

## (42) 地震波の簡易自動判別方法について

東京工業大学 総合理工 ○黒田健二・大町達夫

### 1. はじめに

地震観測データが増えてくるとこれを基にして震源決定を行う作業も容易ではない。そこでこの作業をコンピュータによって自動的に行わせる方法がいくつか試みられている。筆者らは簡便な微小地震観測監視通報システム<sup>1)</sup>を開発し、現在地震観測を実施中である。この研究は当システムで得られた記録の中から、震源決定に用いるP波とS波が含まれた地震記録をコンピュータによって自動識別し初動到達時刻を読み取る簡単な方法について検討したものである。

### 2. P波、S波初動到達時刻の自動読み取り

当観測システムではサンプリング200Hz、N-S、E-W、U-Dの3成分、トリガー時刻に10秒の遅延がかかった合計30秒間の記録が1ファイルとなる。ここで、読み取り対象とする記録はP波、S波が1ファイル中に含まれていること（S-P時刻が30秒以内であること）を前提とする。

#### 2-1. 振幅比による方法

地震波のうち実体波は地表面近傍ではほぼ鉛直下方から入射すると考えられる。よってP波到達時には地動の上下動振幅が卓越しS波到達時には水平動振幅が卓越すると考えられる。ゆえに、上下動振幅Vと水平動振幅Hの比をとってその値の変化点を探せばP波、S波の初動到達時刻を読み取ることができる。

ただし波形振幅の瞬時値の比は地震波の到来に関わらず短周期で変動して不安定なため地震波の識別には有効でない。そこで中村ら(1983)に従い振幅比を次式で定義する<sup>2)</sup>。

$$V/H(i\Delta t) = \sqrt{\frac{V(i\Delta t)}{H(i\Delta t)}}$$

$$V(i\Delta t) = X_{ud}(i\Delta t)^2 + \alpha V((i-1)\Delta t)$$

$$H(i\Delta t) = X_{ns}(i\Delta t)^2 + X_{ew}(i\Delta t)^2 + \alpha H((i-1)\Delta t)$$

ここで、 $X_{ns}$ 、 $X_{ew}$ 、 $X_{ud}$ はそれぞれ地震動のN-S、E-W、U-D方向の速度振幅

$\Delta t$ は時間間隔（ここでは0.05秒）

$\alpha$ は指数平滑化のための係数

図-1は地震記録の振幅比である。これを見るとV/Hは明らかにP波到達時にV/Hの値が立ち上がり、S波到達時に落ち込んでいる。よってV/Hについてグラフの正の最急勾配点を探せば、おおよそのP波の初動到達時刻を読み取ることができる。一方S波の場合はV/Hの負の最急勾配点よりもH/Vの正の最急勾配点を探した方が読み取り精度が良い。これはP波到達時に立ち上がったV/Hの値がS波到達時までは不安定に変動するため、S波到達時にV/Hの値が落ち込むよりも前に負の最急勾配点が生じるためである。H/Vの場合は分母にVがあるため、V/Hと比較してこの不安定部分の変動量が小さくなるので読み取り精度が良くなる。

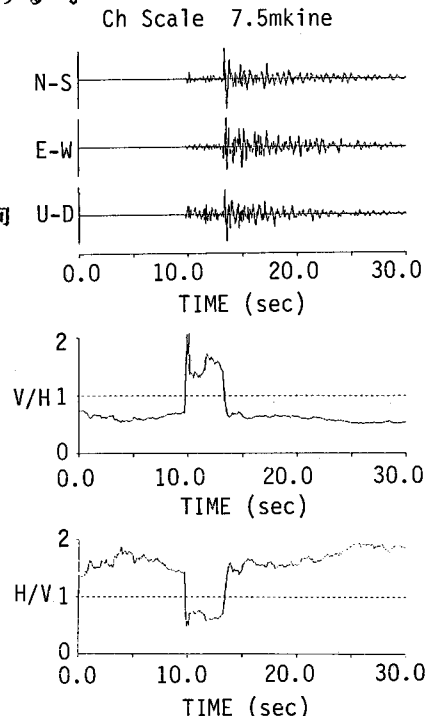


図-1 地震動の振幅比

図-1の振幅比のグラフの勾配は次式で表すことができる。

$$G_{VH}(i\Delta t) = V/H(i\Delta t) - V/H((i-1)\Delta t)$$

$$G_{HV}(i\Delta t) = H/V(i\Delta t) - H/V((i-1)\Delta t)$$

ここで、 $G_{VH}(i\Delta t)$ 、 $G_{HV}(i\Delta t)$ はそれぞれ $V/H$ 、 $H/V$ の $i\Delta t$ 時刻における差分

この方法の読み取り精度について検討をおこなった。当観測システムで得られた地震記録のうち、目視によってP波、S波が確認できた95個のファイルについて目視によるP波、S波到達時刻と上記の方法による到達時刻の誤差をみた。その結果、図-2に示すように目視による読み取り時刻の後0.5秒以内に、P波に関しては91.6%、S波に関しては88.4%の地震が読み取られた。コンピュータによる読み取りが目視による読み取りより多少遅れるのは、波が到達した後に振幅比の最急勾配点が生じるためであり、 $\Delta t$ を0.05秒より細かくしても精度は向上しないことが判明した。

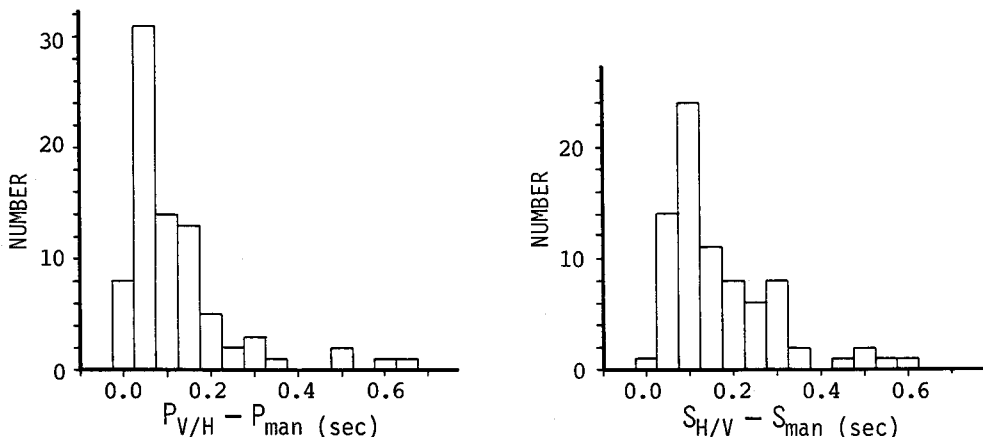


図-2 振幅比による方法での読み取り誤差

### 2-2. AICによる方法

振幅比による読み取り時刻を第1段階として、これをもとにさらに精度を上げるためにAICを用いた区間分割法を採用する。AIC(赤池情報量基準 An Information Criterion)<sup>3)</sup>は地震波の自動読み取りにおける有効な判断基準として、近年次第に用いられるようになってきている<sup>4)</sup>。

AICは次のように定義される。

$$AIC = -2 \{ (\text{モデルの最大対数尤度}) - (\text{モデルの自由度}) \}$$

AICはモデルの悪さの指標であるので、AICが最小となればあてはめたモデルのうちでもっとも正しいと判断できる。

AICを用いた区間分割法は、まず読み取り対象区間を与えこれを分割点で2つに分けることを考える。分割された2つの区間にそれぞれ最尤法によりモデルを当てはめ、これよりAICを求める。この分割点を次々にずらしながらAICが最小となる点を求め、これを読み取り時刻とする。ここでは振動のモデルとして正規分布モデルを用いる。読み取り対象区間は振幅比による読み取り時刻を基準に、前1秒、後0.5秒とした。区間分割法は3成分についておこない3つの読み取り時刻のうちでもっとも確か

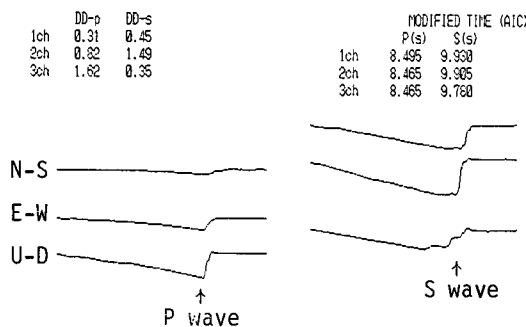


図-3 P波、S波到達時におけるAIC

らしいものを最終的な読み取り時刻とする。この確からしさを表すために、AIC最小点での2階微分値 [前田(1985)]<sup>5)</sup> を3成分について求める。AICが最小値付近で明瞭に曲がれば2階微分値が大きくなるはずである。よって3成分のうち2階微分値が最大となる成分の読み取り時刻を最終的な読み取り時刻とする。

2階微分値は次式で求める。

$$DD = \{AIC(k_{min} - \delta k) + AIC(k_{min} + \delta k) + 2AIC(k_{min})\} / (\delta k)^2$$

ここで、 $k_{min}$ はAIC最小となる時刻、 $\delta k$ は0.1秒にあたるデータ数(ここでは20個)

この方法によって振幅比による方法と同様に95個の地震記録について読み取った結果、図-4に示すように目視による読み取り値の±0.05秒以内に、P波については77.9%、S波に関しては70.5%の地震が読み取られた。

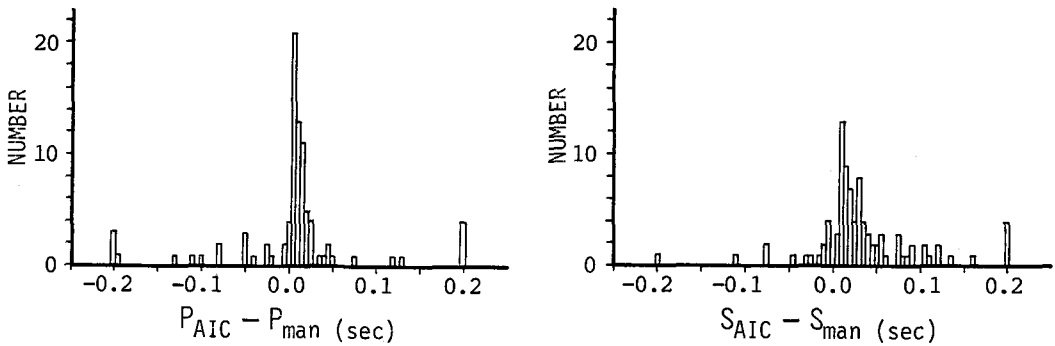


図-4 AICによる方法での読み取り誤差

### 3. 地震波とノイズの自動識別

微小地震観測を行う際には、信号が微弱なため誘導電流によるノイズに悩まされる場合があるので、このノイズを除去する必要がある。そこでノイズを自動識別し、地震動だけを抽出する方法を検討した。誘導電流によるノイズの特徴は3成分ともほぼ同位相、同振幅であり各成分間で正の相関が高いことである。そこで各成分間の相関係数を計算した。トリガー時刻の前後2秒ずつの計4秒間を検査区間とし、次式で計算を行った。

X, Y 2成分のデータを  $x_i, y_i (i=1 \sim n)$  とする。

$$(X \text{ 成分の分散}) = \sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$(Y \text{ 成分の分散}) = \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$(X \text{ 成分, } Y \text{ 成分の共分散}) = \sigma_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

ここに  $\bar{x}, \bar{y}$  はそれぞれ X 成分, Y 成分の平均  
これより、X 成分と Y 成分の相関係数  $\rho_{xy}$  は

$$-1 < \rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} < 1$$

そこで誘導電流によるノイズ記録64個について3成分間の相関係数を計算したところ1記録を除いて全ての場合に相関係数が3成分間いずれも0.900以上の高い正の相関を示した。これに対し地震記録では3成分

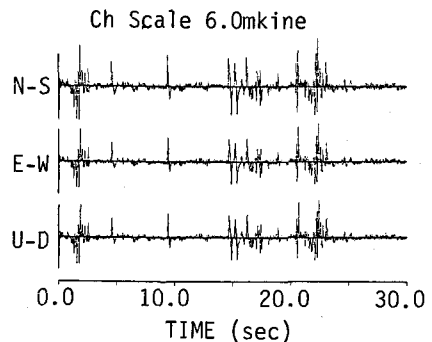


図-5 誘導電流によるノイズ

分間ともばらばらで高いときでも0.800程度であった。これによって誘導電流によると思われるノイズ記録の識別がほぼ完全にできることがわかった。

#### 4. P波, S波を含む地震記録の識別

誘導電流によるノイズを取り除いた残りは地震記録と考えられる。このうち読み取り対象とするP波, S波の含まれる地震記録を識別する方法として先に述べたV/Hのグラフに着目した。95個の地震記録に対してV/Hを計算したところ次のことが分かった。

- I. P波到達からS波到達までの間の平均値は他の部分の平均値より大きい。
- II. V/Hの最大値はP波到達からS波到達までの間にある。
- III. P波到達前およびS波到達後の平均値は1より小さい。

この他にも条件をつけることができるが、あまり条件を厳しくすると真の地震記録を見落とす危険性も増すので、I, II, IIIを満たす記録をP波, S波の含まれる記録とみなすことにした。

#### 5. おわりに

これまで述べた内容を一連の作業で実行する手順として図-6に示すものを考え、その有効性を検証してみた。対象としたのは実際に観測局で得られた100個の記録で、内訳はノイズ74個, 地震26個でノイズが非常に多く含まれている。また地震記録のうち目視によりP波, S波が識別できた記録は6個で、その他は継続時間が長いため数ファイルにわたって記録された地震である。

これらの記録に対してP波, S波検出手順を適用したところ、9個の記録が検出された。このうち目視によりP波, S波が識別できた地震記録はすべて検出され読み取り時刻も0.1秒以内で読み取られた。残りの3個はいずれも継続時間が長い地震の一部であった。これらは先にも述べたように③の条件を厳しくすれば除去できるが、P波, S波の含まれる記録を失わない程度の条件でなければならず、更に検討を加える余地がある。

なお、本研究は電源開発㈱の協力を得て実施している。記して謝意を表する次第である。

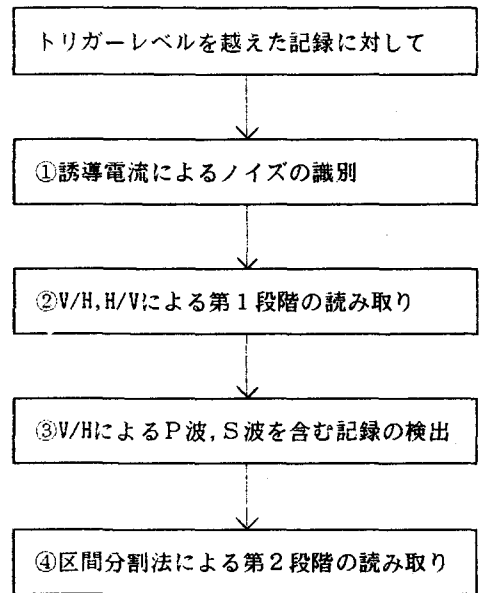


図-6 P波, S波読み取り手順

#### 参考文献

- 1) 小林, 大町, 翠川, 田中: 軽便な遠隔地地震観測監視通報システムの開発, 第7回日本地震工学シンポジウム予稿集 457-461, 1986
- 2) 中村, 斉藤: 地震波動の種類別と単一観測点のデータに基づく震央方位の推定, 第17回地震工学研究発表会講演概要 95-98, 1983.7
- 3) 赤池弘次: 情報量基準AICとは何か, 数理科学 N0153, 5-11, 1976.3
- 4) 横田, 周, 溝上, 中村: 地震波データの自動検出方式とオンライン処理システムにおける稼働実験, 地震研究所彙報 55, 1981
- 5) 前田直樹: 地震波自動処理システムにおける読み取りおよび評価, 地震 2, 38, 365-379, 1985