I－9　　表層地盤の振動特性に関する簡易評価法について

神奈川大学　正会員　荏本 孝久
神奈川大学　学生会員　○松村 弘

1.はじめに　地表面での地震動は、表層地盤の影響を大きく受けており、構造物の地震被害と地盤特性との間に密接な関係があることは過去の構造物の地震被害例から明らかである。そして、地震時の地盤および構造物の挙動を予測し、耐震性を確保する設計を行なうに際して、地盤の動特性を明らかにすることは、重要な問題である。そこで本研究は、建設工事に伴なうボーリング資料を用い、これらの資料によって得られるN値と構造物支持基盤までの深さによって表層地盤の振動特性の簡易評価法についての考察を行ない、合わせてその結果と常時微動測定による観測結果とを比較し、その対応について若干の検討を行なった。

2.S波速度の推定式　本研究では、望月[1]により得られたS波速度の推定式を用いることとする。この式は、合計279地点の弾性波探査資料を収集し、地質形成年代（沖積層・洪積層）、土質、存在深さ（D）およびN値の指標によりS波速度を推定する式で、(1)式にその式を示す。

$$Vs = a \cdot N^{b} \cdot D^{c} \quad \text{—— (1)}$$

a, b, cは重回帰分析から求めた定数で表-1に首都圏の資料から作成した沖積層、洪積層の土質別S波速度推定式の各係数を示す。図-1は、表-1の推定式作成に用いたVs資料の値と推定式による計算値とを比較したものである。図より、計算値と実測値は比較的よい相関が見られる。

表-1 S波速度推定式の各係数（沖積層）

土質	データ数	a	b	c	R	σ
粘土	73	55.5626	0.2592	0.2381	0.88	39.9
シルト質粘土	17	70.8145	0.4259	0.0423	0.85	24.4
砂質粘土	23	86.1640	0.1057	0.1217	0.80	18.4
シルト	74	88.3951	0.0241	0.1092	0.52	16.7
砂質シルト	44	59.2891	0.1333	0.2757	0.81	28.9
砂	87	97.1110	0.1993	0.0641	0.64	52.5
細砂	48	72.5262	0.1116	0.2855	0.85	45.8
中砂	5	125.7457	0.1470	0.0529	0.66	22.3
粘土質砂	22	84.0902	0.1894	0.2283	0.88	43.0
シルト質砂	48	66.3747	0.1789	0.2313	0.84	32.4
礫質砂	16	103.2473	0.1794	0.1719	0.87	54.3
砂礫	30	83.6157	0.1056	0.2945	0.81	59.1
盛土	72	86.3371	0.1415	0.1210	0.67	30.0
腐食土	20	43.4064	0.0769	0.3982	0.93	38.1

S波速度推定式の各係数（洪積層）
（R：重相関係数，σ：標準偏差）

土質	データ数	a	b	c	R	σ
粘土	84	111.7065	0.2123	0.1071	0.73	68.8
砂質粘土	37	83.5845	0.1690	0.2340	0.87	48.5
シルト	21	101.2346	0.1806	0.1493	0.68	71.6
砂質シルト	38	81.5254	0.2425	0.1453	0.89	44.5
ローム	48	132.9198	0.0272	0.0952	0.64	14.6
礫質ローム	5	13.9294	0.0942	1.0456	0.89	20.2
砂	145	77.9495	0.2306	0.1924	0.88	59.2
細砂	178	108.4386	0.1610	0.1928	0.78	63.9
中砂	35	102.9792	0.2571	0.1001	0.87	55.1
シルト質砂	59	75.5197	0.2128	0.2185	0.82	68.2
礫質砂	20	62.0923	0.3115	0.1866	0.89	56.0
砂礫	126	160.8542	0.1998	0.0546	0.72	54.7

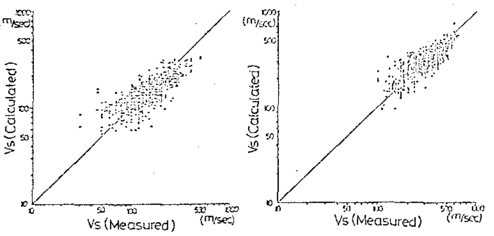

図-1 首都圏のVs値の対応性（沖積層）　首都圏のVs値の対応性（洪積層）

3.地盤の周波数応答解析　本研究の解析に用いたボーリング資料の総数は、横浜市等で得られた1318本のデータである。各データに対してN値が50に至る層を基盤と仮定し、多層構造のSH波の重複反射理論を用いて周波数応答解析を実施し、地盤の動特性の解析的な検討を行なった。ここで、各層の物理定数についてS波速度は(1)式を用いて算定し減衰Q値、密度については、土質によって採用される平均的な数値を用いた。得られた地盤の周波数応答解析結果に対して、卓越周波数（1次(f_1)、2次(f_2)、3次(f_3)）とその周波数に対応する基盤と地表面との応答倍率(R_1, R_2, R_3)を、それぞれ求めた。次に、各ボーリング資料を各層のS波速度の平均値（$Vs1 = \Sigma Vs_i / n$ —(2)，$Vs2 = \Sigma Vs_i \cdot h_i / \Sigma h_i$ —(3)，（n：層数、h_i：各層の層厚、Vs_i：各

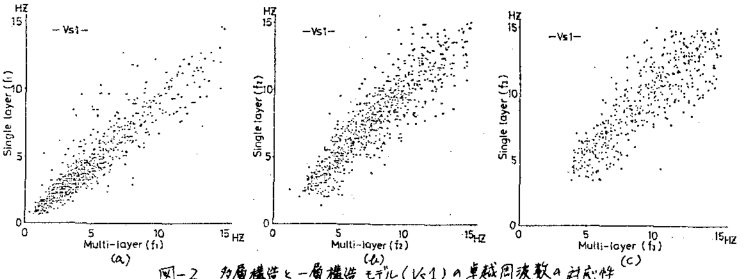

図-2 多層構造と一層構造モデル（Vs1）の卓越周波数の対応性

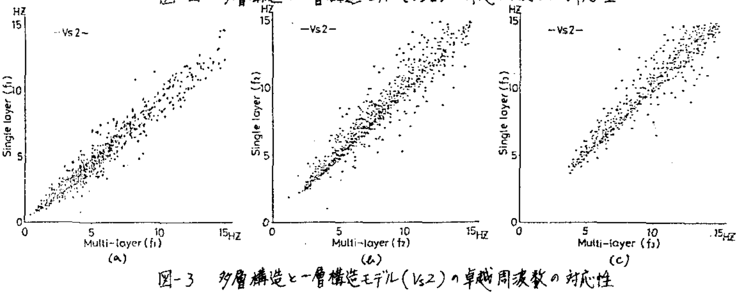

図-3 多層構造と一層構造モデル（Vs2）の卓越周波数の対応性

層のS波速度）と基盤までの深さ（Σh_i）によって一層構造にモデル化し、同様な解析を実施した。図-2, 3(a),(b),(c)は、多層構造と一層モデルそれぞれに対して各卓越周波数の相関関係を示したものである。図-4,5(a),(b),(c)には、各応答倍率の相関関係を示す。図-6(a),(b)は、Vs1 Vs2それぞれに対してΣRを求め多層構造のそれとの対応を図示した。図-2,3を比較すると、図-2に比べ、図-3つまり、平均S波速度をVs2で算定した一層モデルによって計算された各卓越周波数が、多層構造のそれとの対応においてよい相関が認められる。一方、応答倍率（図-4,5）、面積（図-6）においては、バラツキがあるが、1次の応答倍率、面積には、正の相関が見られる。よって表層地盤の多層構造における振動性状は、各層のS波速度に深さを考慮したVs2を用いた一層構造モデルによる振動性状でおおむね表わすことができるものと考える。

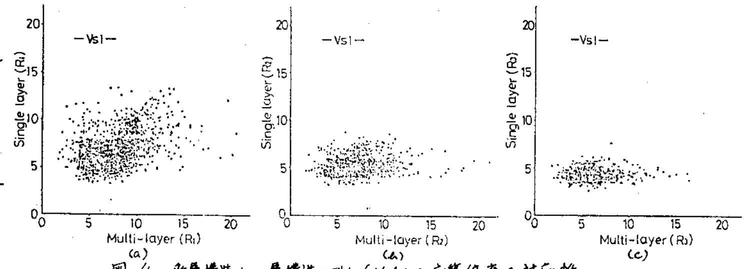

図-4　多層構造と一層構造モデル（Vs1）の応答倍率の対応性.

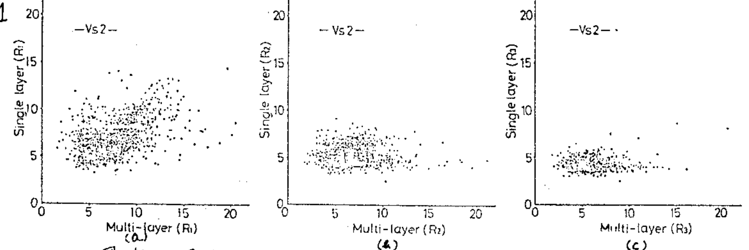

図-5　多層構造と一層構造モデル（Vs2）の応答倍率の対応性

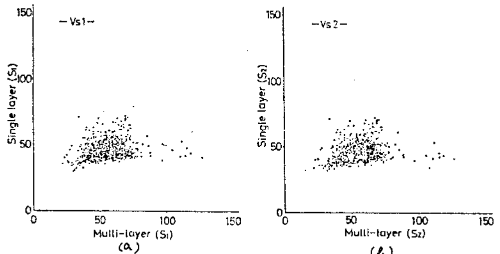

図-6　多層構造と一層構造モデルの面積（ΣR）の対応性.

4. 簡易評価法　本研究に用いた全ボーリングデータに対し、平均N値と平均S波速度の関係を図-7に示す。ここに示すN値は、$N=\Sigma N_i \cdot h_i / \Sigma h_i$ ―(4)で求められたN値である。図よりS波速度はN値に対して一定の依存がみられ、かなりの幅はあるものの比較的良い相関がみとめられる。そして統計1318個の全データを対象に実験式を求めると次式のようになる。

$$Vs = 84 \cdot N^{0.314} \quad \text{—— (5)}$$

一方、図-8は、Vs2によって地盤を一層にモデル化した場合における一次卓越周波数を、深さ5m毎にまとめ、その平均値を平均S波速度別に示した図である。

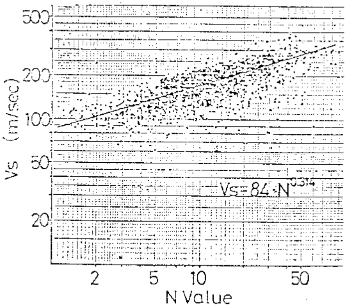

図-7　S波速度とN値の関係.

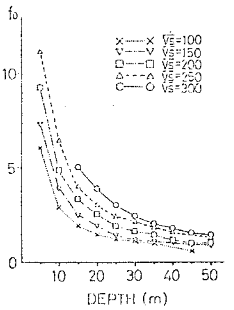

図-8　卓越周波数とVs2と深さの関係

5. 簡易評価法と常時微動測定結果との比較　常時微動の測定[2]は、横浜市内の43地点で実施された結果について、その地点のボーリング資料より求められる平均N値(4)式でN値を算定し、(5)式と図-8より卓越周波数を算定し、測定結果から得られた実測値と比較し、両者の相関を示したものが図-9で、両者の相関には比較的よい結果が認められる。

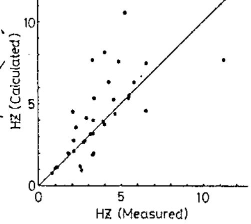

図-9
実測値と計算値との対応性.

6. まとめ　表層地盤の振動特性は、基盤（N=50程度）までの深さと深さを考慮したS波速度をパラメータとした一層構造によってある程度表わすことができた。今後、更にQ値や地盤の密度の推定に対する考察を加えていきたい。

（参考文献）
1) 望月・宮野他「地盤との連成効果を考慮したRC造建物の震害に関する解析的研究（その1 地盤のS波速度の推定式）」日本建築学会 S57.10.
2) 荏本「表層地盤に着目した横浜市のサイスミックマイクロゾーニング」第10回 土木学会関東支部