

# 地盤のS波速度とポアソン比の特性評価 — 沖縄県を事例として —

松島良成<sup>1</sup>・矢吹哲哉<sup>2</sup>・有住康則<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 (財)沖縄県建設技術センター (〒902-0064 沖縄県那覇市寄宮1-7-13)  
<sup>2</sup>フェロ-会員 工博 琉球大学教授 工学部環境建設工学科 (〒903-0123 沖縄県西原町千原1)  
<sup>3</sup>正会員 工博 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒903-0123 沖縄県西原町千原1)

構造物に対する地震災害を予知しようとする場合、初期入力情報として、対象構造物基礎部における地震波情報と地盤情報が必要となる。地盤情報としては、対象地盤における各地層の定数となる、層厚H、密度ρ、体積弾性波速度V<sub>p</sub>、せん断弾性波速度V<sub>s</sub>などが必要となる。そこで、本研究では、亜熱帯特有の地盤構成を有する沖縄県を事例として、PS 検層結果から得られるポアソン比νおよびV<sub>s</sub>とその地域地盤特性の相関関係を検討した。これらの結果を基に、道路橋示方書のV<sub>s</sub>推定式およびその他既往のV<sub>s</sub>推定式を特定地域特有な地盤構成に適用する可否について検討した。また、その特定地域で得られた調査結果に基づいた回帰式を提案し、更に、汎用式である道路橋示方書のV<sub>s</sub>推定式と本論文提案式とを比較することより、本提案式が地域特有な地盤特性をよく評価することを示す。

**Key Words :** S-wave velocity, P-wave velocity, PS logging, Poisson's ratio, subsurface layers

## 1. はじめに

構造物に対する地震災害を予知しようとする場合、初期入力情報として、対象構造物基礎部における地震動の波形および強度、周期特性、継続時間などの地震波情報と地盤情報が必要となる。地盤情報としては、その特定地盤における各地層の定数である、層厚H、密度ρ、体積弾性波速度V<sub>p</sub>、およびせん断弾性波速度V<sub>s</sub>などが必要となる。これらの定数は、物理検層等によって直接的に求めることができる。ここに、動的解析に必要となるパラメータと物理検層から得られるデータ間との関係<sup>1)</sup>を表-1に示す。ある特定地域での地盤の密度ρ、体積弾性波速度V<sub>p</sub>、せん断弾性波速度V<sub>s</sub>等から前述のパラメータを求める場合、各々の物理検層を実施することは、調査条件や経済的な理由により困難となることが多い。そこで、このような地盤の物理定数を推定する方法としては、道路橋示方書のV<sub>s</sub>推定式<sup>2)</sup>等や過去に実施された物理探査等の結果を利用することが多い。ところで、地震等により地表面下で起きた振動は、いくつかの地層を通過して地表面にその振動波が伝達される。したがって、伝播速度はその地域の地盤を構成している土質、その深度及び硬軟度に大きく影響されることから、これまでにいくつかの地域で独自の推定式が提案されている<sup>3)~5)</sup>。

著者らは、これまでに沖縄県地方における土質柱状図、

表-1 各パラメータと動的地盤定数の関係式

ポアソン比	せん断弾性係数	ヤング係数	体積弾性係数
$\nu = \frac{1}{2} \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1}$	$G_D = \rho V_s^2$	$E_D = 2(1+\nu)G_D$	$K_D = \frac{2}{3} \frac{1+\nu}{1-2\nu} G_D$

弾性波探査またはPS 検層等の地盤情報に関する資料を収集し、当該地方の地盤特性について研究を進めてきている<sup>9),10)</sup>。そこで、本研究では、亜熱帯特有の地盤構成を有する沖縄県において実施されたPS 検層等から得られるポアソン比ν、体積弾性波速度V<sub>p</sub>、せん断弾性波速度V<sub>s</sub>を土質分類ごとに整理し、ν、V<sub>p</sub>、V<sub>s</sub>および土質分類の相関関係について検討した。次に、道路橋示方書のV<sub>s</sub>推定式(以下、道示式とする)を沖縄県地方に適用する妥当性について検討する。最後に、沖縄県地方を事例として、当該地域で実施されPS 検層等の観測値に基づいたV<sub>s</sub>推定式を提案する。更に、汎用式である道示式と本提案式とを比較することより、本提案式が沖縄県地方の地盤特性をよく評価することを示す。

## 2. 沖縄県における地盤の概要

沖縄県には、多くの島々が点在しておりそれぞれ独特

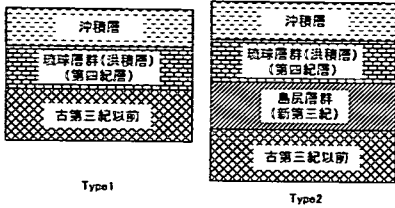


図-1 沖縄県における一般的な地質層序

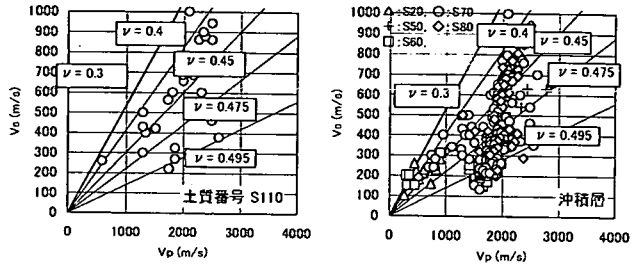
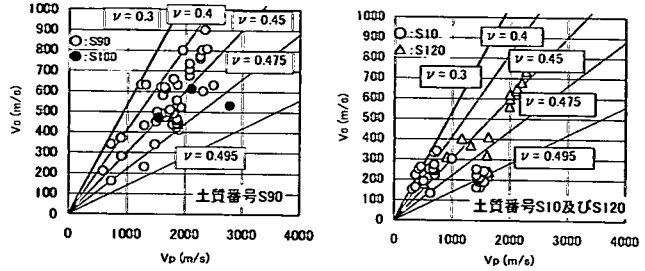


図-2 土質分離ごとの  $V_p$ ,  $V_s$  および等ポアソン比線の関係

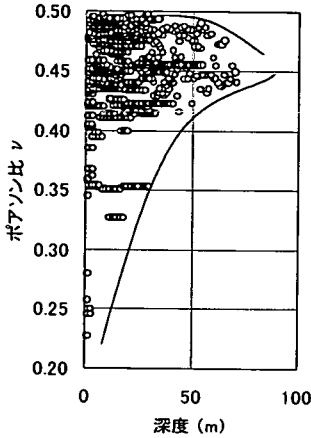


図-3 深度とポアソン比の関係

表-2 土質分類ごとのポアソン比に関する基本統計量

SOIL No	S10	S20	S30	S50	S60	S70	S80	S90	S100	S110	S120
平均	0.410	0.432	0.480	0.471	0.464	0.459	0.453	0.428	0.456	0.424	0.452
分散	0.0061	0.0029	0.0002	0.0001	0.0055	0.0009	0.0010	0.0013	0.0002	0.0016	0.0002
最小	0.23	0.25	0.42	0.46	0.10	0.35	0.35	0.33	0.45	0.35	0.42
最大	0.49	0.49	0.49	0.48	0.50	0.50	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49
標本数	48	51	22	9	73	275	80	197	25	70	46

の地盤構成を形成している。ここで、沖縄県における一般的な地質層序を図-1に示す<sup>11), 12)</sup>。図-1において、Type1は沖縄本島北部および八重山地方、Type2は沖縄本島中南部および宮古島地方の地質層序と考えられている。ところで、沖縄県特有の地盤として、琉球層群琉球石灰岩層がある。この琉球石灰岩層は、第四紀更新世にサンゴ礁から供給された砕屑物等が堆積して形成されている。この層には、石灰質堆積物が再結晶化し固結した部分があり、その部分の圧縮強度は19.6~29.4 (MN/m<sup>2</sup>)以上を示す。また、この層には、N値が20以下である砂礫状、砂状、粘土状の部分も混在し、非常に変化に富んだ地盤特性を有している<sup>13)</sup>。

前述の琉球層群のように、各々の地域には、その地域特有の地質的な特性があると考えられる。また、各地域固有の地質層序があり、各々の層はその特有な土質特性を有し堆積すると考えられる。よって、地域特有の地質層序特性やその土質特性を考慮した体積弾性波速度  $V_p$ 、せん断弾性波速度  $V_s$  およびポアソン比  $\nu$  の評価方法の検討は必要不可欠であると考えられる。

### 3. 土質分類ごとの $V_p$ および $V_s$ とポアソン比

参考文献14)によると、 $V_p$  は地質区分・土質区分ごとのばらつきが多く、土質区分ごとの差異は認め難い。また、軟弱地盤の力学情報を得る目的で弾性波速度

を利用する場合、 $V_p$  だけではほとんど有意な情報は得られないとある。よって、本研究では、 $V_p$  および  $V_s$  より得られるポアソン比を土質分類ごとに整理し、土質、ポアソン比、 $V_p$  および  $V_s$  の関係について検討した。

まず、PS 検層から得られる  $V_p$  と  $V_s$  よりポアソン比を求め、土質分類ごとのポアソン比の基本統計量を求めた。その結果を表-2に示す。ここで、埋土(表土) S10、粘性土 S20、シルト S30、有機質土 S40、砂質土 S50、砂 S60、砂礫 S70、礫 S80、風化島尻層泥岩 S90、風化島尻層砂岩 S100、琉球石灰岩 S110 およびその他 S120 とする。次に、各データの内沖積層(土質番号 S20~S80)、洪積層(土質番号 S110)、第三紀泥岩(土質番号 S90) およびその他(S10, S120)に分類し、 $V_p$  と  $V_s$  の散佈図と等ポアソン比線の関係を図-2に示す。図-2から、沖積層のポアソン比は、約0.4以上となる傾向が確認できる。参考文献14)においても第四紀層のポアソン比のほとんどが0.4以上である結果を報告している。琉球層群(土質番号 S110)及び第三紀泥岩(土質番号 S90)では、ポアソン比が0.30~0.45の範囲に分布する傾向が確認できる。

このように、現段階では等ポアソン比線、 $V_p$  および  $V_s$  の間で相関性を十分に把握できない。この相関性に不整合をもたらす主たる要因として、以下のようなことが考えられる。 $V_p$  は構成粒子及び間隙水の体積弾性係数によって決まる指標であり、地下水の影響を受けやすい指標であると考えられる<sup>14)</sup>。他方、 $V_s$  は粒子の大きさや形状

表-3 各地域の回帰式の一覧

地域名	データ数	$V_s$ (m/s)の推定式	相関係数
関東 <sup>3)</sup>	289	$V_s = 62.1 \cdot H^{0.220} \cdot N^{0.229} \cdot \begin{pmatrix} 1.000 \\ \dots \\ 1.091 \\ 1.029 \\ 1.073 \\ 1.151 \\ 1.485 \end{pmatrix}_F$	0.826
名古屋 <sup>4)</sup>	360	$V_s = 85.4 \cdot H^{0.152} \cdot N^{0.212} \cdot \begin{pmatrix} 1.000 \\ 0.901 \\ 0.836 \\ 1.005 \end{pmatrix}_F$	0.819
秋田 <sup>5)</sup>	115	$V_s = 64.3 \cdot H^{0.128} \cdot N^{0.179} \cdot \begin{pmatrix} 1.000 \\ \dots \\ 1.022 \\ 0.996 \\ 1.364 \\ 1.441 \end{pmatrix}_F$	0.948
静岡 <sup>6)</sup>	317	$V_s = 89.6 \cdot H^{0.179} \cdot N^{0.244} \cdot \begin{pmatrix} 1.000 \\ 0.894 \\ 0.961 \\ 1.463 \end{pmatrix}_F$	0.833
室蘭 <sup>7)</sup>	169	$V_s = 68.3 \cdot H^{0.249} \cdot N^{0.230} \cdot \begin{pmatrix} \dots \\ 1.000 \\ 0.848 \\ 1.050 \end{pmatrix}_F$	0.803
盛岡 <sup>8)</sup>	460	$V_s = 92.90 \cdot H^{0.240} \cdot N^{0.221} \cdot \begin{pmatrix} 1.000 \\ 1.101 \\ 1.153 \\ 1.444 \end{pmatrix}_F$	0.899

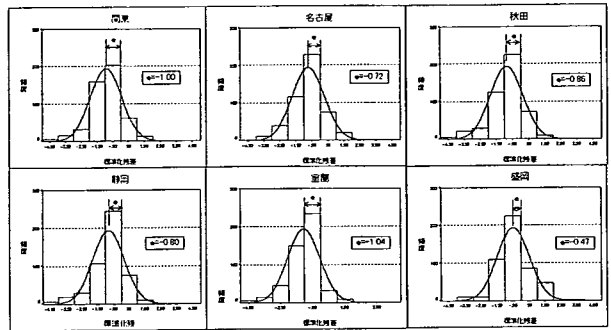


図-6 各地域の標準化残差のヒストグラム

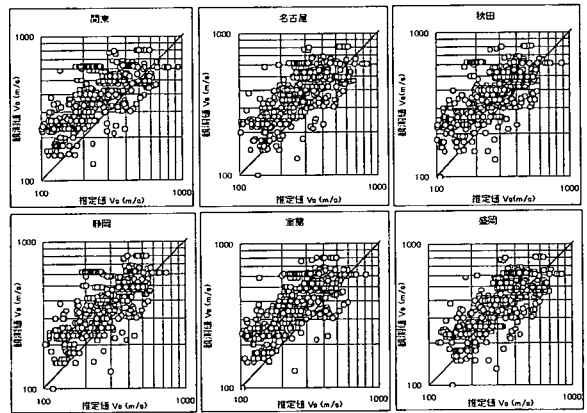


図-5 他の地域の回帰式からの推定値と観測値の散布図

およびその構造形態により決まる値である<sup>14)</sup>と考えられる。ここで、図-3 に深度とポアソン比についての関係を示す。この図から、深度が比較的浅い位置でポアソン比がばらつく傾向が確認でき、地下水位が変動する深度でポアソン比がばらついていると考えられる。

以上のようなことから、土質分類ごとの  $V_p$  および  $V_s$  とポアソン比の間に明瞭な相関関係は認められない。よって、現段階における PS 検層結果に基づいた土質分類ごとのポアソン比を推定する方法としては、土質分類ごとのポアソン比の基本統計量(表-2)から得られる平均値を利用する方法が妥当であると考えられる。

#### 4. せん断弾性波速度 $V_s$ に関する既往の回帰式からの推定

まず、使用する回帰式の関数型について考える。地盤構成物質の  $V_s$  は物質の組織・構成、おかれた環境、その他地層の履歴等の複雑な要因に影響される<sup>3)</sup>と考えられるが、これらのすべての要因を考慮した回帰式を得ることは現実的ではないと考えられる。また、実際のボー-

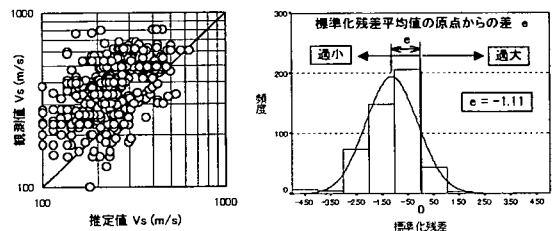


図-4 道式からの推定値と観測値の散布図および標準化残差のヒストグラム

リング調査において得られるデータは、深度  $H$ (m),  $N$  値( $N$ ), 地質分類 ( $E$ ) (沖積層, 洪積層, 第三紀), 土質 ( $F$ ) (粘性土, 砂質土, 砂, 礫) などが一般的である(以下, 各々  $H, N, E, F$  とする)。しかし、過去のボーリングデータなどには、地質年代を明示しない場合も多い。

ところで、構造物基礎を設計する場合、一般に道式が多く利用されている。また、過去に検討された事例では、 $H, N, F$  を説明変数に取ったものが多い<sup>3)~3)</sup>。そこで、本研究の推定に適用する回帰式モデルは、2 因子モデル  $NF$  と 3 因子モデル  $HNF$  の 2 種類とした。これら各々の因子

には、 $V_s$ との間に物理的因果関係がある<sup>3),15)</sup>と考えられている。まず、NFモデルである道式を式(1)に示す。

$$V_s = 100N_i^{1/3} \text{ (m/s)} : (1 \leq N_i \leq 25) \text{ 粘性土層} \quad (1)$$

$$V_s = 80N_i^{1/3} \text{ (m/s)} : (1 \leq N_i \leq 50) \text{ 砂質土層}$$

ここで、 $N_i$ は、標準貫入試験による*i*番目の地層の平均*N*値である。

また、HNFモデルを表-3に示す。本研究では、沖縄県における $V_s$ の観測値に基づき、式(1)に示す道式および表-3に示す $V_s$ の回帰式における適合度を調べ、これらの回帰式を沖縄県の地盤に適用する妥当性について検討した。実務において、ある地域特有の地盤特性を有した箇所に道式を適用する場合、各設計担当者の判断で粘性土や砂質土の2種に分類し、 $V_s$ を算定している。そこで、本研究では、日本統一土質分類法に基づき土質の判別を行った。日本統一土質分類法は、大分類、中分類、小分類、細分類の4段階で土を分類しており、目的に応じた分類段階まで分類する方法である。粘性土は、大分類における細粒土(シルトM、粘性土C、有機質土O)とし、砂質土は、粗粒土(砂質土SF、砂S、礫質土GF、礫G)とした<sup>16)</sup>。また、表-3に示すHNFモデルでは、道式と同様に日本統一土質分類法に基づき、中分類により判別した。

本研究で用いたデータは、沖縄県で実施された34本のPS検層のポアホールにおける土質データ617個と弾性波探査結果<sup>17)</sup>である。また、データの選出および推定式への適用については、以下に示す事項について考慮した。

- ① 標準貫入試験の精度を考慮して、換算*N*値が1未満のデータまたは500以上のデータは棄却する。
- ② 琉球石灰岩層(琉球層群)<sup>11)~13)</sup>の再結晶化して固結した層の影響を除くため、土質層序において、最初に琉球石灰岩層の固結部分が出現した層から島尻層泥岩層直前までのデータは除く。それは、前述のように琉球石灰岩層における固結部分の圧縮強度が19.6~29.4(MN/m<sup>2</sup>)以上であり<sup>13)</sup>、本研究で対象とする一般的な土質とは大きく性状が異なる層と考えられるためである。

以上のようなデータ抽出の結果、土質データ数は487個となった。これらのデータを他の地域の回帰式(表-3)に代入し、観測値と回帰式による推定値の適合性について検討した。それらの結果を図-4~図-6に示す。汎用式である道式の検討結果を図-4に示す。この図において、標準化残差 $e_s$ とは、式(2)により定義される<sup>18)</sup>。

$$e_i = y_i - \tilde{y}_i \quad (2)$$

$$e_{is} = \frac{e_i}{s}$$

ここで、 $y_i$ は、観測値であり、 $\tilde{y}_i$ は推定値である。

また、 $s$ は残差 $e_i$ の標準偏差である。標準化残差の平均値は、0であり、標準偏差は1である。この図から道式

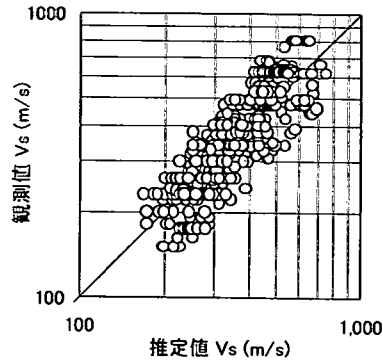


図-7 提案式からの推定値と観測値 $V_s$ の関係

表-4 残差分散分析前後の残差変動分散の検定結果

棄却前 $S_e$	棄却後 $S_e$	F 値	片側境界値 $\alpha_{0.01}$	判定
11,186	7,285	1.535	F値=1.239	○

式は、 $V_s$ の値を過小に推定する傾向が認められる。これまでも、沖縄県の地盤に道式を適用した場合、 $V_s$ を過小評価する傾向<sup>19)</sup>が指摘されているが、今回の結果においても、同様な傾向が認められる。また、図-5および図-6に他の地域の回帰式に関する検討結果を示す。これらの図から道式と同様な傾向が認められる。また、標準化残差の平均値と原点0との偏差 $e$ (図-4参照)は、道式よりも小さい傾向が認められる。

## 5. 沖縄県における $V_s$ の推定式について

ここでは、前掲4.で用いたデータおよびHNFモデルを基に、林の数量化理論I類<sup>20)</sup>の拡張により「数値」と「分類」の混在した説明変数を用いた重回帰分析により推定式<sup>21)~23)</sup>を導いた。表-3に示す回帰式は、この方法により導かれている。

次に、得られた回帰式の妥当性について検討を行った。回帰モデルの欠陥を見つけるための簡単かつ効果的な方法の一つに、回帰残差を利用する方法がある。これは標準化残差を用いて検討するものである<sup>18)</sup>。そこで、本研究においては、得られた回帰式に対する標準化残差分析から、データの棄却について検討した。一般的に回帰モデルが妥当であれば、標準化残差が $\pm 2$ の範囲で0の周りにランダムに分布する<sup>18)</sup>。よって、本研究で用いたデータにおいて、前述の範囲外のデータは、異常値と考え棄却した。棄却されたデータは23個である。よって、利用したデータは464個のデータとなった。そのデータから得られた回帰分析結果を図-7に示す。その重相関係数Rは0.84であり、良好な相関が得られた。次に、データ棄却前と棄却後における残差変動の分散の不偏推定量 $S_e$ を比較した。ここで、 $S_e$ は式(3)で表すことができる<sup>21)</sup>。

$$S_e = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3)$$

データ棄却前後の  $S_e$  の比較結果を表-4 に示す。前述の標準化残差を用いて、データの異常値を判定し、データを棄却した場合、残差変動の分散は、有意水準 1% で有意に小さくなることが示された。よって、前述のデータ棄却により回帰式は改善されたと考えられる。本研究においては、式(4)を  $V_s$  の推定式として提案する。

$$V_s \text{ (m/s)} = 185H^{0.169} N^{0.098} \quad (4)$$

1.000

0.802

0.862

0.714

0.819

1.249

1.291

}

埋土、砂礫、礫、島尻層砂岩、その他風化岩

粘性土

シルト

砂

砂質土

島尻層泥岩

琉球石灰岩

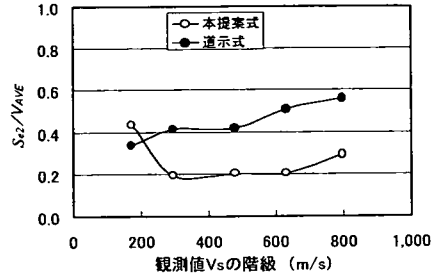


図-8 道示式と提案式における残差分散の比較

表-5 残差分散に関する有意差の検定

$V_s$ の範囲 (m/s)	各階級観測		提案式	道示式	F値	F-分布 1%の値	判定
	値の平均	データ数	残差分散	残差分散			
0~199	174	25	5.683	3.365	1.69	2.66	×
200~399	297	224	3.342	14.957	4.48	1.39	○
400~599	478	158	9.226	39.948	4.33	1.59	○
600~799	630	50	16.357	101.757	6.22	1.94	○
800~	800	7	53.738	197.714	3.68	7	×

表-6  $V_s < 300$ (m/s)における提案推定値と他の推定値間の有意差検定結果

推定方法	道示式	関東	名古屋	秋田	静岡	室蘭	盛岡
F値	1.63	1.91	1.59	1.86	1.70	1.77	1.26
有意差判定	○	○	○	○	○	○	×

表-6 示す。また、他の地域の回帰式(表-3)における同様な検定結果を表-6 に示す。ここで、有意水準  $\alpha = 0.01$  に対する F 値は 1.53 である。

以上のことから、提案式が、道示式より有意に妥当な推定値を得ることができると考えられる。また、他の地域の回帰式を沖縄県地方に適用する場合、盛岡における回帰式が妥当であると考えられる。

よって、特定地域の特有な地盤に対して、道示式や他の地域の回帰式から  $V_s$  を推定する場合、その地域独特の地盤特性にこれらの回帰式が適合するかを判断する必要があると考えられる。また、今回の事例のように、適合性が不可と判断された場合、当該地域における独自の回帰式を導く必要があると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では、沖縄県における PS 検層結果に基づく動的地盤特性評価について検討した。また、沖縄県を事例に、特定地域の特有な地盤に対して道路橋示方書の推定式または他の地域の推定式を適用する場合、想定される問題点およびその解決方法について述べた。本研究により得られた主な成果をまとめると、次のようである。

- (1) 表土、埋土を除く沖積層のポアソン比は、0.4 以上の値となる傾向が認められる。
- (2) PS 検層から推定されるポアソン比は、測定する深度

## 6. 提案式と既往の推定式の比較

次に、道示式と式(4) (以下、提案式とする)の沖縄県の地盤に対する適合度の比較検討を行った。この検討に用いたデータは、提案式に用いた 464 個のデータとした。また、 $V_s$  を次に示す 5 つの範囲に区分した。区分範囲は、0~199(m/s)、200~399(m/s)、400~599(m/s)、600~799(m/s)および 800(m/s)以上の 5 範囲とした。これらの各データ範囲における道示式および提案式からの推定値と観測値間の残差変動分散の不偏推定良  $S_e$  (式(3))の平方根 (以下  $S_{e2}$  とする) について検討した。

各範囲における規準化した  $S_{e2}$  の関係を図-8 に示す。ここで、規準化した  $S_{e2}$  とは、 $S_{e2}$  と各範囲の  $V_s$  の平均値  $V_{AVE}$  との比 ( $S_{e2}/V_{AVE}$ ) を示す。図-8 より、 $V_s$  が 200(m/s) 未満の範囲では、提案式は道示式より  $S_{e2}/V_{AVE}$  が大きく、適合性が劣っているが、他の範囲では優れていることが認められる。ここで、各範囲における  $S_e$  の有意差について、F 分布による検定を行った。その結果を表-5 に示す。この表から、提案式は 3 範囲において優位であり、2 範囲では有意な差のないという結果が得られた。

ところで、道示式は、粘性土の場合  $N$  値=1~25、砂質土の場合  $N$  値=1~50 の範囲での実験値から導いた推定式であり、地盤の  $V_s$  が 300(m/s) 未満である地盤を対象としている<sup>2)</sup>。以上のことを踏まえて、 $V_s$  が 300(m/s) 未満のデータについて  $S_e$  の有意差の検定を行った結果を

により値のばらつきに差異が認められる。

(3) 沖縄県における地盤の  $V_s$  の推定について、道路橋示方書の推定式を用いる場合、 $V_s$  を過小評価する傾向が認められた。また、他地域の回帰式を用いる場合でも、 $V_s$  の過小評価の傾向が認められた。

(4) 沖縄県における  $V_s$  推定式を導いた。沖縄県の地盤に対する本研究の  $V_s$  推定式と道路橋示方書の  $V_s$  推定式の比較より、本研究推定式の適合性がより良いことを示した。

(5) 道路橋示方書や他の地域における推定式から  $V_s$  を推定する場合、その地域独特の地盤特性に対するこれらの推定式の適合性を検討する必要性を示した。

今後の課題は下記のとおりである。

(1) 沖縄県におけるPS検層等に関するデータの更なる蓄積を行い、 $V_s$  推定式の精度を高める。

(2) ポアソン比について、地盤の地下水位の影響を考慮した推定方法の確立が望まれる。

(3) 琉球石灰岩層（琉球層群）についてのデータを蓄積し、その動的物理定数の特性を把握する。

謝辞：本研究におきまして、PS 検層等のデータを提供していただいた沖縄県総合事務局南部国道事務所、那覇港湾空港工事事務所、科学技術庁防災科学技術研究所、沖縄県北部土木事務所および沖縄電力株式会社火力部の関係各位に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土質工学会：土質調査法，pp.120~124，1982.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・解説Ⅴ耐震設計編，pp.43，1996.
- 3) 大田裕，後藤典俊：S 波速度を他の土質諸指標から推定する試み，物理探査，Vol. 29，No4，pp.251~261，1976.
- 4) 飯田汲事，正木和明，楓重彦：名古屋地盤の振動特性に関する研究，愛知工業大学研究報告，13，191~200，1978.
- 5) 野越三雄，中西庄一，狐崎長良：秋田市におけるマイクロゾーンネーション研究—S 波速度と土質指標との関連—，第20回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，184—187，1983.
- 6) 正木和明：地震防災を対象とした地盤振動特性の評価に関する研究，博士論文，東京工業大学，1984.
- 7) 鈴木一成，丸山昌則，後藤典俊，武藤章，河内邦夫：北海道室蘭地方における S 波速度実験式と他地域の実験式との比較，物理探査，Vol.47，No.2，pp.105~119，1994.
- 8) 山本英和，大丸篤志，斎藤徳美：盛岡市域における地盤の S 波速度推定式の作成，物理探査，Vol.49，No.3，pp.182~196，1996.
- 9) 松島良成：琉球石灰岩層における N 値の評価について，第53回土木学会年次講演会，pp.796~797，1998.
- 10) 松島良成，矢吹哲哉，有住康則：沖縄県における地盤の動的物理定数の推定法について—地形分類の利用—，土木学会論文集，No.655，VI.49，pp.171~176，2000.
- 11) 沖縄県：土地分類基本調査（縮尺 5 万分の 1）、「那覇」～「石垣」，1983~1992.
- 12) 木崎甲子郎：琉球弧の地質誌，沖縄タイムス社，pp.107~pp.114，1985.
- 13) 古川博恭：琉球石灰岩，「九州沖縄の特殊土」，土質工学会九州支部，pp.185~198，1983.
- 14) 今井常雄，吉村正義：地盤の弾性波速度と力学的性質，物理探査，Vol.25，No.6，pp.285~286，1972.
- 15) 大田裕，後藤典俊：横波速度を推定するための実験式とその物理的背景，物理探査，Vol.31，No.1，pp.8~17，1978.
- 16) 土質工学会：土質試験法の方法と解説，pp.186~199，1990.
- 17) 防災科学技術研究所：Kyoshin Net 土質データ，研究資料 187 号，1998.
- 18) S.チャタジー，B.プライス：回帰分析の実際，佐和隆光，加納悟共訳，新曜社，pp.9~10，1981.
- 19) 松島良成：地盤調査および設計・施工事例の活用例について，第9回沖縄県土木建築部研究発表会，pp.27~28，1999.
- 20) 林知巳夫：数量化理論とその応用（Ⅴ），統計数理研究所，8-2，pp.149~151，1961.
- 21) 松本嘉司：土木解析学（Ⅰ），技報堂出版，pp.279~282.1971.

(2001.2.8 受付)

## EVALUATION OF CHARACTERISTICS OF S-WAVE VELOCITY AND POISSON'S RATIO ON SUBSURFACE LAYERS —EXAMPLE OF OKINAWA PREFECTURE—

Yoshinari MATSUSHIMA, Tetsuya YABUKI and Yasunori ARIZUMI

For prevention of earthquake disaster at a site, it is needed to investigate dynamic physical properties of subsurface layers and ground-motion characteristics at that site. Thereupon, first this study makes characteristics of S-wave velocity, P-wave velocity, and Poisson's ratio clear, based on PS logging for erratic subsoil on subsurface layers. Second this study proposes an empirical equation of S-wave velocity for subsurface layers in Okinawa. Furthermore, from comparison with other typical formulas, the availability of the proposed formula is shown.