

S 波速度, N 値, 地震応答

応用地質株式会社 正会員 高橋広人
正会員 池田善考
非会員 辻岡秀樹
名古屋大学大学院 正会員 福和伸夫

1. はじめに

地震動のマイクロゾーニングを行う上で地盤の増幅特性を適切に把握することが重要である。地盤の増幅特性を把握する調査として PS 検層があるが、名古屋地域においては約 300 地点と調査地点は限られている。また N 値から S 波速度を推定することができるボーリング調査地点は約 4 万地点あるが、それでも市域全体を網羅するには至らない。一方名古屋地域の地盤資料としては名古屋地盤図¹⁾による各地層年代の境界面分布があり面的な地質構造が推定されている。本論では既往の地盤資料を有効に活用して名古屋地域の S 波速度構造を推定するため、名古屋地域における PS 検層データより求めた地盤指標から S 波速度を推定する回帰式について述べる。

2. データセット

図 1 に回帰に用いたデータセットの土質別の度数、図 2 に地層年代別の度数、図 3 に各地層年代における土質のデータ数の割合を示す。回帰に用いるデータ数として土質別のデータ数は確保されている(図 1)が、地層年代において濃尾層、小牧礫層、大曽根層はデータ数が極端に少ない(図 2)。南陽層と濃尾層、また鳥居松礫層と小牧層、大曽根層は年代が近くかつ土質の構成が同等(図 3)と考えられるため、これらを纏めて A:南陽層・濃尾層、B: 鳥居松礫層・小牧層・大曽根層、C:熱田層上部、D:熱田層下部、E:海部・弥富層、F:八事・唐山層、G:矢田川層の 7 区分で回帰を行った。

3. S 波速度の回帰式

図 4 に N 値と S 波速度との関係を示す。各土質で傾向が若干異なるが両者は良い対応を示し、最小 2 乗法により回帰式(1)を得た。

$$V_s = 126.18 \cdot N^{0.258} \quad \text{-----(1)}$$

図 5 に深度と S 波速度との関係を示す。深度は S 波速度と対応がよく、正木・他²⁾や福和・他³⁾では N 値、深度、土質、地層年代をパラメータとして S 波速度の回帰式を得ている。図 6 に深度と N 値の関係を示す。深度は N 値とも概ね対応し、これは N 値という強度の要因の 1 つに深度という要素が含まれることが考えられる。従って N 値及び地層年代をパラメータとして土質別に回帰し、式(2)を得た。

$$V_s = a \cdot N^b, \quad a = \begin{Bmatrix} 92.13 & 94.55 & 105.62 & 156.10 \\ \text{---} & \text{---} & 179.85 & 232.03 \\ 143.96 & 141.27 & 135.13 & 201.76 \\ 132.86 & 128.77 & 124.56 & \text{---} \\ 154.49 & 148.48 & 148.44 & 245.45 \\ 198.56 & \text{---} & \text{---} & 265.39 \\ 200.80 & 199.90 & 182.41 & 247.81 \end{Bmatrix}_{\text{mat}}, \quad b = \begin{Bmatrix} 0.195 \\ 0.192 \\ 0.224 \\ 0.170 \end{Bmatrix}_{\text{soil}} \cdot \begin{Bmatrix} A_{\text{clay}} & A_{\text{silt}} & A_{\text{sand}} & A_{\text{grav}} \\ B_{\text{clay}} & B_{\text{silt}} & B_{\text{sand}} & B_{\text{grav}} \\ C_{\text{clay}} & C_{\text{silt}} & C_{\text{sand}} & C_{\text{grav}} \\ D_{\text{clay}} & D_{\text{silt}} & D_{\text{sand}} & D_{\text{grav}} \\ E_{\text{clay}} & E_{\text{silt}} & E_{\text{sand}} & E_{\text{grav}} \\ F_{\text{clay}} & F_{\text{silt}} & F_{\text{sand}} & F_{\text{grav}} \\ G_{\text{clay}} & G_{\text{silt}} & G_{\text{sand}} & G_{\text{grav}} \end{Bmatrix}_{\text{mat}} \cdot \begin{Bmatrix} \text{clay} \\ \text{silt} \\ \text{sand} \\ \text{grav} \end{Bmatrix}_{\text{soil}} \quad \text{-----(2)}$$

福和・他³⁾は調査のない地点の S 波速度を把握するため深度と地層年代をパラメータとして S 波速度の回帰式を得ている。図 6 から調査がない地点の S 波速度推定に深度を用いることは概ね有効であると考えられる。また深度と S 波速度との関係は、地層年代により異なることが分かる(図 7)。これは図 3 に示した通り、各地層年代で主体となる土質が異なり地層年代が土質の要素を代表するためと考えられる。また市東部の丘陵地に分布する年代の古い八事・唐山層や矢田川層は風化による影響が考えられる。従って深度をパラメータとして地層年代別に回帰し、式(3)を得た。

$$V_s = a \cdot (\text{Depth})^b, \quad a = \begin{Bmatrix} 117.49 \\ 234.42 \\ 140.60 \\ 144.21 \\ 184.50 \\ 218.78 \\ 172.19 \end{Bmatrix}_{\text{layer}}, \quad b = \begin{Bmatrix} 0.144 \\ 0.150 \\ 0.214 \\ 0.169 \\ 0.199 \\ 0.245 \\ 0.243 \end{Bmatrix}_{\text{layer}} \cdot \begin{Bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \end{Bmatrix}_{\text{layer}} \quad \text{-----(3)}$$

4. 地震観測地点における回帰式の検証

回帰式の妥当性を考察するため名古屋市内において PS 検層を実施した地震観測地点で検証を行った。本地点は地表と S 波速度 500m/s 相当の工学的基盤において地震観測を行っている。図 8 に検証地点の地盤データ、および PS 検層結果と回帰式により推定した S 波速度を重ねて示す。図中の Model1、Model2、Model3 はそれぞれ式(1)、(2)、(3)より推

定した S 波速度構造である。推定した S 波速度構造はいずれも PS 検層結果と概ねよい対応をしている。図 9 に各 S 波速度構造から重複反射理論により得られる S 波増幅度を、図 10 に地表と孔中の地震観測記録のスペクトル比と重ねて示す。工学的基盤の深度と堆積層の平均的な S 波速度が PS 検層結果とほぼ同等であるため、いずれの推定式も PS 検層結果による S 波増幅度と概ね対応し、地震観測記録のスペクトル比とも卓越周波数に関しては対応がよい。

5. まとめ

名古屋市の PS 検層のデータに基づき S 波速度を推定する回帰式を求めた。回帰式による S 波速度構造を PS 検層地点、地震観測記録地点で検証を行ったところ、N 値がない場合でも地層年代と深度から推定した S 波速度構造は PS 検層結果や地震観測記録と概ねよい対応を示した。ただし地層年代と深度から推定した S 波速度構造は地層年代の層構造に大きく依存することが予想されるため、N 値がない場合の S 波速度構造推定には十分な吟味が必要と考える。

参考文献

1)名古屋地盤図:1988,2)正木・他:第 17 回土質工学研究発表会講演集,1982,3)福和・他:日本建築学会技術報告集,2000

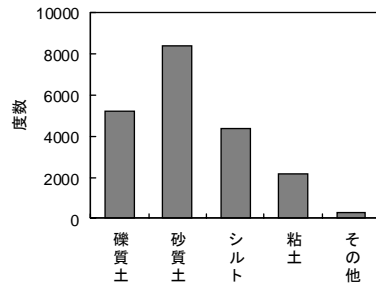


図 1 土質別のデータ数

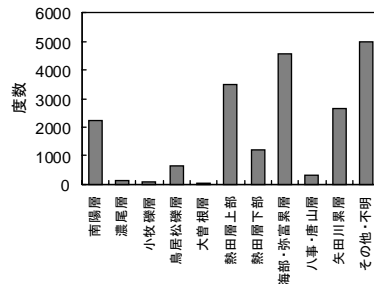


図 2 地層年代別のデータ数

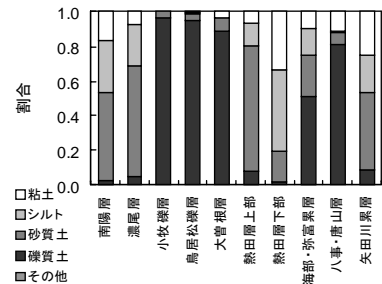


図 3 各地層年代の土質データ数の割合

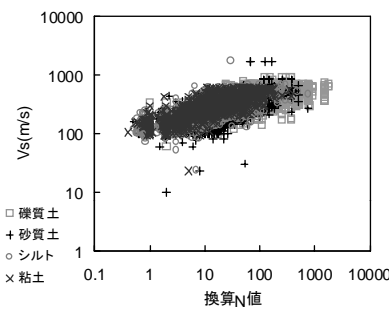


図 4 換算 N 値と S 波速度との関係

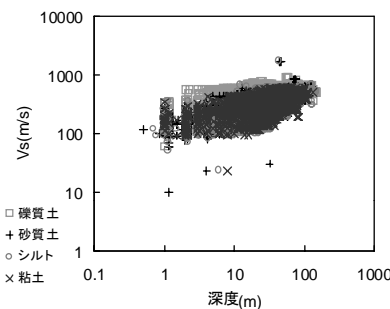


図 5 深度と S 波速度との関係

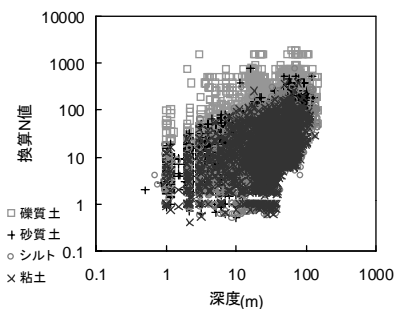
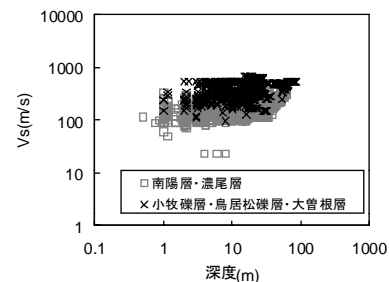
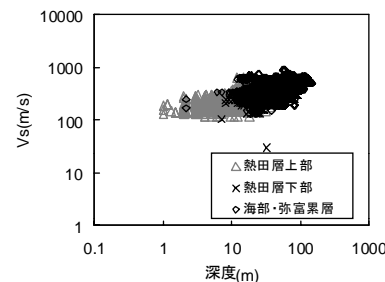


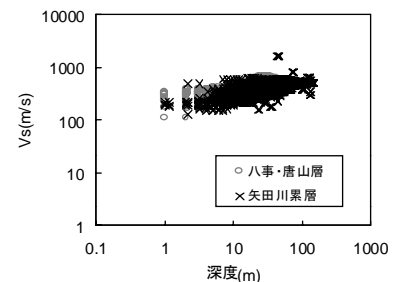
図 6 深度と換算 N 値との関係



(a)南陽層・濃尾層・小牧礫層・鳥居松礫層・大曽根層



(b)熱田層上部・熱田層下部・海部・弥富累層



(c)八事・唐山層・矢田川累層

図 7 地層年代別の深度と S 波速度との関係

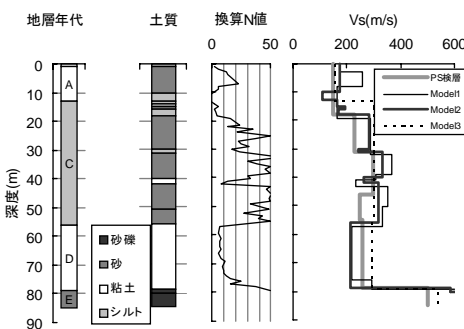


図 8 検証地点の地盤資料

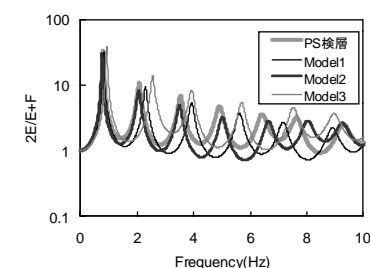


図 9 PS 検層結果による S 波増幅度と推定式による S 波増幅度の比較

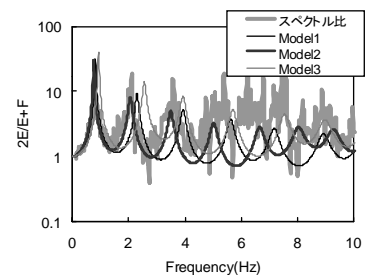


図 10 地震記録に基づく地表と孔中のスペクトル比と推定式による S 波増幅度の比較