

長野盆地の地盤の振動特性 (その1)*

——浅川扇状地の微動観測——

服 部 秀 人**

1. ま え が き

長野盆地は中央部に犀川・千曲川が流れている。そして盆地の東側に河東山地、西側に河西山地がある。盆地は、犀川・千曲川両河川による後背湿地ならびに自然堤防、そして東西両山地により形成された数多くの扇状地から成る。筆者らは盆地のこのような地形区分について、地盤の振動特性を知るために常時微動観測を行っている。これまで、当盆地に関して金井・田中⁽¹⁾が広範な常時微動観測を行い、地盤種別を明らかにしており、島⁽²⁾は常時微動の卓越周期と地盤の表層厚との関係を調べている。

本報文は、上記目的の第一段階として、扇状地の常時微動と表層地盤のS波速度の関連について調べたものである。対象とした扇状地は、当盆地を形成している代表的な、浅川扇状地である。ここでボーリング柱状図の得られている地点を選び、地表面において常時微動の3成分観測を行った。そして微動から得られた卓越周期とボーリング柱状図から読み取った地盤の表層厚およびN値とから、表層内のS波速度を求めた。なお、1観測地点においてボーリング孔を利用してS波速度を実測できたので、ここにあわせて報告する。

2. 常時微動観測

図1に微動の観測地点を示す。合計15地点で観測した。これらの地点には3階あるいは4階建てビルが建設され、それに先立ち深さ10~35mぐらいのボーリング調査がなされて

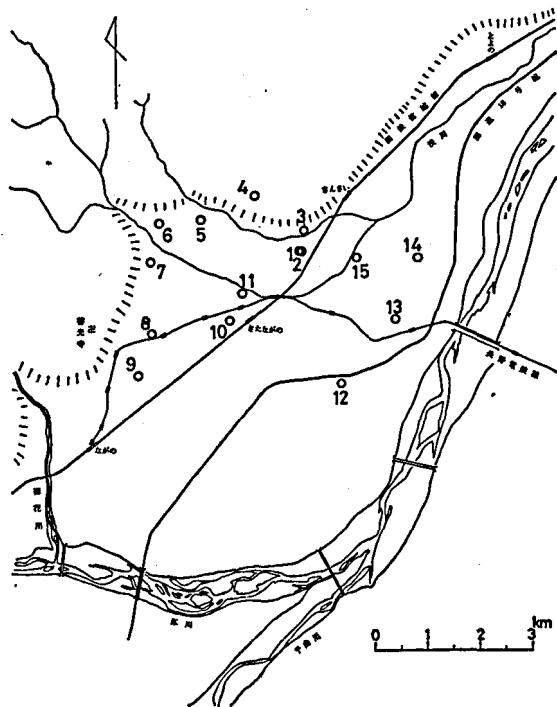


図1 観測地点

* 昭和55年2月土木学会中部支部研究発表会において発表

** 土木工学科 講師

原稿受付 昭和55年9月30日

いる。ボーリング孔のすぐそばで観測できたのは No. 1, 2 の2地点だけで、他は建物が建設されており、ボーリング位置から数メートル離れた位置で観測した。記録への風の影響を避けるため主として午前中に観測を行った。常時微動観測は昼間より夜間に行う方が望ましいのかも知れないが、当扇状地あたりでは夜間における微動の振幅がかなり小さくなる場合があり、観測の精度が悪くなる恐れがあるため昼間観測を行った。観測地点が道路に近い場合は、車両の交通がと絶えるのを待って観測した。

観測に用いた振動計は固有周期2secの電磁式(東京測振 SM121, 122型)で2sec以下の帯域で平坦な応答特性を有する。振動計の増幅器から微動の速度波形を出力し、シャ断周波数20Hzのローパスフィルターを通してデータレコーダーに記録した。記録の総合周波数特性は0.5~10Hzではほぼ平坦である。

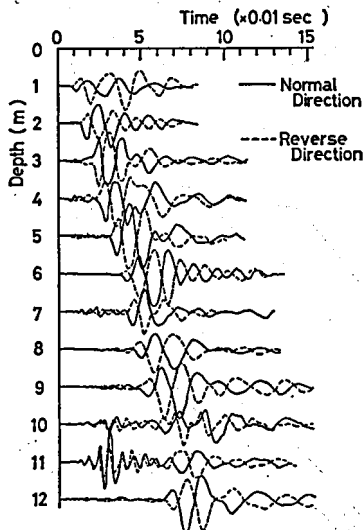
なお観測は、水平動(NS, EW)2成分、上下動1成分の3成分で行った。

3. S波速度の測定

S波速度を測定した場所は No. 1 地点である。ここは本校の5年生用の教室棟がある所で、建設に先立ち深さ20mのボーリング調査が行われた。図5の No. 1, 2 がその柱状図である。No. 1 のボーリング孔を利用してS波速度を測定した。

測定は板たたき法⁽³⁾によった。板たたき法とは、地表に固定した板を水平にたたいてS波振源とし、これにより発生したS波をボーリング孔内の所定の深さに固定した受振器でとらえ、その伝播時間を測定し、走時曲線からS波速度を求める方法である。

孔中受振器(OYO 3310型)を深さ1mごとに固定して測定した。13m以深は、孔中が閉そくして受振器を降下できなかった。図2に測定結果を示す。走時曲線の傾きから、S波速度は170m/secとの値を得た。



S wave logging records
at No.1 point

図2 板たたき法によるS波記録

4. 表層地盤のS波速度

4.1 表層厚と平均N値

ボーリング柱状図のN値に着目して表層厚を決定した。すなわち、 $N \geq 50$ となる深さを基盤面と考え、その上層を表層とみなした。そして表層内の平均N値を次式により算出した。ただし、 n は柱状図で表層内に

$$\text{平均}N\text{値} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{N_i}} \quad (1)$$

記入されているN値の総数である。平均N値を求めるのに単なる加算平均式を用いると、表層内の平均的代表値らしくない値となる場合が多いこと、また表層内に数多く存在する小さいN値が表層の卓越周期を支配するであろうと考えられるため(1)式を用いることに

表 1

No.	表層厚 (m)	平均 N 値	卓越振動数 (Hz)			卓越周期 (sec)	推定 S 波 速度(m/sec)
			NS	EW	平均		
1	13.9	6.6	2.98	2.98	2.98	0.336	166
2	12.8	3.7	2.73	2.49	2.61	0.383	134
3	10.9	7.9	4.03	4.15	4.09	0.244	178
4	12.0	11.9	2.86	2.50	2.68	0.373	129
5	25.0	20.8*	3.30	3.00	3.15	0.317	315
6	6.3	9.2	6.20	6.30	6.25	0.160	158
7	8.0	25.0*	11.9	11.7	11.8	0.085	378
8	—	—	3.27	3.30	3.28	0.304	—
9	13.0	3.7	3.20	3.56	3.38	0.296	176
10	6.5	11.3	5.66	4.91	5.28	0.189	137
11	4.8	5.9	3.66	5.91	5.91	0.169	113
12	16.7	8.9	2.91	2.90	2.90	0.344	194
13	15.9	6.3	3.10	3.22	3.16	0.316	201
14	7.4	2.4	2.78	2.61	2.70	0.371	80
15	12.0	5.9	2.93	2.86	2.90	0.345	139

（注）平均 N 値の *印は加算平均を示す。

した。ただし、表層内に大小の N 値が混在する 2 例、No. 5, 7 については、単なる加算平均式を用いた。No. 8 は、柱状図から表層厚を判断するのは問題があると思われるので、対象から除外した。No. 10, 15 には $N \geq 50$ の基盤が存在しないが、一応表層厚を 6.5m, 12m とみなした。以上の表層厚と平均 N 値を表 1 に示す。

4.2 表層厚と卓越周期

単位の振幅をもつ正弦波の S 波が基盤内を上昇して、表層内で反射透過を重ねると地表面に生ずる振動の振幅は次式で示される⁽⁴⁾。ただし、 p は正弦波の円振動数、 H は表層厚、

$$u = 2 / \sqrt{\cos^2 \frac{pH}{V_s} + k^2 \sin^2 \frac{pH}{V_s}} \quad (2)$$

V_s は表層内の S 波速度、 k^2 は表層と基盤との振動インピーダンスの比である。一般に表層は基盤より軟弱なので k は 1 より小さく、表層内で S 波は増幅される。そして、

$$T = \frac{4H}{V_s} \quad (3)$$

なる周期の波動に対して (2) 式は最大となる。(3) 式は、いわゆる 1/4 波長則である。

実際の地表面で観測された常時微動の卓越周期と (3) 式の T とを対応させて考察を進める。観測した微動のフーリエスペクトルを図 5 に示す。スペクトルは、40sec 間の記録波形について、時間刻み 0.02sec でデジタル計算を行ったものである。図 5 の NS, EW 2 成分から求めた卓越振動数、それらの平均値および卓越周期をそれぞれ表 1 に示す。No. 11 は

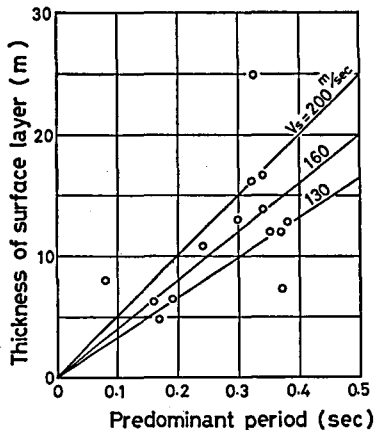


図3 表層厚と卓越周期

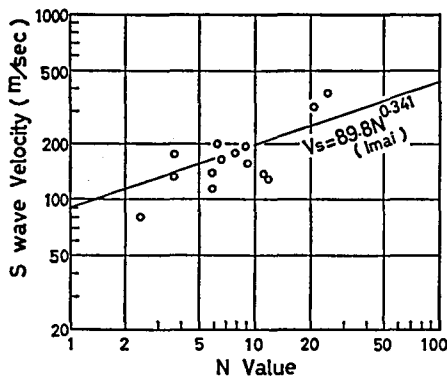


図4 N値とS波速度

NS, EW で異なるピーク値を有するが、平均値にはEW 成分の値を採用した。

表1に示した表層厚と微動の卓越周期との関係を図3に示す。図中の実線は(3)式を示す。

4.3 表層内のS波速度の推定

図3に見られるように、表層厚と卓越周期との関係は、(3)式において $V_s=130\text{m/sec}\sim 200\text{m/sec}$ とした範囲におおむね収まっている。そこで(3)式を用いて、表1の表層厚、卓越周期より、表層内のS波速度を求め、表1の右欄に示した。No.1における実測S波速度の170m/sec と比べると、ここで推定した値(166m/sec)と良く近似している。

微動の卓越周期と表層厚の関係は、単なる1/4波長則は当てはまらないという島らの報告⁽²⁾がある。確かに、地表での振動にはS波の重複反射では説明し得ない要因が多く含まれるであろうが、ここで対象とした周波数帯域に関しては図3が示す傾向をも考慮して、一応(3)式でS波速度を推定してみることにした。

5. N値とS波速度の関係

今井らは、国内約200ヶ所、250孔についてP-S検層を行い、地盤の弾性波速度と力学的性質との関係を明らかにしている⁽³⁾。その中で、N値とS波速度の関係を次式で示している。

$$V_s = 89.8 N^{0.341} \quad (4)$$

前節で推定したS波速度と表層内の平均N値との関係を図4に示す。プロットされた値は(4)式の直線の近くに良く分布している。

6. あとがき

浅川扇状地で観測した常時微動について、表層地盤のS波速度を推定した。そしてP-S検層による V_s-N 関係と比較的良好一致する結果を得た。今回は微動の上下動成分については考察しなかったが、今後更に常時微動の3成分観測を重ね、上下動を含めて微動の特性を調べ、地盤の振動特性を研究していきたい。

末筆ながら、本テーマの共同研究者であり、日ごろ御指導いただいている東京都立大学工学部国井隆弘助教授に御礼申し上げる。また、観測と解析とに御指導・御協力いただいた大林組技術研究所菊地敏男氏、観測に御協力いただいた本校卒業生小林義行氏(現在名工建設

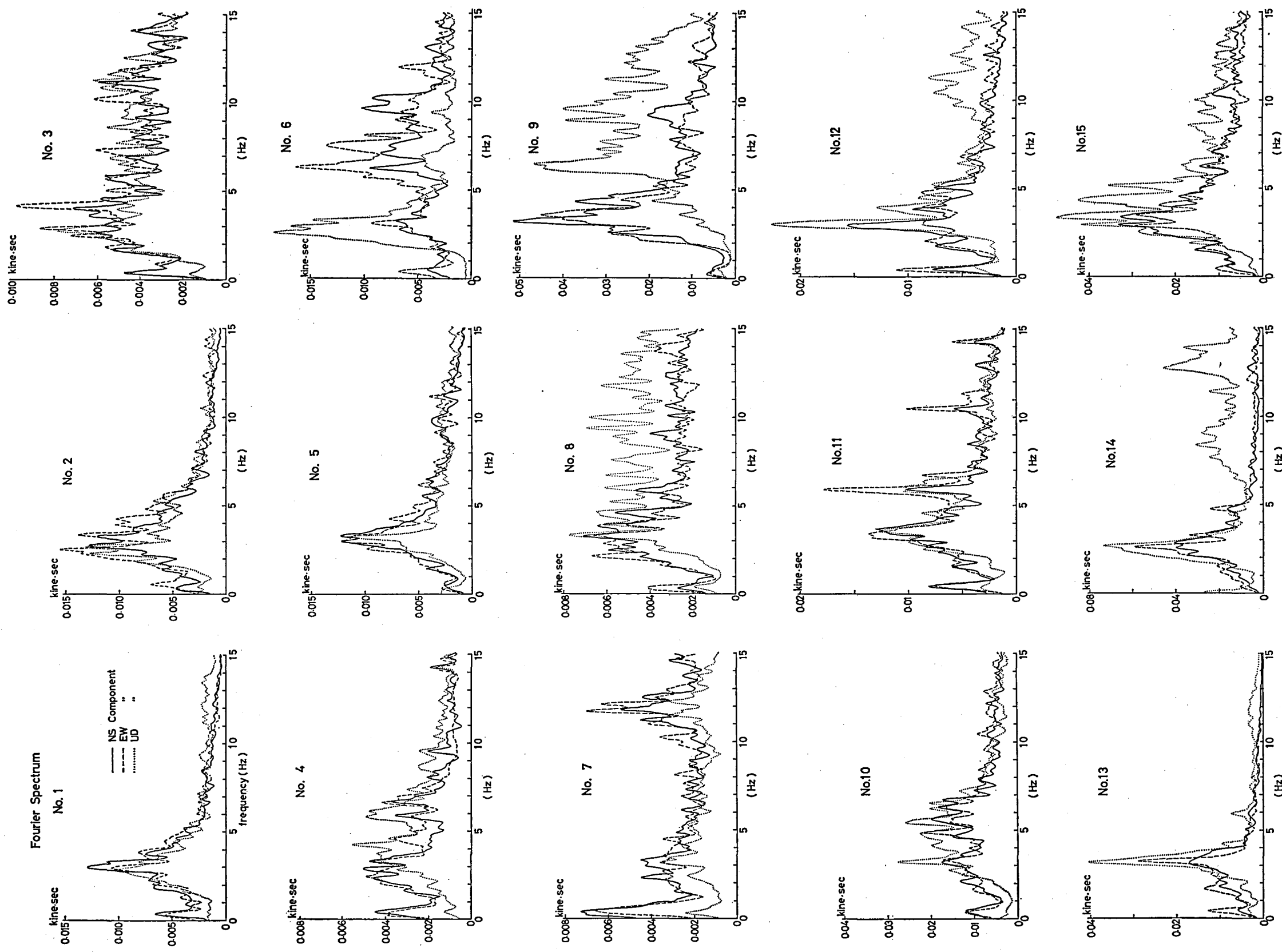
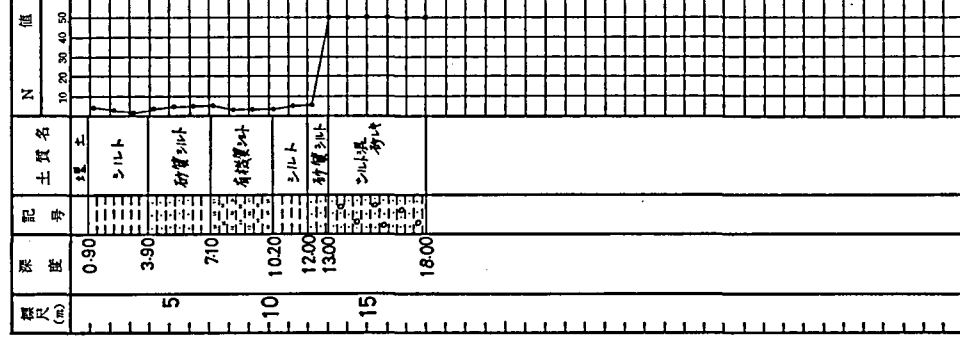
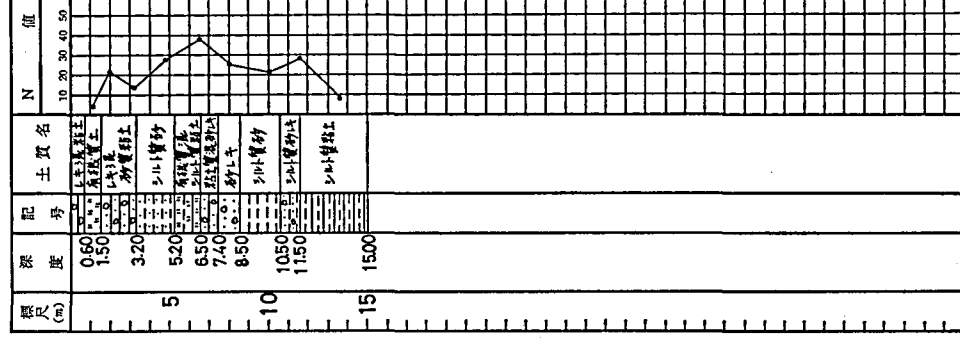


図 5 常時微動のフーリエスペクトル

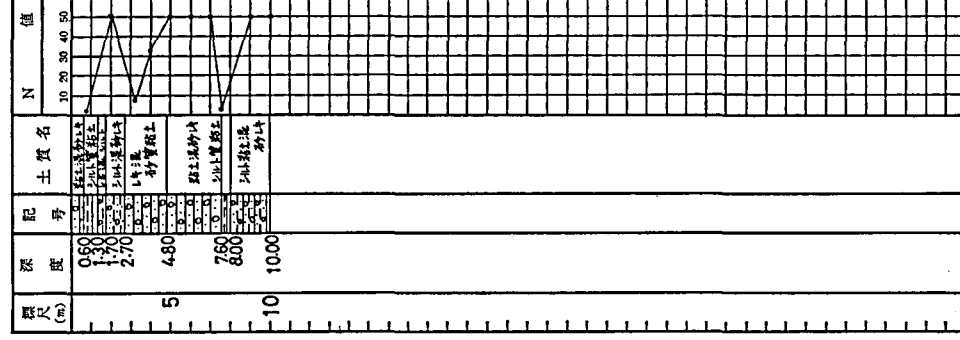
地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No. 9		-0.65



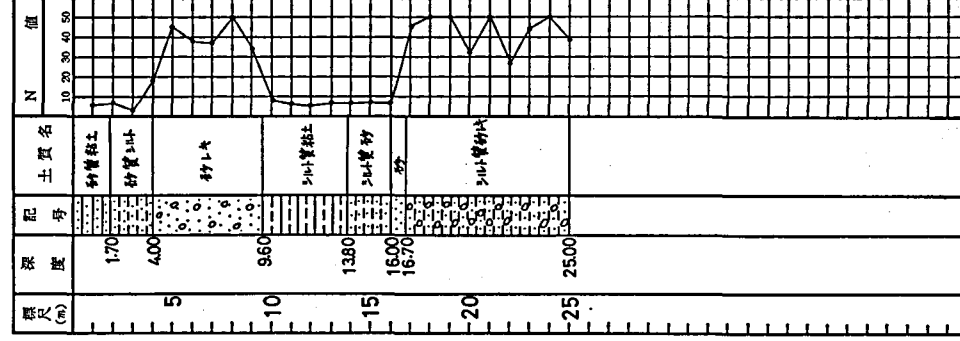
地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No.10		-0.60



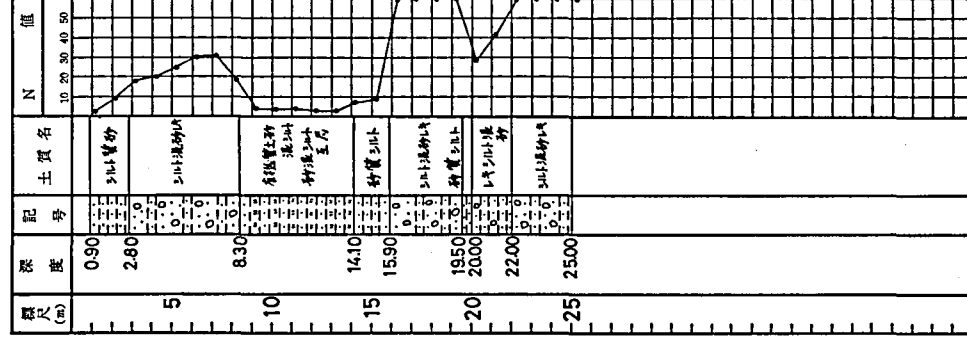
地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No.11		



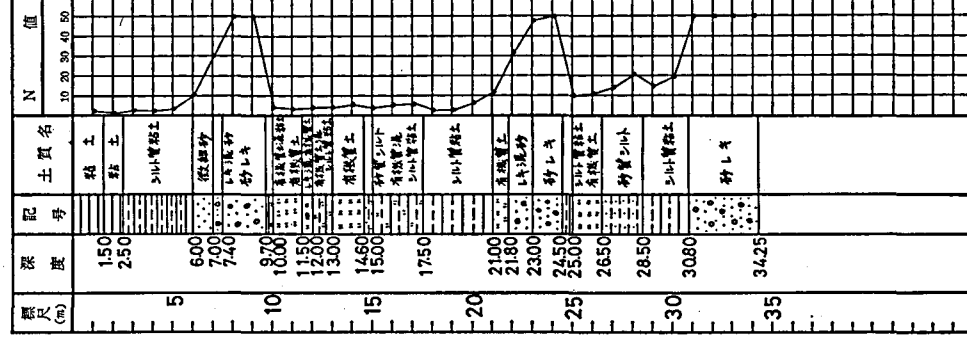
地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No.12		-2.80



地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No.13	336.8	-0.70



地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No.14	333	



地 点	標 高 (m)	水 位 (m)
No.15		-0.50

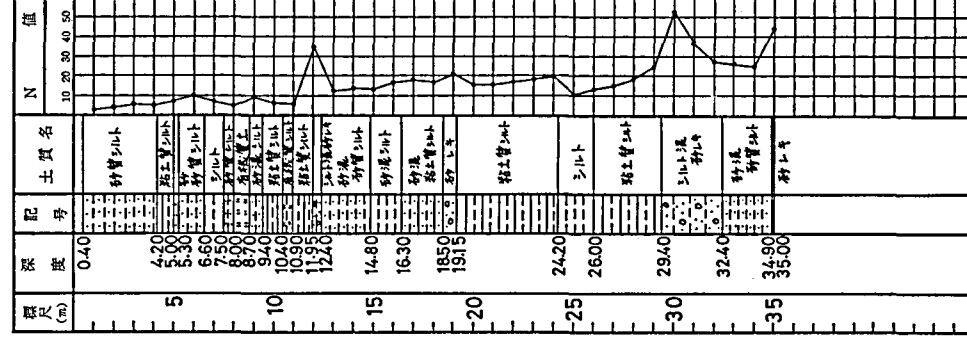


図 6 ボーリング注状図

株式会社），渡辺正彦氏（現在甲府市），ボーリング資料の閲覧にお世話いただいた長野市建築課関係各位，ならびにS波速度測定に便宜をお計りいただいた本校会計課関係各位に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) Kanai 他, Bulletin of the Earthquake Research Institute Vol. 44 (1966) pp. 1297~1333
- (2) 長野県建築士会, 「長野市地盤図」 1977, p. 41~53
- (3) 今井他, 第4回日本地震工学シンポジウム 講演集, 1975, p. 89~95
- (4) 岡本, 「耐震工学」 オーム社, 昭和46年, p. 118
- (5) 森, 土木学会年次学術講演会概要集Ⅲ, 1978, p. 172 (Ⅲ-93)
- (6) Kobayashi 他, Proc. of the 5th JEES, 1978, p. 305~312
- (7) 多賀他, 第5回日本地震工学シンポジウム 講演集, 1978, p. 313~320