

(48) 北陸地方白山周辺で観測される**基盤地震動の性質**

○ 東京工業大学 大町達夫  
 同上 翠川三郎  
 日本道路公団 黒田健二

1. はじめに

岩盤あるいは地震基盤における地震動は、地震工学上の基礎的データである。基盤から表層地盤へ入射する地震動の特性を地表における地震動を逆解析して推定した研究例<sup>1)</sup>や、日立鉱山あるいは鬼怒川発電所での観測結果による研究例<sup>2)</sup>などが、これまでに報告されているが、不明な部分も多く残されている。本研究は、北陸地方の岩盤で観測された記録から基盤における地震動の特性について調べたものである。

2. 地震観測地点、システム

地震観測システムは、実際に地震計を設置して地震観測を行う現地観測局と、観測局の遠隔制御を行う観測センターとで構成され、両者はNTTの一般加入者電話で接続されている。現地観測局は北陸地方白山山麓の手取川(A)、九頭竜(B)、御母衣(C)の各ダム地点であり、観測センターは横浜市長津田と茅ヶ崎市に設置してある(Fig.-1参照)。システムの詳細は既に他で発表している<sup>3)</sup>ので、ここでは省略するが、観測局ハードウェアの仕様をTable-1に示す。地震計は周期1秒の3成分速度計で、観測開始から現在までローパスフィルターは30Hzを使用している。また、トリガーから10秒間さかのぼって合計30秒間の地震動を記録する方式である。

3. 解析対象とした記録

観測記録の中から、P波、S波が識別可能なものを選んで解析した。震源位置、発震時刻およびマグニチュードは、気象庁発表によるものを最優先し、京都大学防災研究所北陸微小地震観測所によるものを次に採用した。さらにその両方でも定まらない地震については、独自に作成した経験式から、S-P時間 $T_{SP}$ を用いて震源距離R、震央距離 $\Delta$ およびマグニチュードMを決定した。解析対象とした地震データのMとRの関係をFig.-2に示す。

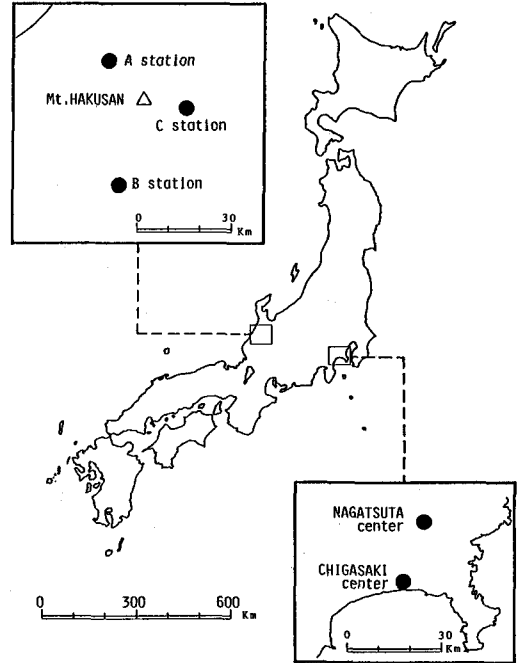


Fig.1 Locations

Table-1 Specifications of the Hardware

Seismometer: Velocity Meter	gain; 0.5/2.5/5.0/10 V/kine low-pass filter; 30/70 Hz sensor;natural period 1 sec
Microcomputer (NEC PC9801F3)	internal memory; 256 kB RAM external memory; 10 MB HD 5 inch MFD
A/D Converter	resolution; 16 bits sampling rate; 200 Hz
External Clock	precision; $10^{-3}$ calibration;by radio signal
Telemetry	data transfer; 1200 bps line; public telephone

#### 4. 地震動の入射角

P波部分では地震波の進行方向の振動成分が卓越するものと考え、指数平滑化したP波部分の上下動と水平動の振幅比から、地震動の入射角 $\theta$ を次のようにして推定した。

$$\begin{aligned} V(t_i) &= X_{UD}^2(t_i) + \alpha V(t_{i-1}) \\ H(t_i) &= X_{NS}^2(t_i) + X_{EW}^2(t_i) + \alpha H(t_{i-1}) \\ V/H(t_i) &= \{V(t_i)/H(t_i)\}^{0.5} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $X_{UD}$ 、 $X_{NS}$ 、 $X_{EW}$ は各添字方向成分の速度振幅、 $\alpha$ は指数平滑のための係数( $\alpha < 1$ )である。(1)式で算定される振幅比をP波到達時間から $T_m$ 秒間で平均した値 $(V/H)_m$ を用いて $\theta$ を求めた。

$$\theta = \tan^{-1} (V/H)_m \quad (2)$$

ただし $T_m$ は、 $T_{SP}$ が10秒以下の場合には $T_{SP}/2$ 、 $T_{SP}$ が10秒を超える場合には5秒間とした。

(2)式による計算結果の一例をFig. 3に、また震源距離と入射角との関係をFig. 4に示す。B地点では入射角が $90^\circ$ すなわち水平に近いものが幾つかあるが、これらは震源距離が30km程度の浅発地震である。それ以外の地震動はほとんど $30 \sim 50^\circ$ の範囲にあり、平均的な入射角は約 $40^\circ$ と見なせる。

#### 5. 最大速度振幅の距離減衰

AおよびC地点については、水平動2成分を合成して水平最大速度振幅を算定したが、B地点についてはNS成分の機器が不調であったためEW成分の最大振幅を用いた。

水平動成分の最大振幅は全体の98%がS波部分で生じているが、上下動成分の最大振幅は全体の32%がP波部分で生じている。これらは、上述の入射角とも関連あるものと考えられる。

マグニチュードを0.5ずつに区分し、各区分ごとに距離減衰傾向を調べた結果、最大速度振幅値は、鉛直、水平成分についてそれぞれ次の式で回帰できることが分かった。

$$\log V_v = 0.79M - 1.26 \log R - 3.14 \quad (3)$$

$$\log V_h = 0.79M - 1.22 \log R - 3.01 \quad (4)$$

最大速度振幅に関する金井式<sup>2)</sup>

$$\begin{aligned} \log V_{h.o.} &= 0.61M - (1.66 + 3.60/R) \log R \\ &\quad - (0.631 + 1.83/R) \end{aligned} \quad (5)$$

と(4)式とを比較すると、Fig. 5のようになる。全般

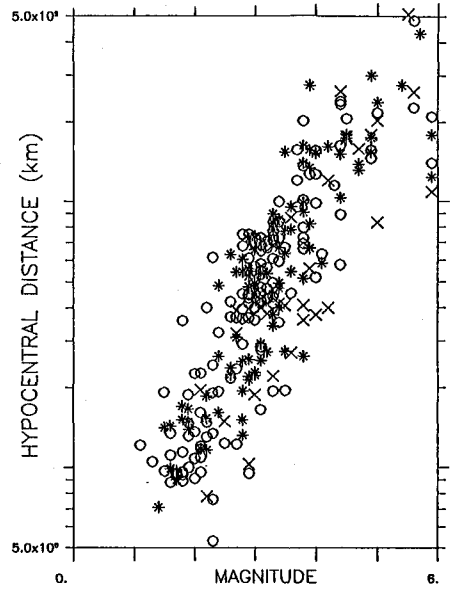


Fig.2 M-R Relations of the Data Base

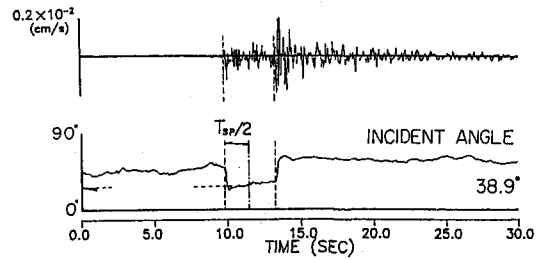


Fig.3 Angle Calculated by Eq.(2)

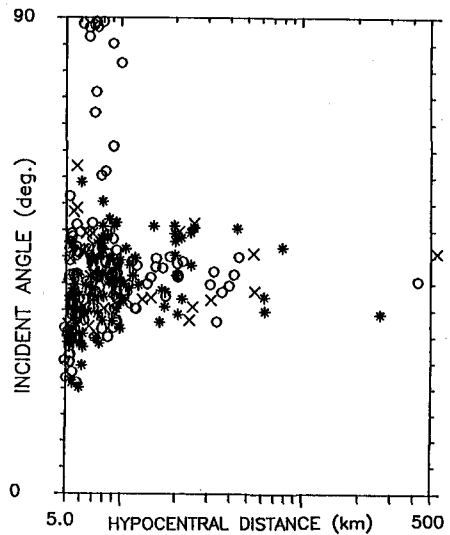


Fig.4 Calculated Incident Angles

に(4)式の方が小さめの値を与え、両式の差はマグニチュードが増大するにつれて減少することが分かる。このような違いは、観測地点の地域的な差異のほか、使用したデータベースが金井式では  $4.3 \leq M \leq 5.9$ 、(4)式では  $1.75 \leq M \leq 5.25$  と異なることにもよるものと考えられる。

### 6. 主要動のフーリエ速度スペクトル

S波到達時刻から10秒間の水平2成分をフーリエ変換して合成し、水平速度の振幅スペクトルを算定した。ただし、前述のようにB地点についてはEW成分だけの振幅スペクトルで代用した。

観測される地震動のスペクトル  $F(T)$  は、震源におけるスペクトル  $O(T)$  が幾何減衰と粘性減衰によって変形するものと考え

$$F(T) = O(T)R^{-n} \exp(-kR) \quad (6)$$

と表す。ただし、 $n$  は幾何減衰、 $k$  は粘性減衰に対応する係数である。さて、 $O(T) = a'(T)M^{-d(T)}$  とおき、(6)式に代入して対数をとれば

$$\log F(T) = a'(T)M - n \log R - kR \log e - d(T)$$

となるので、 $n$  と  $k$  も周期  $T$  の関数と考えれば

$$\log F(T) = a'(T)M - n(T) \log R - m(T)R - d(T) \quad (7)$$

と書ける。

$10 \text{ km} \leq R \leq 80 \text{ km}$ 、 $1 \leq M \leq 5$  の184個のスペクトルを用いて、最小2乗法により(7)式中の係数を回帰した結果を、Fig. 6と7に示す。

一様な媒質での  $n$  の値は、実体波に対し  $n=1$ 、表面波に対し  $n=0.5$ 、平面波に対し  $n=0$  と言われているが、回帰計算の結果では  $0 \leq n \leq 1.5$  の範囲で一定しない。また、周期依存性も認められる。

$m(T) = \pi \log e / (QCT)$  (ただし、 $C$  はS波速度) から計算した  $Q$  値は、周期に対して一定せず、0.2秒付近では負となった。

そこで、観測スペクトルを簡単に

$$\log F(T) = a(T)M - b(T) \log R - c(T) \quad (8)$$

とおいて各係数を回帰した。その結果をFig. 8に示す。これらの係数を小林・長橋<sup>1)</sup>が基盤からの入射波の速度応答スペクトルについて求めた類似の関係式と比較すると、 $b(T)$  はほぼ同程度、 $a(T)$  はFig. 8の方が全般に2倍程度大きな値となっている。

上で回帰した結果を用いて、震源距離  $R$  が30kmと

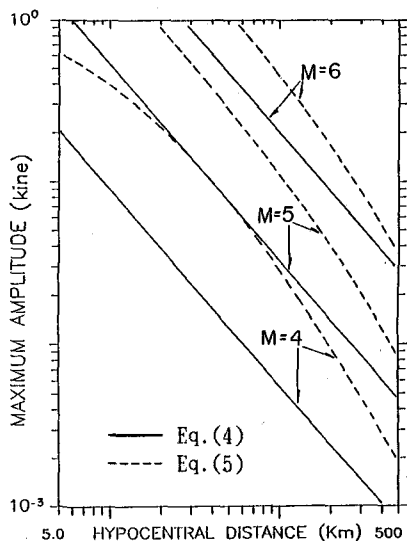


Fig.5 Maximum Velocity vs Distance

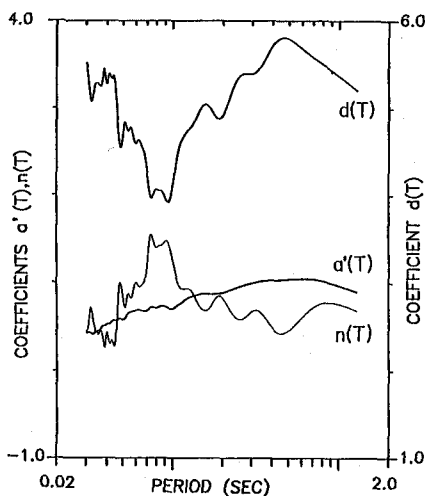


Fig.6 Regressed  $a'(T)$ ,  $n(T)$  and  $d(T)$

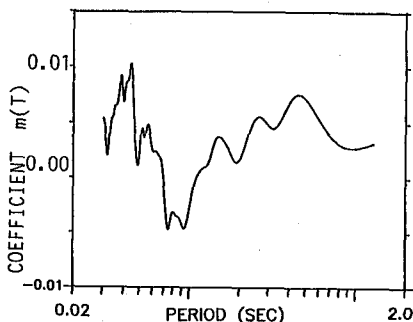


Fig.7 Regressed  $m(T)$

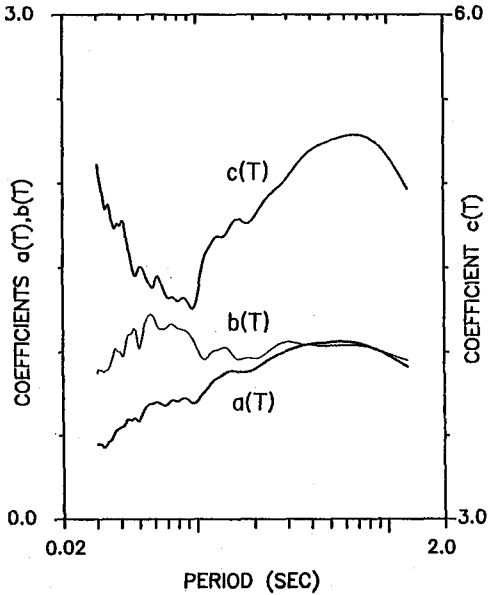


Fig.8 Regressed a(T), b(T) and c(T)

100kmにおけるフーリエ速度スペクトルを計算した結果をFig. 9と10に示す。いずれの図からも、スペクトルの勾配が、マグニチュードの増大につれて急になる傾向が読み取れる。

### 7. まとめ

白山周辺で観測された基盤地震動の性質を調べ、既往の研究結果と比較してみた。減衰特性やスペクトル性状などについて、新たな知見が得られたが、本研究で使用したデータには、大きな地震動が含まれていない。観測を継続しデータを補完集積することが今後の課題である。

なお、この地震観測は電源開発株式会社の協力を得て行っている。未筆ながら各位に謝意を表す。

### 引用文献

- 1) 小林、長橋：建築学会論文報告集 第240号、pp. 79-91、1976.
- 2) Kanai, K., K. Hirano, S. Yoshizawa and T. Asada: BERI, 44, pp.1269-1296, 1966.
- 3) 岡本舜三：耐震工学, オーム社, pp.108-112, 1971
- 4) 小林、大町、翠川、田中：第7回日本地震工学シンポジウム講演集、pp.457-462、1986.
- 5) Ohmachi, T., S. Midorikawa and K. Kuroda: Proc. 9WCEE, Vol.2, pp.203-208, 1988.

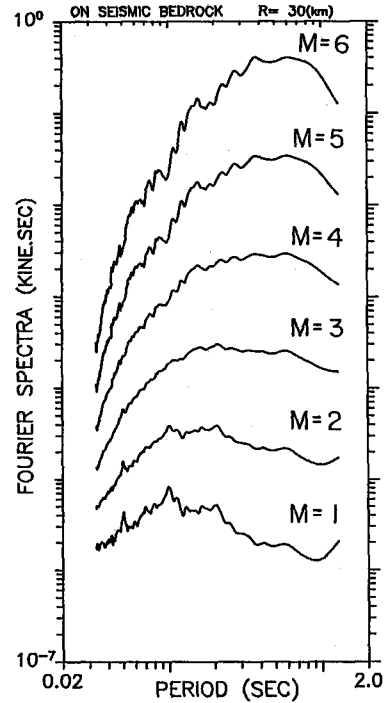


Fig.9 Velocity Spectra at R=30 km

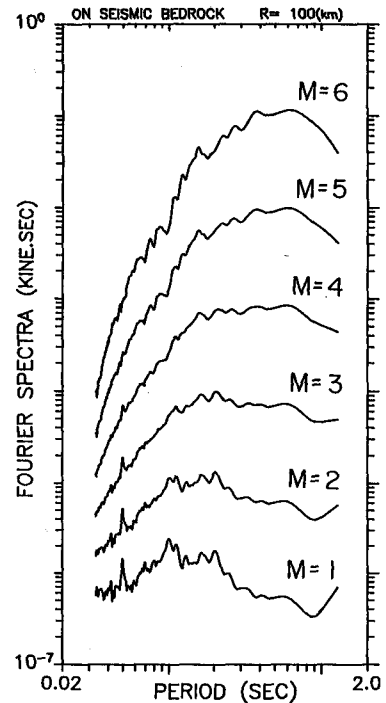


Fig.10 Velocity Spectra at R=100 km