

A/D変換器による地震波解析

古 沢 保

PROCESSING OF SEISMIC DATA USING ANALOG-DIGITAL CONVERTER

by Tamotsu FURUZAWA

Synopsis

The seismic data recorded on magnetic tapes were digitized with the A/D converter and punched on a paper tape. The digitized data were then filtered with some band-pass digital filters. Particle motions of the P and S waves in the horizontal plane obtained from filtered (high pass and low pass) data were compared with particle motions from unfiltered records.

1. 序 論

近年地震波形を電子計算機を用いて解析することが多くなってきたが、そのために記録を如何に数値化するかという問題が重要になってきた。従来行なわれている紙またはフィルム上の記録はトレーサー等を用いて電氣量に変換する必要があるが、速度、精度において劣るであろう。Adams and Allen¹⁾ に述べられた Eyeball 等の方法もあるが、複雑な波形に適用するにはまだかなりの困難があるようである。したがって地震波形を数値化するには一般に次の2つの方法が用いられる。1つは地震計より得られた信号を直接デジタル化し、デジタルの形で記録することである^{2), 3), 4)}。この方法は長周期の波を、特に routine として観測するためには望ましい方法であるが、近地地震のように短周期の波が卓越する場合にはサンプリングの周波数が高くなる故、データの数が増大になり、経費その他の点で具合が悪い。もう1つの方法は一度アナログの形で磁気テープに記録させ、興味のある範囲だけを電氣的に数値化する⁵⁾ことで、波の周期に応じてサンプリング周波数を選べる等の利点がある。近地地震、火山性地震、人工爆破等を扱うことが多い故、我々の所では後者の方法が用いられる。そのシステムについては既に報告されている⁶⁾。

数値化した地震波形に適当な frequency window をもつ digital filter をかけることにより、また振巾のスケールを変えることにより、いくつかの異なった周波数レスポンスを持つ地震計によって得られるのと同じ波形を1つの地震計の記録から得ることが可能である。つまり非常に広い dynamic range をもつ地震計と同じ効果があることになる⁷⁾。

地震波形の orbital motion を用いて発震機構、地下構造等の影響について調べることはこれまで多く行なわれているが、それは殆ど紙またはフィルム上の記録を読み取り、その結果を合成していくことにより wave orbit を得たものである。しかし digital system によれば X-Y 記録計を利用すれば比較的容易に particle motion を得ることができる。

この報告では新潟地震の余震の記録を A/D 変換器により数値化し、紙テープにパンチしたものを KDC-I によって digital filter をかけ、波形、particle motion の周波数による変化及び時間的推移等について述べる。

2. データ、解析並びに結果

用いた記録は1964年7月に新潟県北部の中条町において行なった新潟地震の余震観測によって得られたものの1つで、昨年度の年報⁸⁾にN4-649と番号づけられているものである。データレコーダーにより磁気テープ上にアナログ波形として得られた記録をAD変換器(DATAC1030)を用いてサンプリング周波数100c/sで数値化した。Fig. 1にこのようにして得られたデジタル波形をDA変換したものを示す。

昨年度の報告ではこのようにして数値化されたデータを紙テープにパンチし、P波初動ならびにS波初

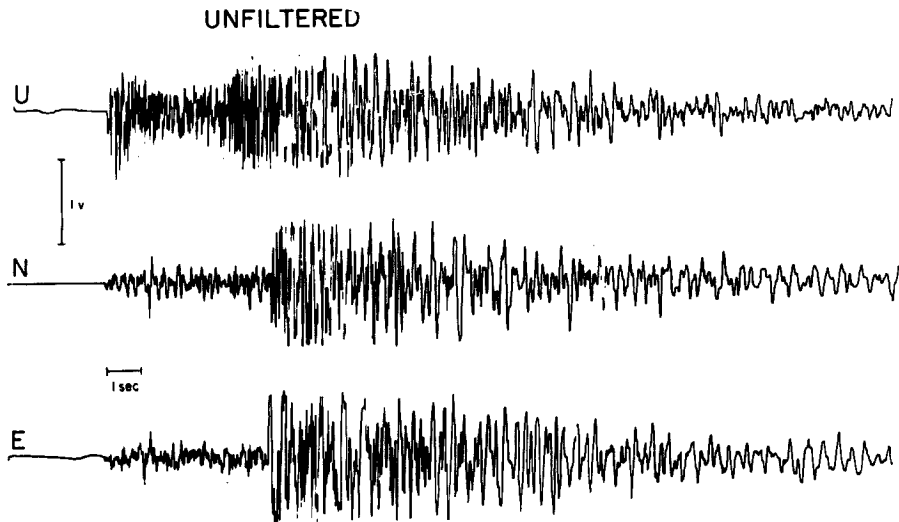


Fig. 1. Digitized earthquake N4-649 with sampling frequency of 100 cps.

動の部分についてX-Y記録計によってプロットさせ水平動2成分による particle motion を求め、さらに初動からS波到達までの間、いわゆるP波部分をフーリエ解析した結果を示した⁸⁾。それによると、particle motion はP波初動がほぼN40°Wの方向に明瞭な長軸を有し、S波初動と考えられる部分はP波初動の方向に大体直角の方向を示した(Fig. 2(a), (b))。またP波部分のスペクトルより大ざっぱに見て、約10cspを境に high frequency 成分と low frequency 成分とに分れるように思える。この結果によりN4-649の初動直前からS波初動到達後の主要動部分附近までの約6秒間に次のような digital filter をかけた。

$$\text{Frequency Domain ; } Q_o(f) = \begin{cases} 1 & |f| < 2\pi f_1 \\ 0 & |f| > 2\pi f_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Time Domain ; } D_o(t) = \frac{1}{\pi} \frac{\sin(2\pi f_1 t)}{t} \quad (2)$$

フィルター係数のレスポンス関数をFig. 3に示す。(2)式において $f_1 t = 3.75$ までとり、したがって $f_1 = 10$ すなわち10cps low pass の場合は係数の数が75個になる。また使用した地震計の固有周期が1cpsであることから1cps以下の周波数成分は当然小さくなる故、1cps low pass filter をかけ他と分離した。

この場合、 $f_1 = 1$ とすると $t = 3.75$ 、 $\Delta t = 0.01$ であるから係数の数は751個との必要がある。

filtering した結果の各周波数部分の波形をFig. 4(a), (b), (c)に示す。(a)(b)(c)3つの図は全て同じ範囲の記録を表わし、P波初動の立上りより0.25秒前から始まっている。1cps low pass はP波初動からS波までの間では振巾も小さく、あまり意味のある波形にはならない。したがってほとんど noise と考えてよいであろう。10—1cpsでは上下動成分の初動直後の振動が大きく、水平動2成分で初動から約1.2~1.5秒の附近に

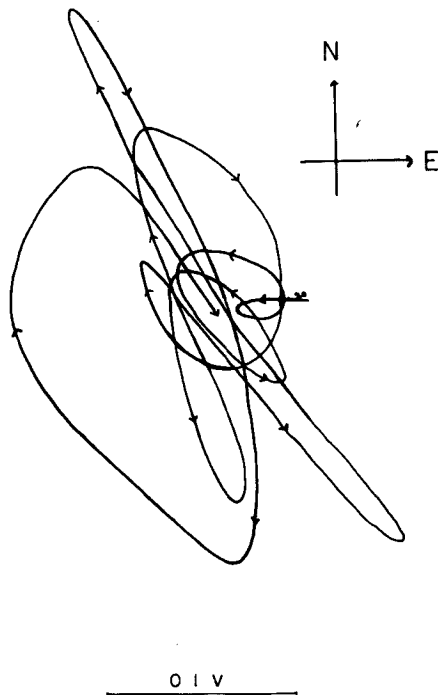


Fig. 2. (a) Particle motion in the horizontal plane of unfiltered earthquake : P initial motion.

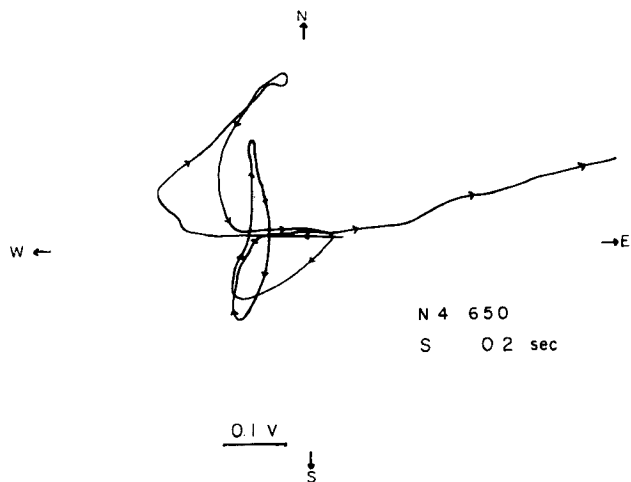


Fig. 2. (b) Particle motion in the horizontal plane of unfiltered earthquake : S initial motion.

FILTER COEFFICIENT

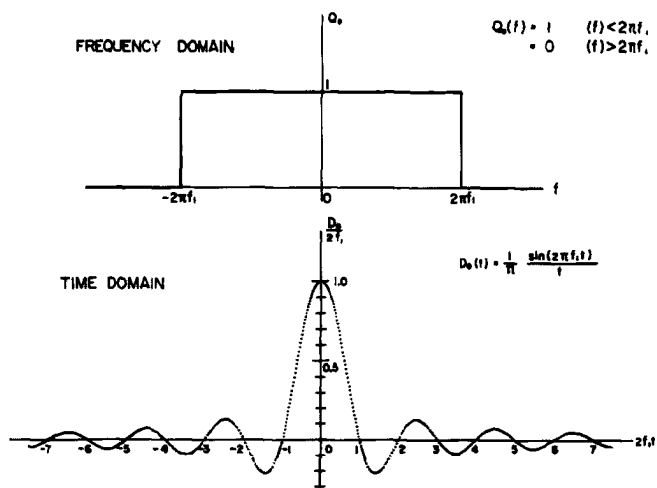
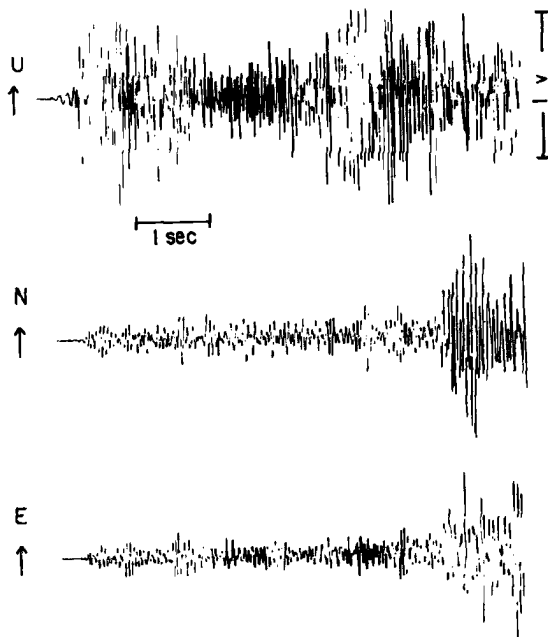


Fig. 3. The response of digital filter.

FILTERED

10 cps high pass

Fig. 4. (a) Filtered records of P - S parts of 3-comp. of N4-649.
10 cps high pass.

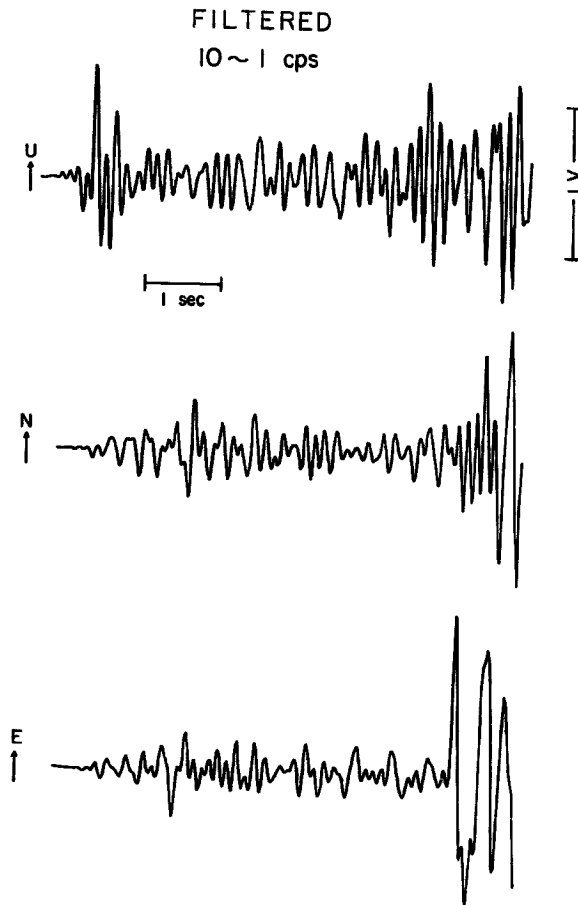


Fig. 4. (b) Filtered records of *P-S* parts of 3-comp. of N4-649, 1-10 cps.

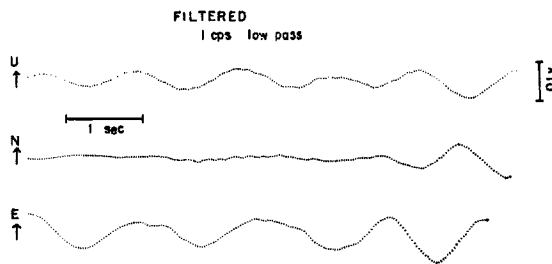


Fig. 4. (c) Filtered records of *P-S* parts of 3-comp. of N4-649, 1 cps low pass.

顕著な phase がみられるのが特長である。しかし全体としてみれば 10cps high pass と波形において大きな差異は認められない。上下動成分と水平動成分の初動の立上りに0.1秒程度の差があるのは 10cps high pass, low pass, filtering しない原記録の全てに共通する。これは水平動成分の立上り附近の振巾が小さいことに原因すると思える。

次に particle motion を考える。このため 10cps high pass と 10—1 cps 部分の P 波初動, 約 1.2~1.5 秒の所にみられる phase, S 波初動について水平面における particle motion をとる (Fig. 5, 6, 7)。Fig. 5 は P 波初動の部分で上側は low pass の初動以前 0.25 秒より初動到達後 0.4 秒まで, 下側は high pass 成分の左から初動より 0.4 秒まで, 0.4~0.7 秒, 0.7~0.9 秒の区間の particle motion を表わす。図において high pass 成分では初動から 0.4 秒まではほぼ $N40^{\circ}W$ の方向を示し, filtering しない原記録の場合 (Fig. 2(a)) と一致する。その後 0.4~0.7 秒の間は定まった方向を示さず, 0.7 秒以後再び約 $N55^{\circ}W$ の方向を示すようになる。一方 low pass の方は初動の立ち上り直後はあまり明瞭でなく, 0.1 秒附近から $N40^{\circ}W$ の方向を示し, 0.25

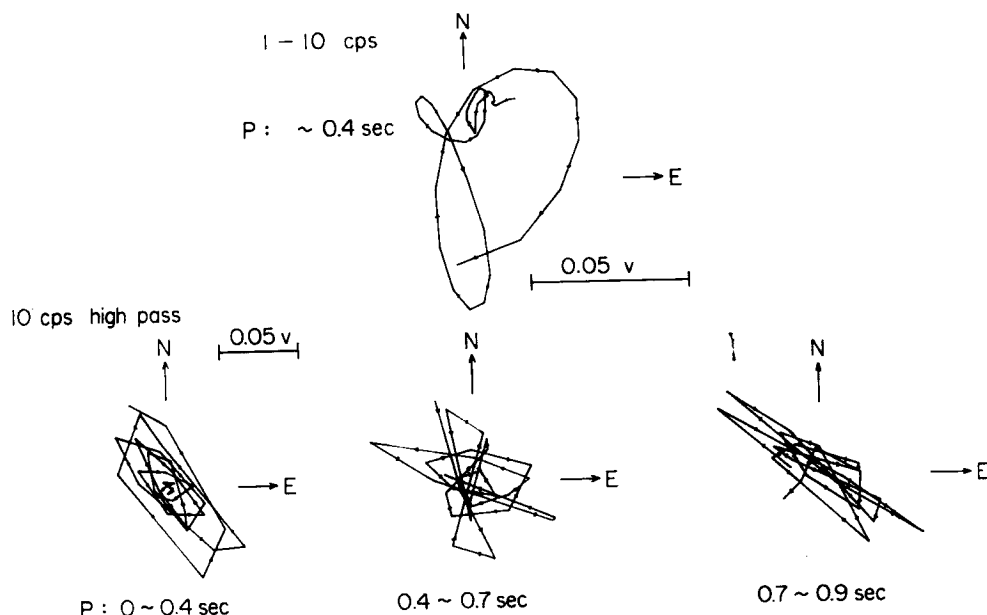


Fig. 5. Particle motions in the horizontal plane of initial P . Low pass filter 1-10 cps, 10 cps high pass filter.

秒以後それが $N10^{\circ}W$ の方向に転じる。その後 0.4 秒以後は明瞭な形を示さない。水平動成分の初動が小さく立ち上りが上下動より約 0.1 秒遅れて認められることを考慮すれば, filter をかける前, 10cps high pass, low pass の 3 つ共初動方向が一致すると考えてよいであろう。しかし初動以後は high frequency と low frequency でかなり異なる particle motion をもつが, これは Phinney et al. ⁷⁾ によっても述べられている。恐らく経路の相異, 地下構造による影響の受け方の相異によると思われる。Fig. 6 は Fig. 4 (b) の波形において約 1.5 秒附近に見られる顕著な相についての particle motion であるが, 左側の high frequency 成分ではあまりはっきりした phase ではないため, particle motion も定まらない。しかし右側の low frequency では $N55^{\circ}W$ の方向から $N25^{\circ}W$ の方向へと移る 2 つの長軸を持つ orbit を示す。この相が何に相当するかは震源の位置, 発震時等が正確でないため識別出来ないのが残念であるが, 周波数によって相異することは明ら

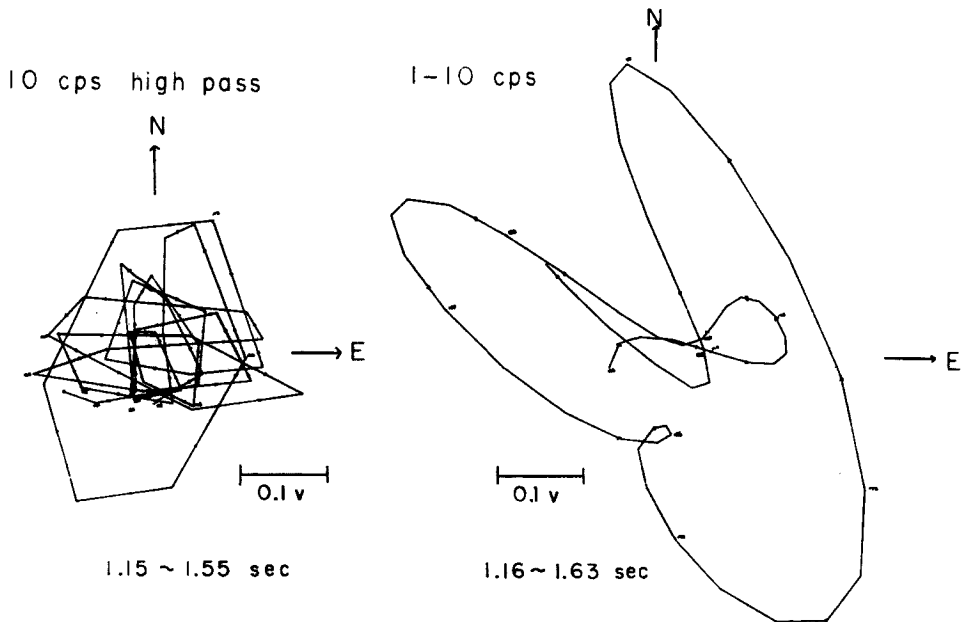


Fig. 6. Particle motions in the horizontal plane for 0.4-second intervals at 1.15 seconds after initial *P* motion, 10 cps high pass and 1-10 cps low pass.

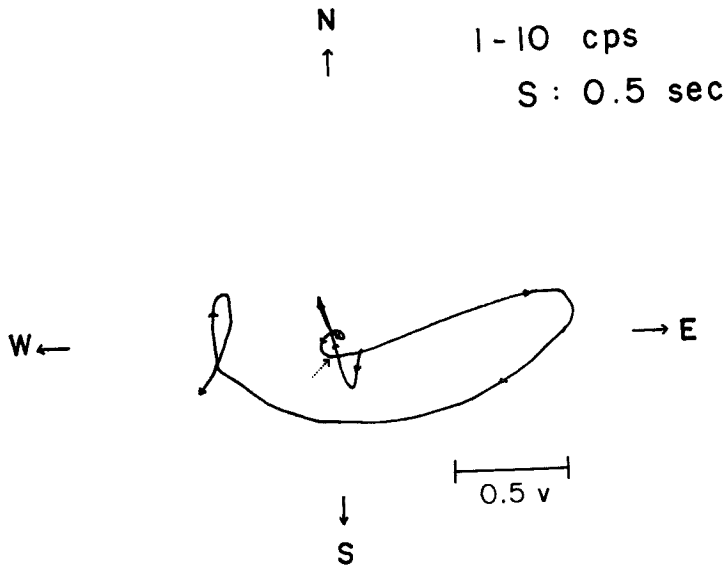


Fig. 7. Particle motion in the horizontal plane of initial *S* from 1-10 cps low pass.

かである。次にS波初動であるが, high frequency の方ははっきりしないが, low frequency の方はN70°Eの方向に polarized している。Fig. 7には low frequency のみを示す。

これはFig. 2 (b) の filter をかけない場合の S 波初動の方向と一致している。したがってこの場合S波とみなされる部分は 10cps low passの部分のみで構成されているようである。

3. ま と め

P 波初動については wave orbit が各周波数について一致するが, それ以後は high frequency と low frequency でかなりの相異がみられる。特にS波初動とみなされる部分で high frequency 部分にそれらしい wave orbit がみられないのはもう少し検討する必要がある。

また今回は phase identification がはっきりできなかったが, filtering することによって phase を分離できることは確かであり, これまで人間の目で読み取れなかった短周期の波をも高速度AD変換器によりサンプリングすることによって, 詳しく解析することが可能であろう。

この報告では水平面における particle motion のみを考慮したが, 上下動成分をも加えて, emergent angle 等をも考慮すれば, 地下構造の影響についてももう少しはっきりすると思われる。

終りにこの報告における計算は全て KDC-I によることを付記する。また終始ご教示下さった吉川宗治教授並びに高田理夫教授に深甚なる謝意を表すと共に, 解析その他の点でいろいろご指導下さった京都大学理学部和田卓彦助教授, 小野博尉氏に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Adams, W. M. and D. C. Allen : Reading Seismograms with Digital Computers. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 51, 1961, pp. 61—67.
- 2) Miller, W. F. : The Caltech Digital Seismometer. J. Geophys. Res., vol. 68, 1963, pp. 841—847.
- 3) DeBremaecker, J. Cl., P. Donoho and J. G. Michel : A Direct Digitizing Seismograph. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 52, 1962, pp. 661—672.
- 4) Haubrich, R. A. and H. M. Iyer : A Digital Seismograph System for Measuring Earth Noise. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 52, 1962, pp. 87—93.
- 5) Bogert, B. P. : Seismic Data Collection, Reduction, and Digitization. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 51, 1961, pp. 515—525.
- 6) Yoshikawa, S., T. Wada and T. Furuzawa : Application of Analog-Digital Converter for Seismic Data. Spec. Contributions, Geophysical Inst., Kyoto Univ., no. 4, 1964, pp. 105—110.
- 7) Phinney, R. A., and S. W. Smith : Processing of Seismic Data from an Automatic Digital Recorder. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 53, 1963, pp. 549—562.
- 8) 吉川宗治, 古沢保, 小野博尉 : 新潟地震余震観測, 防災研究所年報 第8号, 昭40.3, pp. 27—34.