

# 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—

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 沖縄県西原町中原 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 沖縄県西原町中原 1)

ある特定地域における地震災害防災を検討する場合に、サイズミックゾネーションマップが重要な資料となる。しかし、沖縄県のような島嶼地域特有の小地形を考慮する必要がある場合には、従来利用されてきたマップメッシュの妥当性及び細分化の検討が必要となる。その細分化によるマップメッシュの増大に伴い、必要とされる地盤情報も増大する。したがって、地盤情報に関する資料不足が問題となることが想定される。そこで、本研究では、地形分類図および過去の地盤情報について統計処理した結果を利用することで、これらの資料不足に対する補完手法を提案するものである。

**Key Words :** seismic microzonation, geomorphological land classification, geological profile, dynamic characteristics of ground

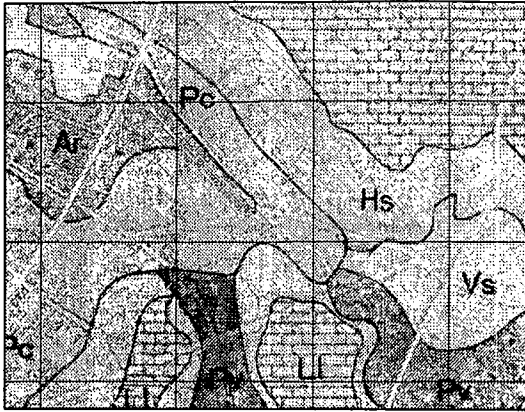
## 1. はじめに

構造物に対する地震災害を予知しようとする場合、最初の入力情報として、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。地震波情報については入力加速度波形と振幅レベルが、また、地盤情報については地盤種別、地盤反力係数及びせん断剛性係数がそれぞれ主要因子となる。これらの情報をマップメッシュ毎に組み込んだ情報地図がサイズミックゾネーションマップであり、ある特定地域における地震災害防災を検討する際の重要な基礎資料となる<sup>1)~4)</sup>。特に沖縄県のように、島嶼地域における小地形群を考慮しなければならない場合には、マップメッシュを細分化したマイクロゾネーションが必要となる。入力加速度波形と振幅レベルの決定に関しては地盤種別が主要因子となり、地盤種別の決定に関しては土質、地層厚及び地層平均せん断弾性波速度が主要因子となる<sup>5)</sup>。したがって、初期情報として、マイクロマップメッシュ毎の土質、地層厚、密度及び地層平均せん断弾性波速度に関する資料が必要となるが、これらの情報は、一般にはボーリング調査及び弾性波探査又はPS検層による測定によって得られることになる。しかし、ボーリング調査測定件数は限られており、マイクロマップメッシュ毎には対応できない現状にある。例えば、現在著者等が入手できた沖縄県地方における弾性波探査又はPS検層資料は34件と少なく、これらの不足を補完する必要がある。

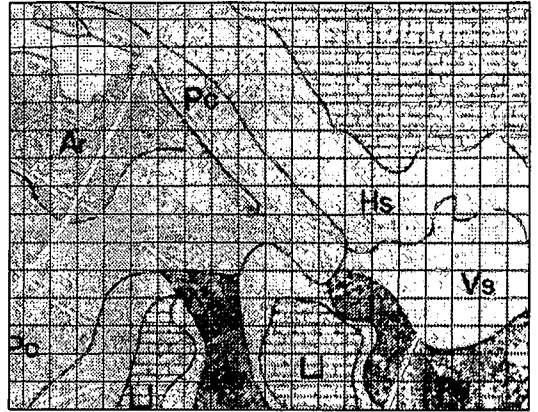
そこで、先ず土質調査資料を収集し、それらを統計処理することにより、地形と地盤特性の相関関係を明らかにする。本関係は二次元情報としての地形分類と地中下三次元情報としてのボーリング調査資料の相関<sup>6)~8)</sup>であることから、地理情報システム (Geographic Information System, 以下GISとする)<sup>9),10)</sup>を利用して、これらの関係について検討する。次いで、弾性波探査又はPS検層結果を回帰分析することにより、P波速度 $V_p$ 及びS波速度 $V_s$ で代表される動的物理定数と土質、深度及びN値の相関関係<sup>11)</sup>を明らかにした上で、沖縄県における構造物基礎地盤の動的物理定数推定式を導出し、資料不足を補完する方策としての推定方法を提案する。

## 2. 地形と地盤特性の相関関係

地形は地表下の地盤構成を反映することが、参考文献4),5)で報告されている。そこで、先ず、GISに沖縄県地方の地形分類図を挿入し、データベース化した。地形分類図で採用した9種の地形種別とその記号<sup>12)</sup>を表-1に示す。図-1に、マップメッシュを500m×500mとしたマイクロゾネーションマップ例と100m×100mに細分した例を示す。同図より、小地形と起伏が複雑に混在する島嶼地域特有の地形を評価するためには、少なくとも100m×100mに細分したマイクロゾネーションマップが必要と思われる。そこで、これまでに実施されたボーリング調査



(a) 500m×500mメッシュ割



(b) 100m×100mメッシュ割

図-1 沖縄県の地形分類図におけるメッシュ割

表-1 地形分類図における種別と記号

丘陵地		台地					低地		その他
小起伏丘陵	盆状谷	上位面	中位面(上位)	中位面(下位)	下位面	石灰岩堤	谷底低地	海岸低地	埋立地
Hs	Vs	Lu	Lmu	Lml	Ll	Lw	Pv	Pc	Ar

に関する資料を収集し、これらを地盤特性評価柱状図としてデータ化した。次に、地形分類図を内蔵した GIS にそのデータを被せて挿入し、三次元のデータベースを構築した。この柱状図から得られるデータは、深度、その深度における N 値、土質分類および地質年代などである。これらのデータベースから地形分類毎に柱状図データを抽出して統計処理することにより、沖縄県地方における地形と土質、深度及び N 値で代表される地盤特性の相関関係を検討した。本研究における対象地域は、987 地点のボーリング資料が得られた那覇市とした。

### (1) 土質特性

当該地域における地質は、年代が古い順に、古第三紀国頭層群名護層粘板岩層、新第三紀島尻層群砂岩・泥岩層、第四紀琉球層群琉球石灰岩層、第四紀沖積層・現世サンゴ礁堆積層とに区分され(図-2)、表層には全域で新生代新第三紀以降の地層が分布する<sup>10)~12)</sup>。本研究で対象となる構造物基礎部の土質層序は、沖積層、琉球層群(洪積層)、風化島尻層群(図-2)である。ここでは、各地形の土質分布特性を調べ、各地形の代表的地盤層序モデル推定法について検討した。その手順を図-3に示す。以下、その手順内容およびその結果について述べる。

(手順 1) 各ボーリングデータの土質に関する表示方法は統一されていないため、次のような 1 次データ処理を行う。① 土質分類は、日本統一分類法における中分類を参考にし、柱状図の記事を考慮して埋土(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。ここに示す数字は土質番号とする。② 琉球層群琉球石灰岩層は、砂質土、砂礫、岩塊等の複数の層が互層となって堆積していることが多い<sup>1)</sup>。そこで、土質分布を簡素化するため、この複数の構成される層を洪積世に堆積した 1 層と考える。

(手順 2) 1 次処理したデータを基に、地形分類を行表示、各層における土質の出現頻度を列表示した度数分布表を作成する。この表から、”地盤各層の土質分布は、地形に無関係に分布するか否か”の検定を行う。

そこで、帰無仮説  $H_0$  として、  
 $H_0$ : 地盤各層の土質分布は、地形に無関係に分布する；  
を設定し、 $\chi^2$  検定を行う。

まず、この条件のもとで、地形分類を行表示、各層の土質の出現頻度を列表示した表の周辺分布から期待度数を算定し、その期待度数と観測度数から  $\chi^2$  の値を計算する。有意水準  $\alpha=0.01$  で検定した結果、

$$\chi^2_{0.01} = 442 < \chi^2 = 1066$$

を得た。したがって、高度に有意をもって地形に関係すると言えよう。

(手順 3) 各地形のボーリングデータから S90 および S110 を抽出し、各地形におけるその出現率を求める。

(手順 4) 地盤の土質層序形式を簡略化するために、1 次処理データに対して、次の 2 次データ処理を行う。

① 人工地盤である埋土 10 を層序から除く。② 風化島尻層泥岩 S90 は、島尻層泥岩地盤が陸化した際に、風化した層と考えられるため、島尻層群新鮮部 (S90f) と同一と考える。

表-2 地形分類ごとにおける土質層序構成の種類とその出現率

Hs (小起伏丘陵地)						Vs (盆状谷)						Lmu (中位面(上位)台地)					
出現率計 (%) = 83 データ数 = 253						出現率計 (%) = 79 データ数 = 109						出現率計 (%) = 70 データ数 = 84					
層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
1層目	S90f	S20	S110			1層目	S90f	S20				1層目	S90f	S20	S70	S110	S20
2層目		S90f	S90f			2層目		S90f				2層目		S90f	S90f	S90f	S110
3層目						3層目						3層目					S90f
出現率 (%)	27	31	5			出現率 (%)	23	56				出現率 (%)	14	33	11	6	6
層序形式の種類数	33					層序形式の種類数	8					層序形式の種類数	15				
風化島尻層泥岩の出現	39					風化島尻層泥岩の出現	48					風化島尻層泥岩の出現	36				
琉球石化岩層の出現率 (%)	12					琉球石化岩層の出現率 (%)	1					琉球石化岩層の出現率 (%)	19				

Lml (中位面(下位)台地)						Li (下位面台地)						Lw (石灰岩台地)					
出現率計 (%) = 75 データ数 = 28						出現率計 (%) = 58 データ数 = 135						出現率計 (%) = 100 データ数 = 17					
層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
1層目	S90f	S110	S20	S20	S20	1層目	S90f	S20	S70	S110		1層目	S90f	S110	S20	S80	S20
2層目		S90f	S90	S70	S80	2層目		S90f	S90f	S90f		2層目		S90f	S90f	S110	S110
3層目				S90f	S90f	3層目						3層目				S90f	S91f
出現率 (%)	18	11	7	14	14	出現率 (%)	16	27	8	7		出現率 (%)	24	47	12	12	5
層序形式の種類数	12					層序形式の種類数	24					層序形式の種類数	5				
風化島尻層泥岩の出現	32					風化島尻層泥岩の出現	36					風化島尻層泥岩の出現	47				
琉球石化岩層の出現率 (%)	36					琉球石化岩層の出現率 (%)	13					琉球石化岩層の出現率 (%)	65				

Pv (谷底低地)						Pc (海岸低地)						Ar (埋立地)					
出現率計 (%) = 84 データ数 = 123						出現率計 (%) = 51 データ数 = 135						出現率計 (%) = 44 データ数 = 102					
層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	層序形式	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
1層目	S90f	S20				1層目	S20	S70	S110	S20	S20	1層目	S20	S70	S70	S20	
2層目		S90f				2層目	S90f	S90f	S90f	S80	S70	2層目	S90f	S90f	S110	S70	
3層目						3層目				S90f	S90f	3層目		S90f	S90f		
出現率 (%)	12	72				出現率 (%)	22	7	7	10	5	出現率 (%)	20	5	14	5	
層序形式の種類数	15					層序形式の種類数	38					層序形式の種類数	47				
風化島尻層泥岩の出現	46					風化島尻層泥岩の出現	21					風化島尻層泥岩の出現	28				
琉球石化岩層の出現率 (%)	2					琉球石化岩層の出現率 (%)	33					琉球石化岩層の出現率 (%)	29				

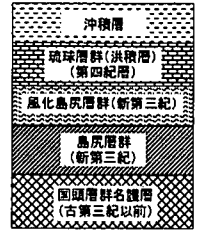


図-2 那覇市の地質概略

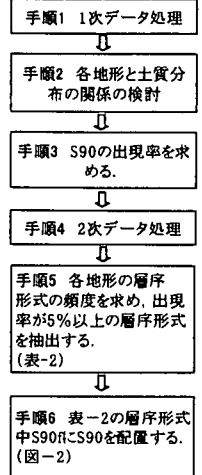


図-3 土質特性の検手手順

(手順5) 2次処理データを基に、各地形分類における土質層序形式の出現率について整理する。整理した結果を表-2に示す。ここで、各層序形式の出現率が5%未満の形式は除く。この表から、次のことが認められる。① 全地形でS20→S90の形式が出現する。② Ar, Pcを除く全地形においてS90fだけの層序形式が出現する。③ Lmu, Lml, Li, Lw, Pc, Arについては、S70, S80およびS110を含む層序形式の頻度が多くなる傾向がある。④ 各地形において、出現率5%以上の層序形式2~6種が、全層序形式の約50%~100%を占めている。

(手順6) 上記手順5の④から、表-2に示す各地形毎の層序形式は卓越した層序形式と考えられる。ところで、当該地域の層序は、前述したように図-2に示す地盤を有している。そこで、表-2の層序形式中S90fに、S90を手順3で得られた出現率で配置させることで、図-2に準じた土質層序を作成することができる。

このように、図-3に示す手順から地形分類ごとの代表的な土質層序モデルの推定ができると考えられる。ここで、Hsにおける具体例を図-4に示す。

(2) 深度特性

上記データベースからN値データを抽出して、基盤から地表までの深度を検討した。このデータを基に、N値

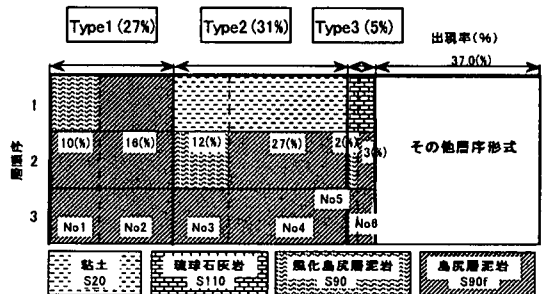


図-4 Hsにおける推定地盤層序モデル例

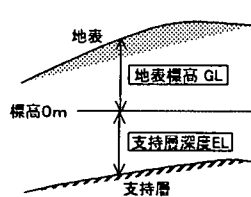


図-5 ELとGLの定義

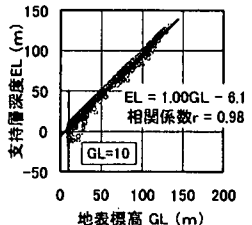


図-6 ELとGLの関係

30以上の島尻層泥岩層を基盤と設定し、標高0mから基盤までの深度を当該地域における支持層深度EL(m)と定義する(図-5)。次に当該地域における支持層深度分布および支持層深度と地表標高GL(m)の相関について統計的な解析を行った<sup>10)</sup>。その結果を次に示す。① 支持層深度

表-3 地形分類ごとの GL と EL の相関

地形分類	GL と EL の回帰式	相関係数
Hs	EL = 0.99 GL - 5.2	0.986
Vs	EL = 1.01 GL - 6.2	0.995
Lmu	EL = 1.17 GL - 25.0	0.945
Lml	EL = 0.94 GL - 3.6	0.918
Ll	EL = 1.22 GL - 13.3	0.751
Lw	EL = 1.16 GL - 23.5	0.993
Pv	EL = 1.05 GL - 8.6	0.986

表-4 Hs における土質分類ごとの N 値と層厚

土質番号	S20		S90		S110	
	N値	層厚	N値	層厚	N値	層厚
平均	7	3	18	2	39	8
中央値(メジアン)	5	3	16	1	50	6
最頻値(モード)	5	1	7	1	50	6
標準偏差	6.3	2.2	7.9	1.2	16.0	6.6
分散	39.1	4.9	63.0	1.5	257.5	43.3
最小	0	1	1	1	1	1
最大	50	10	29	6	50	30
標本数	378	117	180	98	248	29

表-5 各パラメータと動的地盤定数の関係式

パラメータ	関係式	パラメータ	関係式
ポアソン比	$\nu = \frac{1}{2} \frac{V_p/V_s}{V_p/V_s}^2 - 2$	ヤング率	$E_D = 2(1+\nu)G_D$
剛性率	$G_D = \rho V_s^2$	体積弾性率	$K_D = \frac{2}{3} \frac{1+\nu}{1-2\nu} G_D$

EL の分布は、地形分類ごとに固有の形状を示す。② GL ≥ 10m の地域では、支持層深度 EL と地表標高 GL の間に、良好な線形相関(相関係数 r=0.98)が認められる(図-6)。③ GL < 10m の地域では、支持層深度 EL と GL の間に有意な相関は認められない。④ 上記②の結果を踏まえて、更に地形ごとに支持層深度 EL と地表標高 GL の相関関係について検討した。その結果を表-3 に示す。この表から、地形分類ごとの EL と GL の良好な相関関係が認められる。

一般に、ある地点における地表標高 GL は、地形図より得ることができる。よって、GL ≥ 10m の地域では、表-3 の回帰式に GL を代入することから、各地形における任意点の支持層深度 EL の推定が可能となる。また、GL < 10m の地域では、EL の等高線図を作成し、その支持層等高線から任意点における EL の推定が可能となる。

(3) 各地形における土質層序と各層の N 値および層厚次に、前掲の図-4 に示すような地形ごとの土質層序モデルに対して層厚および N 値を設定し、その定量化を図る。そこで、地形分類ごとに土質、層厚および N 値をデータベースから抽出し、その基本統計量を求める。

本研究では、この統計量を層序モデルに代入することで層序モデルの定量化を図ることとする。ここで、Hs におけるデータの抽出例を表-4 に示す。

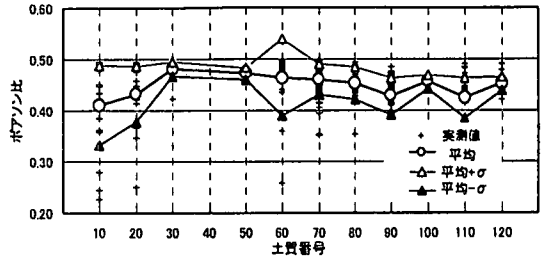


図-7 土質分類とポアソン比の関係

### 3. 地盤の動的物理定数の推定

地震時の地盤挙動を予測するためには、その地盤における各層の定数として、ポアソン比  $\nu$ 、剛性率  $G_D$  およびヤング率  $E_D$  等が必要となる。これらの定数は、物理検閲より得られる密度  $\rho$ 、せん断弾性波速度  $V_p$  および  $V_s$  から求めることができる(表-5)。しかし、調査条件や経済的な理由により、各地域における地盤の物理検閲を実施することは困難となることが多い。そこで、各地域における  $V_p$ 、 $\nu$  および  $\rho$  を一般のボーリング調査から得られる N 値や土質などから推定する方法が広く用いられている。これらの方法としては、道路橋示方書に示されている共通推定式や各地域で実施された物理検閲結果を基に地域独自の回帰式を設定する方法が考えられる。

本研究では、後者について検討し、動的解析パラメータを求めるために必要となる動的物理定数の推定式<sup>20), 21)</sup>を提案するものである。

#### (1) $V_s$ の推定

ここで利用するデータは、沖縄県で実施された 34 本 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>22)</sup>を利用した。データの選出および推定式への適用は、以下に示す事項について考慮して、データ処理を行った。① 換算 N 値の精度を考慮して、N 値が 1 未満のデータまたは 500 以上の特異なデータは棄却する。② 琉球石灰岩層が再結晶化し、圧縮強度が 19.6~29.4(MN/m<sup>2</sup>) 以上となる固結した点在層は除く。

以上のデータ処理の結果、土質データ数は 487 となった。回帰式は、林の数量化理論 I 類<sup>23)</sup>を拡張した「数値」と「分類」の混在した説明変量を用いた重回帰分析により<sup>9)~11), 20), 21)</sup>、導いた。この結果を式(1)に示す。

$$V_s(\text{m/s}) = 182H^{0.173} N^{0.093} \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ 0.797 \\ 0.867 \\ 0.713 \\ 0.815 \\ 1.282 \\ 1.294 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{畑土, 砂礫, 礫, 島尻層砂岩, その他} \\ \text{粘性土} \\ \text{シルト} \\ \text{砂} \\ \text{砂質土,} \\ \text{島尻層泥岩} \\ \text{琉球石灰岩} \end{array} \right\} \quad (1)$$

表-6 土質分類ごとのポアソン比に関する基本統計量

SOIL No	10	20	30	50	60	70	80	90	100	110
平均	0.410	0.432	0.480	0.471	0.464	0.459	0.453	0.428	0.456	0.424
分散	0.0061	0.0029	0.0002	0.0001	0.0055	0.0009	0.0010	0.0013	0.0002	0.0016
最小	0.23	0.25	0.42	0.46	0.10	0.35	0.35	0.33	0.45	0.35
最大	0.49	0.49	0.49	0.48	0.50	0.50	0.49	0.48	0.48	0.49
標本数	48	51	22	9	73	275	80	197	25	70

式(1)の重相関係数は 0.77 であり,良好な相関が得られた。

(2)  $\nu$  の推定

物理検層から得られたポアソン比  $\nu$  の土質分類ごとに整理した結果を図-7 に示す。この図から,  $\nu$  と土質分類の相関を見出すことは困難であると言えよう。また, 参考文献(24)でも,  $\nu$  を  $N$  値や土質分類から推定することは難しいと報告されている。次に, ポアソン比の土質分類ごとの基本統計量を表-6 に示す。参考文献(24)によると第四紀層のポアソン比  $\nu$  は, ほぼ 0.4 以上であるが, 今回の結果も同様な結果を示している。そこで, 本研究では表-6 の平均値を採用することとした。

(3)  $\rho$  の推定

検討したデータは, 密度検層を実施したボアホールおよびサンプリングによる湿潤密度試験を行ったボーリング 24 本における土質データ 407 個である。これらのデータに対して, 土質の変化点及び  $\rho$  の極端に変動する点は棄却した。その結果採用するデータは 378 個となった。

密度  $\rho$  の推定式は, 既に幾つか提案されているが<sup>(25), (26)</sup>, ここでは, 前出の  $V_s$  と同様に, 重回帰分析を採用している。本研究では, 正木が提案した推定式<sup>(25)</sup>について検討した。ここで得られた  $\rho$  の推定式を式(2)に示す。

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1.739 + 0.131 \log_e N + \begin{pmatrix} 0.000 \\ -0.200 \\ 0.175 \\ -0.146 \\ 0.133 \\ 0.089 \\ 0.097 \\ 0.151 \\ -0.074 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{埋土, シルト, 礫} \\ \text{粘性土} \\ \text{砂} \\ \text{砂質土} \\ \text{砂礫} \\ \text{島尻層泥岩} \\ \text{島尻層砂岩} \\ \text{琉球石灰岩} \\ \text{その他風化岩} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式(2)の重相関係数は 0.71 であり,良好な相関が得られた。

(4) 各地形分類における地盤の土質層序およびその動的物理定数の推定例

以上の検討結果から得られた推定式(1)及び式(2)に, 地形分類ごとの推定地盤モデル(図-4)と土質分類ごとの層厚および  $N$  値(表-4)を代入する。その結果, 地盤の動的物理定数を各推定式が示した重相関係数の精度で良好に推定することができる。

また, 表-5 に示す関係式から, 動的解析に必要となる

表-7 動的物理定数の推定例

層序型 No	層序	土質番号	$V_s$ (m/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	剛性率 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )
No1	1	S90	307	1.986	0.428	187,203
	2	S90F	387	2.051	0.428	307,919
No2	1	S90F	305	2.051	0.428	190,754
No3	1	S20	189	1.650	0.432	58,940
	2	S90	394	1.986	0.428	308,299
	3	S90F	454	2.051	0.428	422,744
No4	1	S20	189	1.650	0.432	58,940
	2	S90F	416	2.051	0.428	354,863
No5	1	S110	430	2.098	0.424	388,000
	2	S90	449	1.986	0.428	400,336
	3	S90F	454	2.051	0.428	422,654
No6	1	S110	430	2.098	0.424	387,920
	2	S90F	492	2.051	0.428	496,368

パラメータを求めることができる。例えば,  $H_s$  における推定例を表-7 に示す。ここで, 表中の層序型 No は, 図-4 中の No を表している。

4. まとめ

ある特定した地域でサイズミックマイクロゾネーションマップを作成する際, 当該地域に必要なマップメッシュに対するボーリングデータ等の資料が不足する場合がある。そこで, 本研究では, このような資料不足を補完する手法を提案した。これは, 現時点で存在するボーリング資料と地形分類図を併用して, 地盤情報を統計解析することにより導出した地盤の土質層序および動的物理定数の推定法を用いて資料不足を補完する手法である。

今後の課題として, 各地形ごとのボーリングデータや PS 検層や密度検層データの更なる蓄積を行い, 精度を高めると共に, 地形と地盤の関係についても更なる詳細な検討が望まれる。また, 現段階において琉球層群琉球石灰岩層の特性が十分把握されていないため<sup>(25)~(29)</sup>, 本研究では当該層に対する十分な検討ができなかった。それに関する特性の把握が望まれる。

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) 鏡味洋史: サイズミック ゾーネーション, 日本地震学会総合報告強震動地震学・地震工学研究の現状と展望, pp.203~214, 1994.
- 2) 野越三雄: Seismic Microzonation 研究 (I), 物理探査, Vol.42, No.3, pp.141~164, 1989.
- 3) 沖縄県総務部消防防災課: 沖縄県地震被害想定調査報告書, 1997.

- 4) 水田俊彦, 長崎純夫: 地理情報を利用した斜面都市の地震災害ポテンシャル評価, 日本建築学会構造系論文集, No. 490, pp. 237~246, 1996.
- 5) 松岡昌司, 翠川三郎: 国土数値情報を利用した地盤の平均 S 波速度の推定, 日本建築学会構造系論文報告集 No. 443, pp. 65~71, 1993.
- 6) 池田俊雄: わかりやすい地盤地質学, 鹿島出版会, 1986.
- 7) 村田泰章: 地理情報システムの主な機能, 物理探査, Vol. 40, No. 6, pp. 436~447, 1987.
- 8) 土質工学会: 土質調査法, pp. 120~124, 1982.
- 9) 山本英和, 大丸篤志, 斎藤徳美: 盛岡地域における地盤の S 波速度推定式の作成, 物理探査, Vol. 49, No. 3, pp. 182~196, 1996.
- 10) 日本道路協会: 道路標示方書・同解説 V 耐震設計編, pp. 43, 1996.
- 11) 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.
- 12) 野越, 仲西: 秋田市におけるマイクロゾーネーション研究, 第 20 回自然災害科学総合シナポジウム講演会論文集, pp. 184~187, 1983.
- 13) 目崎茂和, 河名俊男, 木庭元晴, 渡久地健: 地形分類調査, 沖縄地学会, 1983.
- 14) 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.
- 15) 木崎甲子郎: 琉球孤の地質誌, 沖縄タイムス社, pp. 107~114, 1985.
- 16) 福田 理: 沖縄島における島尻層群の地質と地下水, 地下水と井戸とボツ, 社団法人地下水技術協会, Vol. 22, No. 8, 1980.
- 17) 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.
- 18) 松本嘉司: 土木解析法 (I), 技報堂出版, pp. 266~269, 1971.
- 19) 松島良成, 矢吹哲哉: 那覇市内における支持層標高と地表標高の相関について, 第 54 回土木学会年次講演会, pp. 284~285, 1999.
- 20) 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, No. 4, pp. 251~261, 1976.
- 21) 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.
- 22) 防災科学技術研究所: Kyoshin Net 土質データ, 研究資料 187 号, 1998.
- 23) 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.
- 24) 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.
- 25) 正木和明: 地震防災を対象とした地盤地震動特性の評価に関する研究, 博士論文, 東京工業大学, 1984.
- 26) 鈴木一成, 後藤典俊, 武藤章, 河内邦夫, 川井康右, 山本祐司: 北海道登別市における地震危険度の解析—地表最大加速度と詳細深度の比較—, Vol. 48, No. 3, pp. 191, 1995.
- 27) 破砕性地盤の工学的諸問題に関する研究委員会: 破砕性地盤の工学的諸問題に関する研究委員会報告書及びシナポジウム発表論文集, 地盤工学会, 117~124, 1999.
- 28) 松島良成: 沖縄県における軟岩の支持力特性に関する研究—橋梁基礎について—, 平成 9 年度琉球大学修士論文, pp. 42~71, 1998.
- 29) 原久夫, 伊野波盛義, 松島良成: 南西諸島における琉球石灰岩の分布とその工学的性質について, 破砕性地盤の工学的諸問題に関するシナポジウム, pp. 109~114, 1999.

(2000.2.4 受付)

A PRACTICAL ESTIMATION OF DYNAMIC PHYSICAL PROPERTIES OF  
SUBSURFACE LAYERS IN OKINAWA PREFECTURE  
- USE OF GEOMORPHOLOGICAL LAND CLASSIFICATION -

Yoshinari MATSUSHIMA, Tetsuya YABUKI and Yasunori ARIZUMI

Seismic microzonation maps are very useful materials for prevention of earthquake disaster at a site. It is needed to investigate mesh-size of the map which is appropriate for topographies of small islands like Okinawa prefecture. But larger number of meshes requires the more data of subsurface layers at the site. It seems to be the most probable that there are not enough of the necessary data. This study proposes a practical method, which can supplement shortage of the data, by using statistical analysis for available data on geomorphological land classification and geological survey. Furthermore, based on the supplemented data, a practical formula estimating dynamic physical properties of surface layers in Okinawa prefecture is proposed.