振動を記録する機械式であり、精度、感度とも工学的に十分

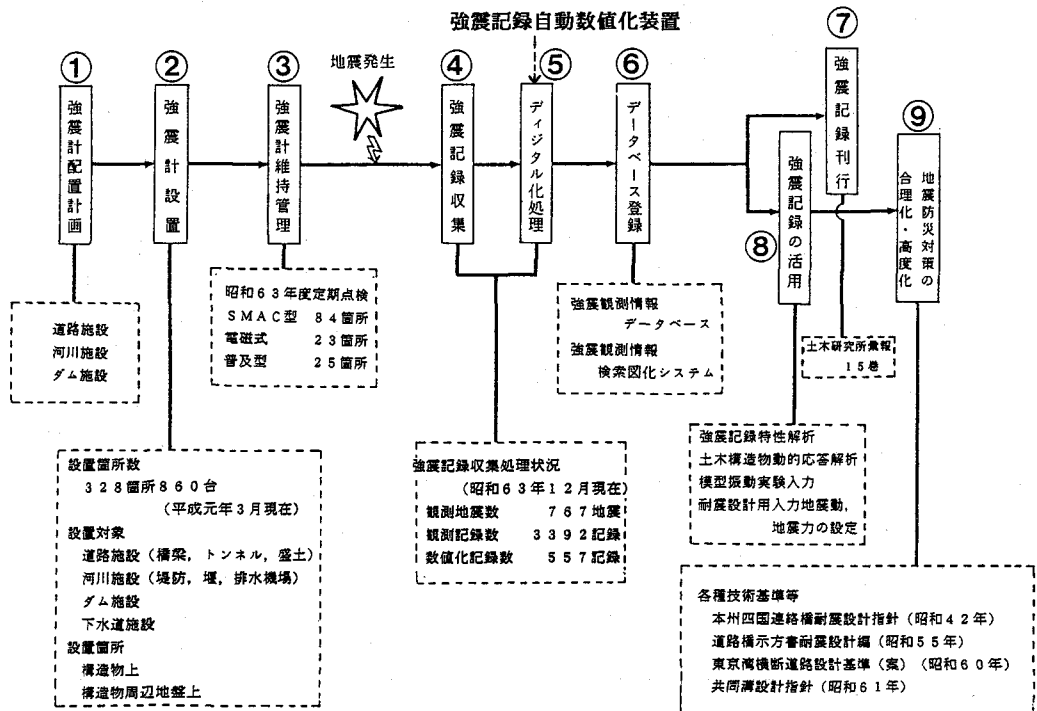


図-1 建設省における強震観測

であるが、記録の詳細な検討、活用するためには、数値化が必要である<sup>2)</sup>。昭和50年代に入って、磁気テープ上にアナログまたはデジタルで地震動を記録する強震計が普及してきている。この記録方式は、SMAC型強震計と比較して高精度であり、記録の後処理も容易であるが、観測の歴史が浅く、現在においてもSMAC型強震計の約半数ほどしか設置されていない。SMAC型強震計の耐用年数は20年以上であるので、SMAC型強震計が現在及び近い将来においても強震観測の主流である。

また、最近では本州四国連絡橋等の長大な構造物も建設されており、やや長周期領域の地震動特性も工学の対象となっている。この領域における地震動特性の解明のため、土木研究所では、気象庁で観測している一倍強震計による地動変位のアナログ記録を借り受けて解析を進めている<sup>3)</sup>。この記録もSMAC型強震計記録と同様ペン書きのアナログ記録であり、解析への活用のためには数値化処理が必要である。

### 3. 従来の数値化方法

従来は記録紙上のアナログ記録を数値化する手法として、ディジタイザーを用いて、人手により1点1点デジタルデータを作成していた。図-2に数値化作業の概要を示す。この作業は、例えば1978年宮城県沖地震の際に開北橋周辺地盤上に設置されていたSMAC-B2型強震計(12.5gal/mm, 1sec/cm)により得られた振幅2~3cm, 長さ約30cmの加速度波形を1500点程度(平均して0.2mmピッチ)で読み取るために、読み取り波形の判定、修正作業を含めて8時間程度を必要としていた。このように、ディジタイザーによる作業は、多大な労力と時間を要し、精度面でも人間の読み取りのため限界があった。得られたデジタルデータについては、種々の検討作業を実施しデータの利用範囲を定めている<sup>2)</sup>。ただし一方では、記録されたアナログ波形には、かすれや汚れがあるのが通常であるが、これらは人間の目で容易に識別でき、これを補正しながら読み取りを行なうことができるという利点もあった。

### 4. 強震記録自動数値化装置

#### 4.1 自動数値化装置の原理

本装置の原理は、記録紙全領域を細かい点の集合と考え、波形記録の線を構成する点をまず点的にラスタデータとして認識し、次に波形記録線の中心位置を線の両側からデータを削り取る細線化手法により検索し、その中心位置を近似するようにベクターデータを発生させ、その座標値をデジタルデータとして出力するものである。自動数値化処理の流れの概要を図-3に示す。この原理によ

表-1 施設別, 強震計型式別強震計設置状況

平成元年3月31日現在

文 寸	高 度	方 位	設 定	箇 数	強 震 計 型 式		
					S M A C 型	電 磁 式	普 及 型
					箇 数 (台 数)	箇 数 (台 数)	箇 数 (台 数)
道 路 施 設				174	126 (251)	30 (130)	18 (102)
河 川 施 設				39	25 (51)	6 (13)	8 (20)
ダ ム 施 設				109	25 (54)	49 (149)	35 (77)
下 水 道 施 設				6	6 (13)	0 (0)	0 (0)
合 計				328	182 (369)	85 (292)	61 (199)

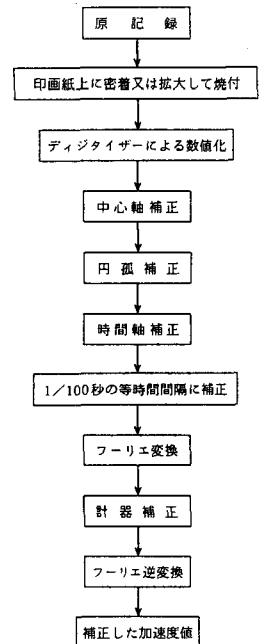


図-2 従来の数値化処理フロー

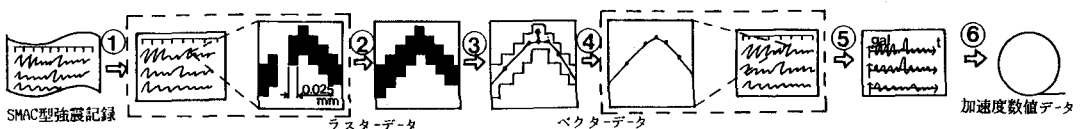


図-3 自動数値化装置による数値化処理

て自動数値化処理するときの問題点は、1) 記録波形の持つ情報を最大限に引き出すために読み取り分解能を上げること、2) 記録波形に含まれる線のカスレや線の細まりを補正できること、3) 記録波形のにじみや重なりを補正できること、4) 記録波形以外の不要なよごれを除去すること、5) 高速、高精度にベクターデータを発生できること、6) 読み取り波形を参照しつつ発生したベクターデータの修正が容易に行えること、などである。今回導入した装置では、ハード及びソフトにより上記問題を解決している。スキャナーの読み取り分解能は1/40mm (0.025mm) としている。これは、従来用いてきたディジタイザーの分解能が1/40mmであり、また分解能が低い場合には、ベクトル化の段階で図-4に示す現象が現れるためである。









実 波 形	読 取 り 波 形	説 明
		ピークが一本線になる。
		まるみのある波形が角張る。
		短周期成分が読み取れない。
		小振幅波形が直線化する。

図-4 低分解能における読み取り波形の問題点

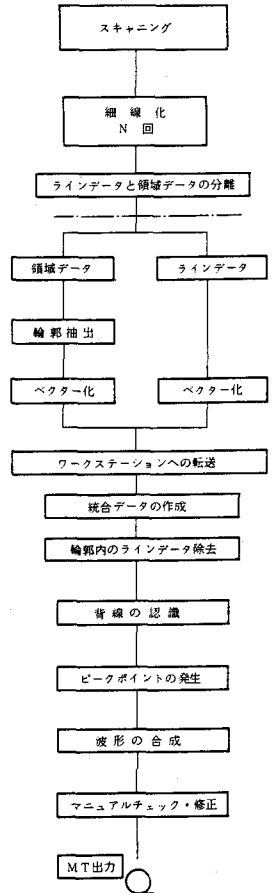


図-5 自動数値化装置による気象庁一倍強震計処理フロー

#### 4. 2 自動数値化装置の機能

現在処理の対象としているのは、SMAC型強震計記録および気象庁一倍強震計記録である。SMAC型強震計記録は、水平2成分、鉛直1成分の合計3成分の波形記録に対して、1本のタイムマークが記録されている。観測時の紙送り速度の補正を行うためタイムマークを読み取る必要があり、また気象庁一倍強震計記録については、背線（波形に重なって記録されている平行線）を除去する必要がある。このため、強震記録自動数値化装置システムコントロールソフトの他にこれ等の強震記録特有の特徴を処理するためのプログラムを開発している。

気象庁一倍強震計記録の処理フローを図-5に示す。背線を含む記録の全体をラスターデータ化し、波形ならびに背線を1dotになるまで細線化する。次に、対象記録の一部に背線除去エリアを設定し、この範囲内の平行線に対してエリア内の左端と右端を対話処理により識別し、両端を結ぶ直線を中心とする幅0.3mmの範囲にあるデータを別のデータ層に記憶させる。この操作により、以後のデータ処理において背線を含まない波形部分の処理が可能となる。また、波形の重なりに対しては、重なり部分の輪郭を領域データとして抽出し、輪郭データ内部より見て凸部分をピークとして認識し、波形を作成している。

#### 4. 3 機器構成

機器構成は、図-6に示す1) データ入力部、2) データ処理部、3) データ記憶部、4) データ出力部に大別できる。データ入力部では、前述のように1/40mmの分解能を得るためにドラムスキャナーを用いている。データ処理部では、細線化およびベクターデータの発生を高速で行なうとともに、ワークステーション上で背景の波形輪郭を参考にしてベクターデータの修正を容易に行えるよう工夫している。また、データ記憶部は、300Mbyteの容量を有し、ラスターデータおよびベクターデータの格納が可能である。データ出力部では、磁気テープ上にベクターデータの出力が可能で

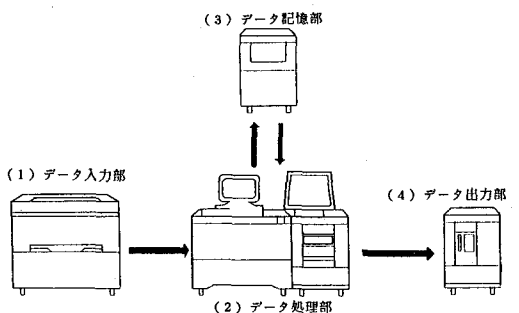


図-6 自動数値化装置機器構成

ある。表-2に自動数値化装置の主要諸元を示す。

#### 4. 4 精度検討結果

本装置を導入するに当たっては、複数の画像処理装置を用いて、読み取り精度の検討を実施している<sup>4)</sup>。検討では、ディジタイザーによる読み取り値との比較および既知のデータの読み取り値との比較を、時間領域及び振動数領域で行なっている。検討結果の一例を図-7及び図-8に示す。ここで原データとは、前述した開北橋記録をディジタイザーにより不等時間間隔で読み取った値を図化したものであり、記録線の太さを実記録の太さ0.1mmと合わせるため、原寸の2倍の拡大率でプロッター出力した後に写真で1/2に縮小し読み取り原図としている。自動数値化装置によるデータ数は約3,300点であり、図-7において最大加速度比は0.99、全継続時間の相互相関係数は0.98である。また、図-8に示す加速度応答スペクトルにおいて、周期1.5秒以上の領域で若干の相違が見られるものの、短周期領域においてはよい一致を示している。周期1.5秒以上における相違の原因としては、写真縮小による原図作成の際の歪み、読み取りデータの記録線中心位置からの微小なズレ等が考えられる。さらに、数値化に要した時間は、従来のディジタイザーによる数値化が8時間であったのに対して、3時間に短縮されている。要した時間の6割程度は対話処理によるカスレ、ヨゴレの補正およびベクトルデータの修正であるので、今後データ補正のソフトウェアの拡充等により処理時間はさらに短縮できると考えられる。

#### 5. まとめ

建設省土木研究所が導入した強震記録自動数値化装置の原理、機能および精度検討結果について報告した。本装置を用いることにより、数値化作業時間の短縮、作業労力の軽減が図られた。なお、導入に先だって実施した機器構成の検討ならびにソフトウェアの評価に当たっては、東京大学地震研究所工藤一嘉博士、東京理科大学理工学部大林成行教授、運輸省港湾技術研究所野田節男博士、建設省建築研究所北川良和博士の御指導と御協力を頂いた。これらの方々に対して感謝する次第である。

参考文献：1) 佐々木康他：強震観測情報データベース，土木技術資料，第29巻9号，1987年9月。2) 川島一彦他：数値化精度を考慮したSMAC-B2型強震計記録の計器補正法および変位計算法，土木学会論文報告集，第325号，1982年9月。3) 川島一彦他：気象庁一倍強震計記録に基づく長周期地震動特性の解析，土木研究所資料，第1869号，1983年3月。4) 岩崎敏男他：強震記録の自動数値化方法に関する検討，土木研究所資料，第2714号，1989年2月。

表-2 自動数値化装置主要諸元

1) データ入力部	ドラム式走査 読み取り範囲 730mm×1040mm 分解能 最大40dot/mm 識別色数 8色
2) データ処理部	CPU 16bitマルチプロセッサ ラスタメモリ 56Mbyte G D 20インチ 1024×780 ワークステーション CPU 32bitVLSIプロセッサ ディスクメモリ 160Mbyte G D 20インチカラー
3) データ記憶部	記憶容量 300Mbyte データ転送速度 25Mbyte/sec
4) データ出力部	800/1600 B P I 300~1600 フィート

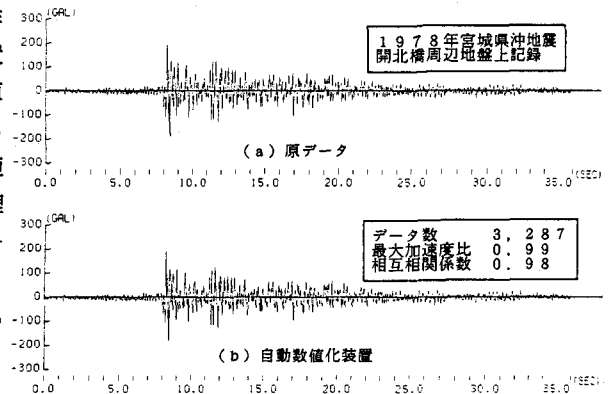


図-7 自動数値化装置の精度検討(時刻歴波形)

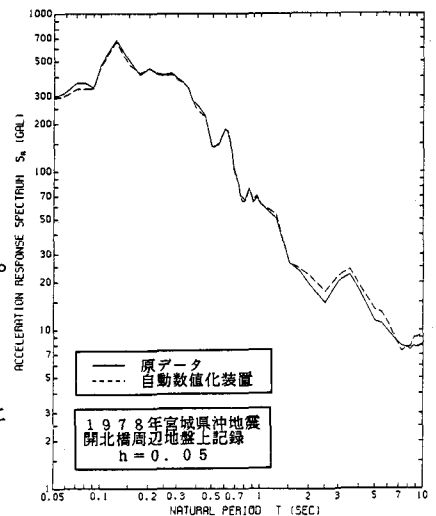


図-8 自動数値化装置の精度検討(加速度応答スペクトル)