

ミニコンピューターによる短周期地震波の多成分観測

後藤 典俊・入倉孝次郎・赤松 純平

DIGITAL RECORDING OF SHORT PERIOD SEISMIC WAVES CONTROLLED BY MINI-COMPUTER

By *Noritoshi GOTO, Kojiro IRIKURA and Junpei AKAMATSU*

Synopsis

A digital recording system using mini-computer for short period seismic waves is described. Some methods to discriminate P wave's arrival from noises are discussed. In this system P wave's arrival is detected by means of examining amplitudes of the signals at several observational points considering the phase lags.

1. はじめに

地震波を観測し、地震波の発生および伝播の機構や地盤の震動特性の研究を行うには、デジタルデータによる厳密な波形解析の方策を講ずる必要がある。このためには、地震波を観測する時点で、精密なデジタルデータに変換することの可能な記録方式を考慮しなければならない¹⁾。

近年アナログデータレコーダによる観測が行われるようになってきたが、これによる観測では、ダイナミックレンジが狭く 40 db 程度であり、また長期間の連続観測には不向きである。エンドレス方式のデータレコーダや磁気ドラム等の遅延記録装置を用いた観測では、スターターの誤動作、遅延時間が固定されていること、記録再生をくり返すため S/N 比が低下すること、等々の問題点がある。これらの問題を解決するには、デジタル記録方式による連続観測装置の開発を考慮する必要があるが、制御機能を持たないデジタル磁気記録器は長時間の連続記録が不可能である。

ここでは、ミニコンピューターによるオンライン制御のもとに、短周期地震波のデジタル連続観測を行う方式を考える。このために、京大宇治構内および周辺に設置されている地震波観測網により観測される地震波の性質を調べ、その性質にもとづいて地震波の判定を行う方法を吟味する。

2. 観測点および観測記録装置

観測点は京都盆地南部の京都大学宇治構内および 2 km 東に位置する黄檗山の岩盤である。換振器はすべて固有周期 1 秒であり、構内は沖積あるいは洪積層の地盤で地表および地中 20 m, 50 m に設置されている。黄檗山は、古生層の露頭上に設置されており、テレメータによって信号が送られている。

観測記録装置のブロック図を **Fig. 1** に、そのおもな性能を **Table 1** に示す。

3. 記録方式

3-1. 地震波判定の方法 地震波を P 波初動から coda parts までデータとして記録するために、地震波とノイズの識別を正確に行う必要がある。P 波初動から確実に記録するために、雑微動のような定常的な信号以外を 1 次判断においてすべてチェックする。ここで異常と判断された信号を、地震波の性質にもとづいてさらにくわしく確かめるための 2 次判断を用意する。また、地震波の終了を判定する 3 次判断も考えねばならない。

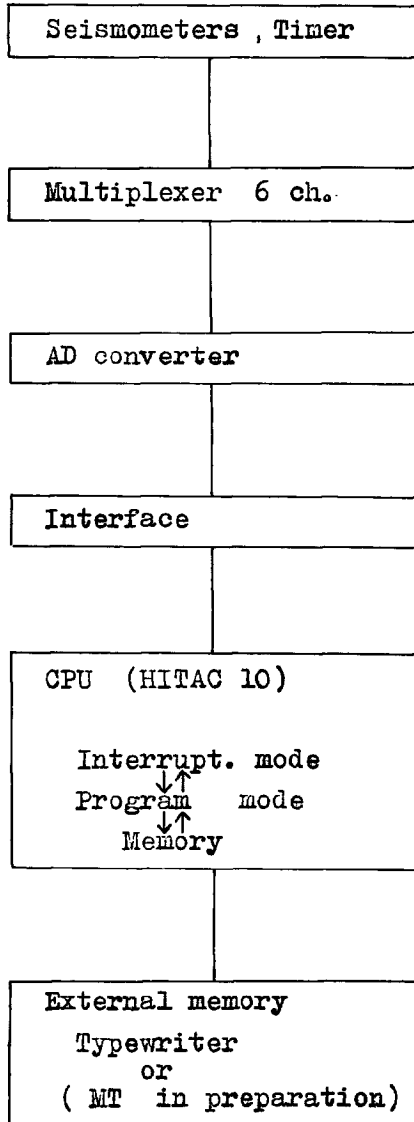


Fig. 1 Block diagram of digital recording system.

とくにここで用いている地盤では、自動車の通過等の突発的なノイズがある。1次判断としては、各観測点間のP波伝播時間を考慮し、各地点とも振巾レベルが定常的なノイズのレベルを越えた時地震と判断する。2次判断として、1次判断で判定されたデータの前後について cross correlogram を計算し、そのレベル、形によりノイズと地震との区別を行うことが考えられる²⁾。2次以降の判断方法は、用意されている周辺機器により変わる。

3-2. フローチャート 現在の記録装置は、ミニコン容量8K語であるうえ、まだ、磁気ドラム、磁気テープ装置等の周辺機器も設置されていないので、1次判断のみで観測記録の制御を行っている。

1次判断では、地中50m、20m、岩盤上でのノイズレベルを定数として与え、それらのレベルを各地点とも越える場合を地震と判定する。Fig. 2に1次判断のタイムチャートと判定条件が示されている。AD変換は1msごとにch.1からch.6まで順に行われるが、コアメモリにストアされるデータは、図示されるごとくチャンネルあたり12msであり、他のデータはストアしない。

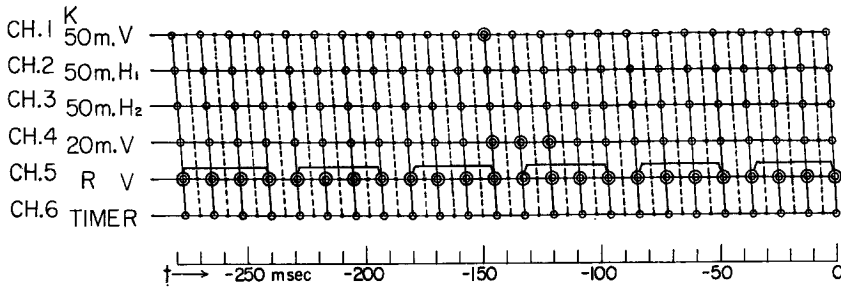
判断の流れを追跡すると、図中ch.6の右端のデータのストアが完了した現時点から、過去にさかのぼったch.1(地中50m)の二重丸のデータのレベルを判定する。ここでさかのぼる時間(149ms)は、各観測点のP波初動の予想される最大の位相差を考慮したものである。図に示される判定条件1が満たされた場合には、判定条件2を吟味する。

判定条件2は、図のch.4(地中20m)の二重丸のデータを時刻を追って順に1データずつ判定し、レベルを越えるデータがあれば、判定条件3の吟味に移る。ここで判定に用いられるデータは、鉛直方向の位相差を考慮して決められている。

判定条件3はch.5(露岩)の4データの絶対値の和を時刻を追って判定する。和を用いたのは、テレメータによるパルス状の高周波ノイズによる誤判定をさけるためである。

Table 1 Main features of instruments.

Multiplexer	6 channels
AD converter	sampling 1 msec input level ± 1999 mV
Minicomputer (HITAC 10)	16 bits/word, 8 k words cycle time 1.4 μ sec basic instruction 68



DISCRIMINANT CONDITION (FIRST ORDER) SAMPLING TIME
 A/D CONVERTER 1 msec
 STORED DATA $\Delta t = 12 \text{ msec / CH.}$

1. CH.1 $|D(t)| > \text{LEVEL 1}$
 AND
2. CH.4 $|D(t)| > \text{LEVEL 2}$ OR $|D(t + \Delta t)| > \text{LEVEL 2}$ OR $|D(t + 2\Delta t)| > \text{LEVEL 2}$
 AND
3. CH.5 $|D(t - 11\Delta t)| + |D(t - 10\Delta t)| + |D(t - 9\Delta t)| + |D(t - 8\Delta t)| > \text{LEVEL 3}$
 OR
 $|D(t - 7\Delta t)| + |D(t - 6\Delta t)| + |D(t - 5\Delta t)| + |D(t - 4\Delta t)| > \text{LEVEL 3}$
 OR
 OR
 $|D(t + 9\Delta t)| + |D(t + 10\Delta t)| + |D(t + 11\Delta t)| + |D(t + 12\Delta t)| > \text{LEVEL 3}$

Fig. 2 Time chart of sampling of data and discriminant conditions of seismic waves. Data with double circles are in use of discrimination.

この方法によりオンライン観測された地震の判定の実例が Fig. 3 に、また、このプログラムのフローチャート、および各判定条件ごとのアセンブラのステップ数と演算時間が Fig. 4 にそれぞれ示されている。

条件 1, 2, 3 の各段階で、地震でないと判断すると、以後の条件吟味は打ち切り、次のデータ (12 ms 後) の吟味を同じプロセスによって行う。また、3 条件がすべて満たされた場合は地震と判定し、定められた個数だけ過去にさかのぼり、そこから所定の数のデータがストアされた後、紙テープにパンチアウトする。紙テープへの出力後、ただちに次に発生する地震を待つ状態に復帰する。以上の計算は Fig. 4 のプログラムモードによって行われる。

一方 AD 変換器、入力インタフェイスを通してのデータ入力は、Fig. 4 の割込みモードにより処理される。ここで使用しているミニコンピューターには経時時計機構が付加されておらず、外部の入力装置の時計により割込み要求のフラグがセンスされる。このフラグセンスによりプログラムの流れは、プログラムモードから割込みモードにハードにより変えられる。

割込みモードでは、プログラムモードに復帰するための定数 (アキュムレータ、プログラムカウンタ等) を待避させた後、割込みの要因解析を行う。ここで入力割込みと判断して、図の入力ルーチンによりデータの処理を行う。入力ルーチンでは、AD 変換器からデータを読みとり所定の番地にストアし、プログラムモードに復帰する。割込みモードに要する時間は、入力されたデータのチャンネル数やストアするか否かによ

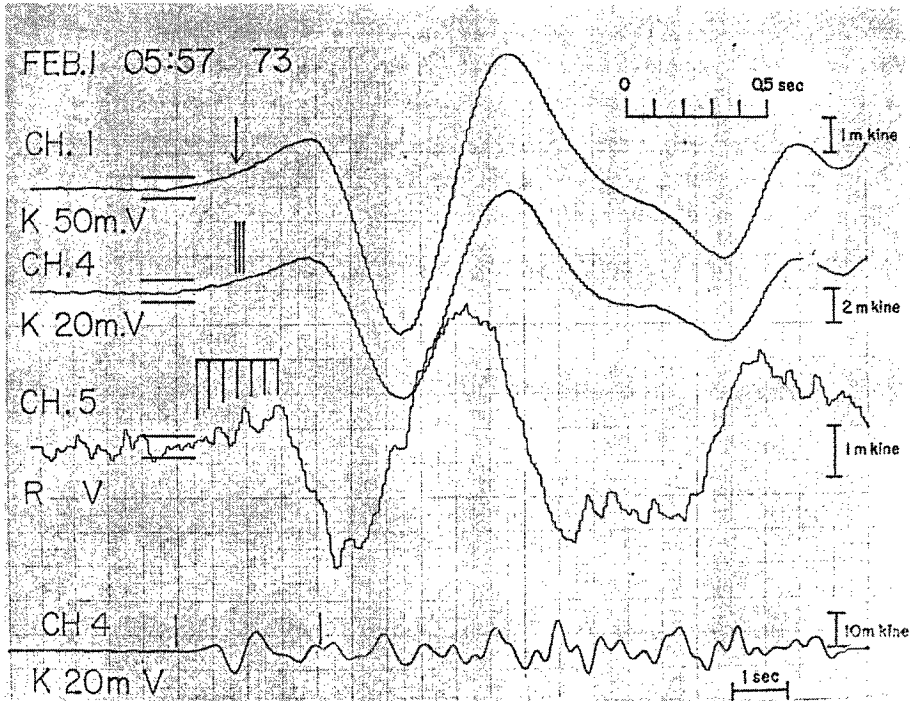


Fig. 3 An example of discrimination of the initial parts of P waves. Upper three traces are enlarged five times as large as lowest one in amplitude and time axes. P waves' arrivals are detected at the point shown by ↓, and the levels for discrimination are also shown before the initial parts of P waves.

- CH. 1: underground (-50 m)
- CH. 4: underground (-20 m)
- CH. 5: outcrop at Mt. Ohbaku.

り変わるが、平均 $186 \mu\text{s}$ である。

プログラムモード、割込みモードの時間的な流れは、Fig. 4 の上部に示してある。ch. 6 のデータを割込みモードにより処理した直後のプログラムモードから、先に述べた地震判定を行うが、次のデータがそろふ以前に判定を終了するには $9.77 \text{ ms} (12 \text{ ms} - 186 \mu\text{s} \times 12)$ のプログラムモードが使用できる。現在使用しているプログラムでは各条件判定に必要な時間は最大 1.6 ms であるので、2次判断、3次判断のための時間的余裕は残されている。

刻時の方法は現在 ch. 6 に時計の出力波形を記録させているが、マルチプレクサーのチャンネルを占有せずにサンプルタイムを利用することにより、改良する余地がある。すなわち、地震波の開始に先立ち、開始時刻を次の方法により設定することができる。マルチプレクサーへはすべて時計の時マーク信号、あるいはラジオの時報を入れておき、時マーク信号の検知以後データのサンプルの回数を数える。その後、地震計からの信号を入力に接続し、コンソールのデータスイッチによりプログラムの流れを地震波観測に移す。また同様に、プログラムの流れを地震波観測用から時計較正用に移すことにより、刻時の較正も容易にできる。

オンライン観測された地震波の記録例を Fig. 5 に示す。

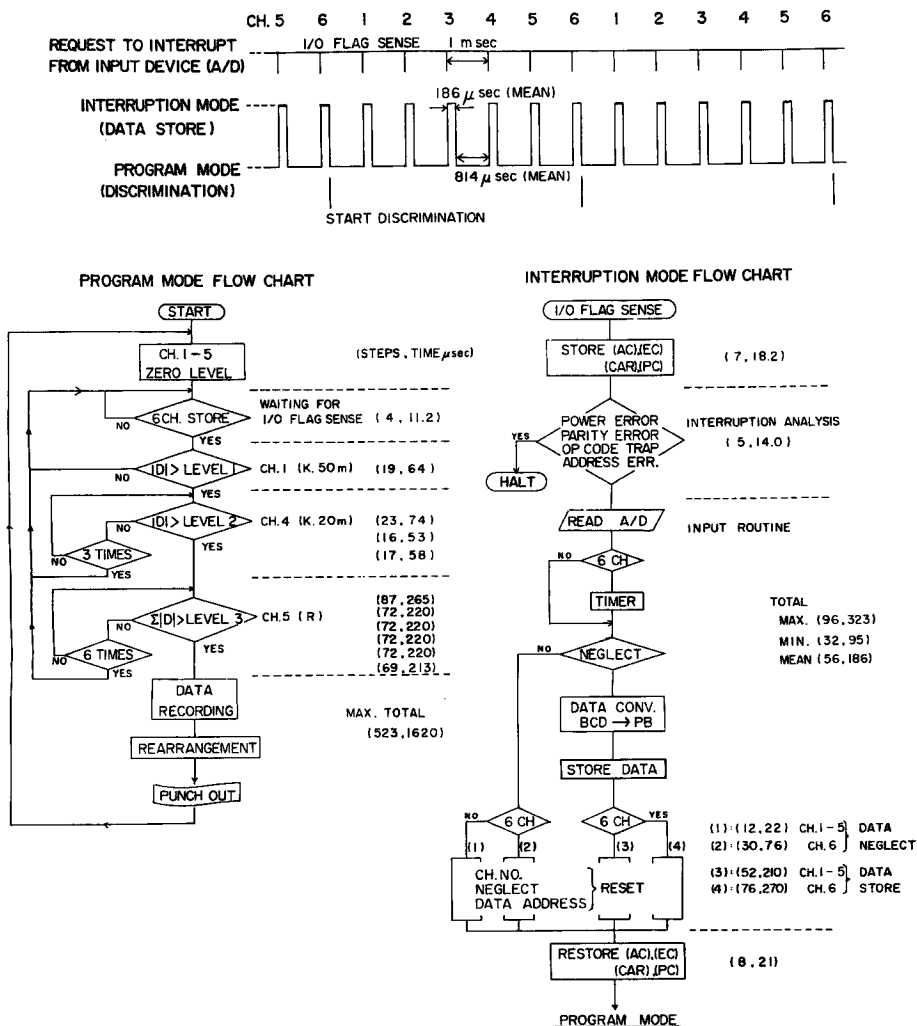


Fig. 4 Time chart and flow chart. Time chart (upper) shows the relation between the program mode and the interruption mode. Flow charts (lower) are described with the number of program steps and the calculation time.

4. 地震波の性質

地震波判定のための2次判断の方法を考えるために、ノイズおよび地震の波形の解析を行い、その性質の違いをしらべる。

Fig. 6 に各観測点のノイズ上下動成分の波形とそれらのスペクトル密度および cross correlogram が示されている。ノイズの波形を見て明らかのように、いずれの地点でも約 2 Hz の波が大きい。地盤の地表、地中では高周波成分も含まれている。スペクトル密度の図でみると、2 Hz 近傍にピークがあり、岩盤では 5 Hz 以上でレベルが低くなる。また、地盤の地表と岩盤では 10 倍以上のレベルの違いがある。以上の特徴は cross correlogram にも明瞭に表われている。cross correlogram は図の seismogram を 4 区間に

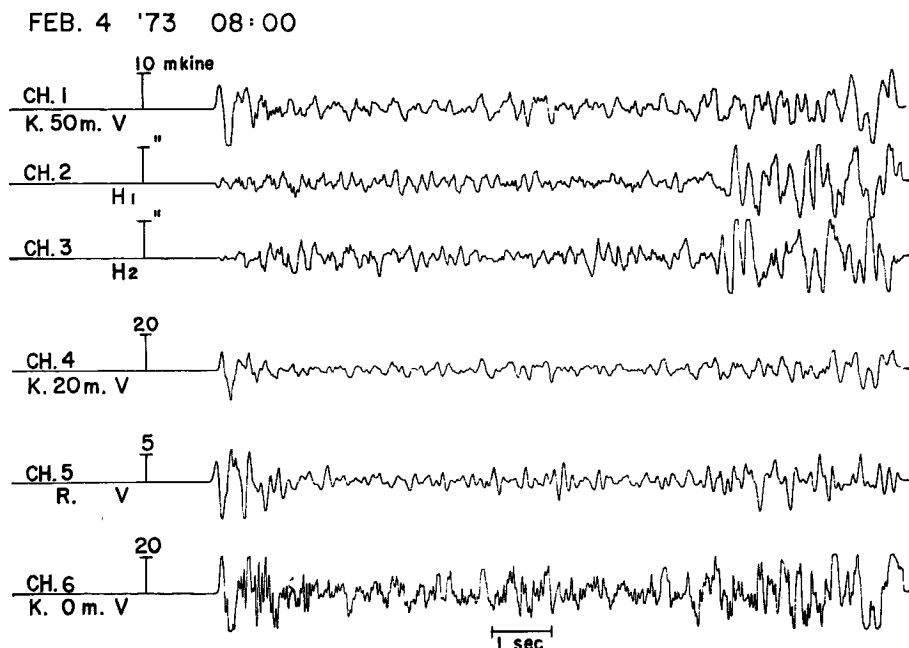


Fig. 5. Digital recording of an earthquake.

分け、それぞれの区間について求めたものを時間の順に上から並べたものである。図の左に相対的なレベルが縦線で示されている。

Fig. 7 は P 波初動部分の振巾がノイズレベルと同程度の地震について、地中 20 m, 50 m の上下動成分の P 波初動前後の cross correlogram を求めた例である。それぞれの地震の s-p time は 3.5, 8.2 s であり、初動部分の見かけの周期は、約 200, 400 ms である。

解析区間の長さは演算時間を節約するために短くする必要がある。cross correlogram の形が見かけ周期と解析区間の長さとの関係によりいかに変化するかを調べるために、3 種類の区間長 (96, 192, 384 ms) について計算し、各区間の 1/4 ずつ時間軸を移動させ、時間を追って上から順に示されている。上の 4 つのトレースは P 波初動以前のノイズであり、次第に地震波が含まれてくる。図の左に解析区間に占める地震波部分の割合が示されている。初動検出のためには、解析区間の長さは少なくとも見かけ周期と同程度が必要である。速度検層による P 波速度分布からは、20 ms の位相差が予想される。

周期の短い Mar. 1 の地震では、P 波初動部分を解震区間を含む各トレースにおいて、20 ms 程度の位相差があらわれている。しかしながら、波長の長い Feb. 15 の地震では位相差はほとんど検出されない。この程度の深さの違いでは、位相差を用いて地震波の初動を検出することは困難である。

Fig. 8 は 2 km はなれた地盤地表と岩盤上との cross correlogram の例である。計算の方法は Fig. 7 と同様であるが、水平方向の P 波伝播の位相差を考慮して解析区間を長くし、384, 768 ms の 2 種類にした。これらの図からも、cross correlogram を刻々計算していくことにより、地震波が現われる様子を確認することができる。

以上に示すごとく、cross correlogram を 2 次判断に用いて、地震波判定を行うことは有効であると考えられるが、解析区間の長さおよび判定条件の設定は今後さらに検討を要する。

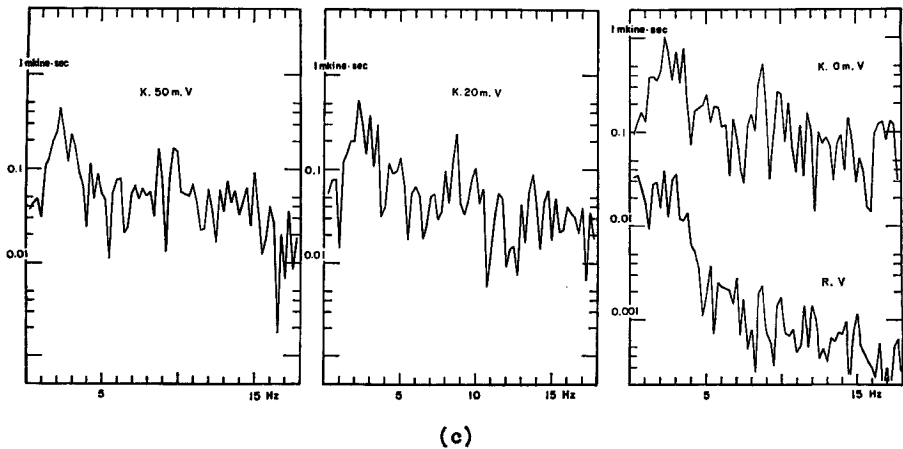
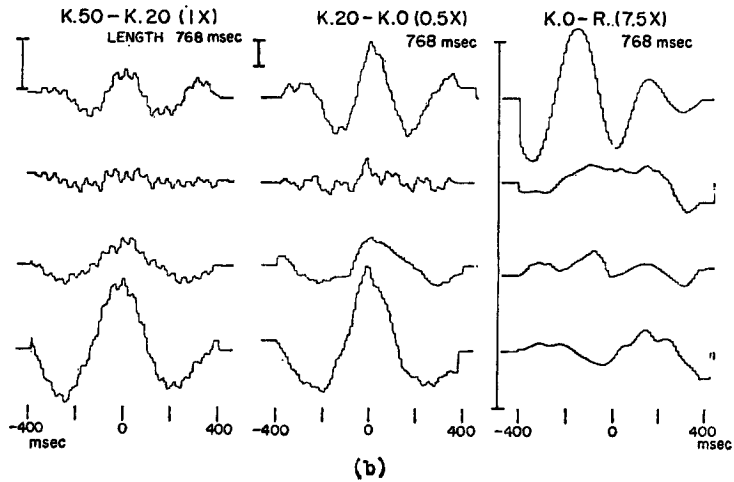
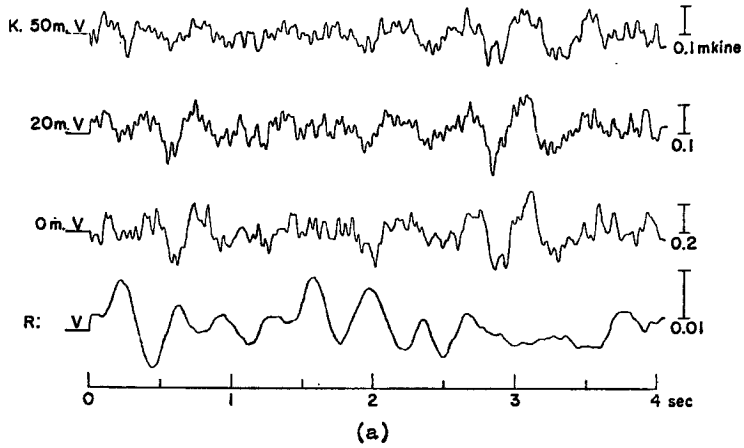


Fig. 6. Characteristics of ground noises. a) Vertical motions of ground noises. b) Cross correlograms. Correlation level is shown at the left side in each correlogram. c) Velocity spectral densities.

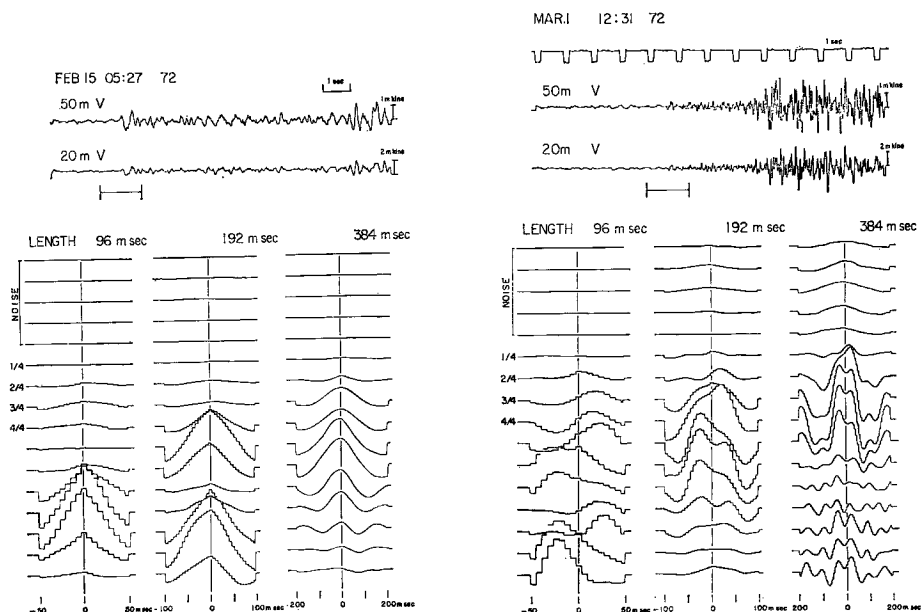


Fig. 7 Cross correlograms around initial portions of P waves observed at the depth of 20 m and 50 m at Uji Campus. Each trace is shown in sequential order. Analyses are made in the three cases; the lengths are selected 96, 192 and 384 m sec. The ratios of the length of P wave parts to the analyzed length are noted at the left side.

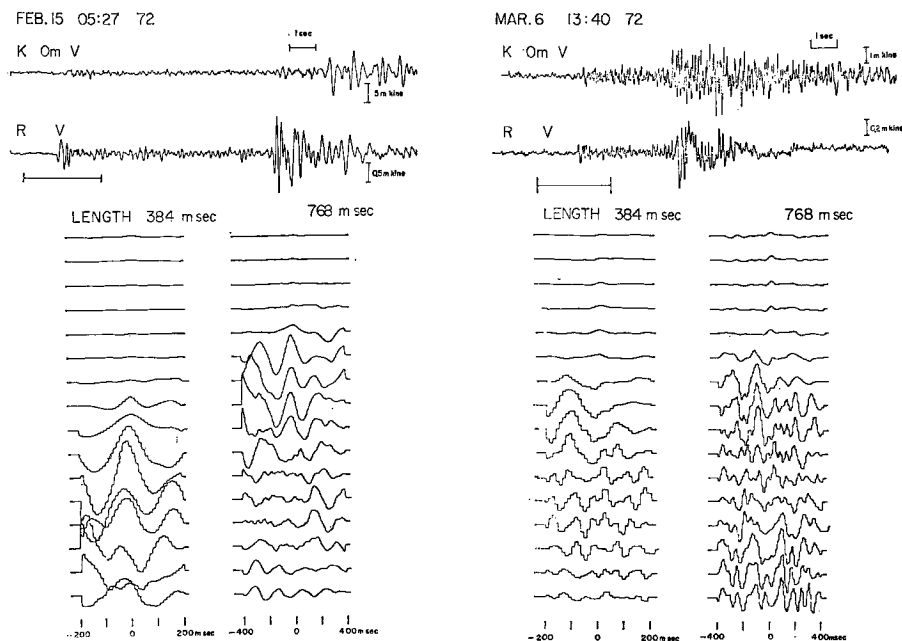


Fig. 8. Cross correlograms around initial portions of P waves observed at ground surface at Uji Campus and on the outcrop at Mt. Ohbaku. Each trace is shown in sequential order. Analyses are made in the two cases; the lengths are selected 384 and 768 m sec.

5. おわりに

現有の記録装置 (Fig. 1) は、磁気テープ等の補助記憶装置を持っていないので、プログラム領域、データ領域とも限られており、地震波の記録として残すデータの数が少く、また、2次判断以降のプログラムを組み入れる余地もない。しかしながら、継続時間の短かい地震波については、ダイナミックレンジが広く精度のよい digital 連続観測が可能になった。

現在使用している AD 変換器は $0 \sim \pm 1999$ の表示であるが主記憶の語長は 16bits であるから 1 語で $-2^{15} \sim +2^{15}-1$ までの表示ができ、ダイナミックレンジは AD 変換器、換振器の前置増巾型等の性能によっては、さらに大きくすることが考えられる。

プログラムの作製にあたっては、島通保教授の開発した各種のプログラムを参考にした。

謝 辞

京都大学防災研究所 吉川宗治教授、島通保教授には終始変らぬ御指導をいただいた。ここに謹んで感謝の意を表します。

観測実施に際しては、熱心な協力をして下さった防災研究所西正男技官、小林年夫技官に深く感謝の意を表します。

また、記録を解析するにあたり、瀬川一恵事務官の援助を得た。ここに深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 古沢 保：長周期地震波のデジタル観測，京都大学防災研究所年報，第15号 B，昭47. 4，pp. 63～68.
- 2) 鈴木次郎・山本清彦：相関係数を用いた初動の自動的な読み取りについて，地震学会秋季大会講演予稿集，昭45. 10，pp. 43.