

和歌山県有田市の地盤震動特性

辻原 治1・江川 真史2・澤田 勉3

¹正会員 博士(工学) 和歌山工業高等専門学校助教授 環境都市工学科(〒644-0023 和歌山県御坊市名田 町野島77)

²学生会員 大阪市立大学理学部 地球学科(〒558-8585 大阪市住吉区杉本3丁目3番138号) ³正会員 工博 徳島大学工学部教授 建設工学科(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

本研究の目的は,和歌山県有田市の平野部において常時微動観測を実施し,地盤震動特性を推定することである.有田市は有田川に沿って形成された平野を中心として発展し,南北にのびる和歌山県において中紀地方の拠点である.しかし,その地盤震動特性についての調査は,一部を除きほとんどなされていない.本研究では,有田市内平野部の85点において常時微動観測を実施し,推定した表層地盤の卓越周期のコンターマップを作成した.また,有田市は,初島,箕島,宮崎,港,宮原,糸我,千田の各地区に分かれており,それぞれの地区におけるボーリング調査資料も参考にして,市内平野部の全域について工学基盤深さを推定し,これのコンターマップも作成した.

Key Words : micro-tremor, Arida city, predominant period, depth of engineering bedrock

1.はじめに

構造物の耐震設計を行うためには,地盤構造や地 盤震動特性を的確に把握することが必要である.特 に我が国のように比較的軟らかい層を持つ平野部の 地盤では,表層の地盤条件が地表地震動に大きな影 響を及ぼす.

地盤構造や地盤震動特性を推定するためには,従 来ボーリング調査や PS 検層などが多く用いられて いるが,経済的な制約により,それらの適用には限 界がある.そこで,計器の設置や移動が容易であり, 簡便であることから常時微動の利用が有利となる. 近年,微動の周期帯を分けて検討を行うことで地盤 構造との関係をより良く見いだそうとする研究が盛 んに行われており,常時微動の観測結果に基づく比 較・検討から,地表地震動特性との整合性が認識さ れている.長周期帯域(1~10秒程度)の卓越周期か ら比較的深い地盤構造が評価でき,短周期帯域(1 秒以下)の卓越周期から比較的浅い地盤構造が評価 できることが認められている.さらに,1点で観測 される微動の水平動スペクトルを鉛直動スペクトル で除した振幅比を用いることで,周辺の振動源特性

を除去して表層地盤の固有周期や増幅倍率が安定して推定できることが報告されている¹⁾.

南海・東南海地震の発生確率が発表され,政府を はじめ関係諸機関において,地震防災対策の策定に 向けた動きが活発になってきている.和歌山県は両 地震の震源域に近く,地震動による被害も大きいこ とが予測される.精度の高い被害予測等を行うため には,対象とする地域の地盤震動特性をより正確に 把握することが必要不可欠である^{2,3)}.

本研究の目的は,南北にのびる和歌山県において, 中紀地方の拠点都市にあたる有田市の地盤震動特性 を常時微動の観測から推定することである.また, いくつかの地点で実施されたボーリングの資料を用 いて,市内平野部における工学基盤深さを推定する.

2.有田市の地形概要4

有田市は,高野山を源として紀伊水道に注ぐ有田 川の河口部に位置する面積約37平方キロメートル, 人口約3万5千人の都市である.東西約10キロメート ル,南北に約5~6キロメートルと東西にやや細長い 形状をしている.図-1に有田市周辺の地形の鳥瞰図



図-1 有田市および周辺の地形の鳥瞰図



図-2有田市の主な道路と鉄道および観測点(・)

を示す.有田市は,北部山地(長峰山脈),南部山 地(中山脈),中央低地(有田川・河岸平野)およ び海岸低地(紀伊水沿岸の初島,港,宮崎の一部) に区分される.山地ではみかんの栽培が盛んに行わ れている.中央低地は有田川によって形成された河 岸平野で,沖積地を利用した農耕及び住宅地帯とな っている.古来幾度かの河道変遷の記録が残ってい る.西部の海岸低地は,有田川河口を境として,北 側の大部分が砂丘海岸で,南側は宮崎ノ鼻を中心と して,断崖の岩石海岸が大部分をなしている.北側 の砂浜は,有田川が流出する土砂を沿岸潮流が北方 へ運び,だんだん海を浅くして海岸に打ち上げ,西 風に吹かれて海岸に平行する砂丘を作り、これが西 に延びて、初島から港へかけての海岸低地を作った ものと考えられている.この地域は住宅地帯であり, また海岸部は一部埋め立て地にまたがって石油精製 工場がある.図-2に有田市の主な道路と鉄道(JR紀 勢線)および常時微動の観測点を示す.図中の白抜 き部分が平野部で,網掛け部分が山地を表す.



写真-1 観測風景



図-3 観測波形のサンプルとそのフーリエス ペクトルおよび H/Vスペクトル

3.常時微動観測の概要

観測の様子を写真-1 に示す.計測機器として,㈱ 東京測振の携帯用記録計(SPC-35F)と速度計(VSE-11CCを2台,VSE-12CCを1台)を使用した.

今回観測を行った地点を図-2の黒丸で示す.常時 微動の観測は平成14年7月18日~28日の間で,山 地を除く平野部において,合計85地点で実施した. 観測を行う時間帯は,交通振動や生活振動の影響を 受け難い早朝5:00~7:00とした.また,コンク リート路盤やアスファルト路盤を避け,空き地等で きるだけ土の部分で観測することとした.

センサーには速度計を使い,各地点で水平2方向 と上下方向の振動をサンプリング周波数100Hzで1 分間計測した.観測された微動波形のサンプルとそ れらのフーリエスペクトルおよび H/Vスペクトルを 図-3 に示す.図において,左側の波形は上から順に UD, EW, NS 成分で,それぞれの右側にフーリエ スペクトルを示す.解析には,速度波形において安 定した 20 秒程度の一区間を用いている.また,同 図の上側に EW 成分と NS 成分を UD 成分で除した H/Vスペクトルを示す.微動の H/Vスペクトルは, 概して図-3 に示すように比較的はっきりとしたピー クを有するものであった.次章に述べる地盤の卓越 周期は, EW 成分と NS 成分を用いた H/Vスペクト ルによる推定値の平均値を用いることとした.

4.常時微動から推定される有田市の地盤震動 特性

4.1 卓越周期の推定

有田市内 85 地点の常時微動観測の H/Vの卓越周 期を表層地盤の卓越周期と見なして,これらの情報 といくつかの地点で実施されているボーリングの資 料および地形を参考に,平野部について卓越周期 (秒)のコンターマップを作成した.これを図-4 に 示す.

有田市内平野部の地盤の卓越周期について考察す ると次のようになる.

有田川の上流側では,卓越周期が 0.2~0.4 秒程度

と短く,比較的固い地盤構造を有している.下流に 向かうに従って卓越周期は 0.4~0.9 秒程度と長くな っており,比較的軟らかい地盤構造を有している.

各地区における卓越周期の分布の特徴を以下に記 す.

- ・ 糸我では, 0.3~0.4 秒程度と有田川の上流側 にあたり固い地盤構造をしている.
- ・ 宮原では,0.2~0.5 秒程度で比較的固い地盤 構造であるが,一部で 0.6 秒を示すなど軟ら かい地盤も有する.
- ・ 千田では,卓越周期が最大で 0.8 秒と長く, 一部で特に軟らかい地盤を有する.この地域 はかつて湿地帯であったことがわかっており
 ⁴⁾,周辺と比較して卓越周期が長くなっている ことと符合する.
- ・ 箕島では, 0.4~0.7 秒程度で山側から川に向 かって卓越周期が長くなっている.
- ・ 宮崎では,0.5~0.8 秒程度と有田川の河口付 近ということもあり,比較的軟らかい地盤構 造をしている.とくに,漁港付近では 0.8~ 0.9秒と軟らかい.
- 港では,0.8~0.9 秒程度を示す地域が広く見られる.この地区は,有田川の河口ということもあり,非常に軟らかい地盤となっている.
- ・ 初島では, 0.4~0.9 秒程度を示している.初



図-4 地盤の卓越周期(秒)のコンター



図-5 ボーリング調査地点とその番号

島は山と海に挟まれた細長い形をした地区で あり,山側から海側に向かって卓越周期が長 くなっている.海側の地域の一部は埋立地で あり,卓越周期が 0.9 秒程度以上と非常に軟 らかい地盤を有している.

4.2 工学基盤深さの推定

有田市内平野部のいくつかの地点で,地盤のボー リング調査がなされている.図-5 にボーリング調査 地点を示す.これらのうち,工学基盤までボーリン グがなされている地点,,,,, および について,地盤モデルをそれぞれ表-1~表-6 に示す. それぞれの地点について,土質区分が同じ層の平均 N値を求め,砂質土層と粘性土層を区別して,次式 ⁵⁾により各層のS波速度を求めた.

・ 砂質土層の場合

V_{si} = 80N_i^{1/3} 粘性土層の場合

$$V_{si} = 100 N_i^{1/3}$$

ここに,

N: :標準貫入試験による i 番目の平均 N 値

V₂: i 番目の地層の平均 S 波速度(m/s)

これらの地盤モデルについて,工学基盤の振動に 対する地表の応答の周波数伝達関数を求め,常時微 動のH/Vスペクトルと比較した.この結果を図-6に に示す.なお,地盤の応答は,S波の一次元重複反 射を仮定して計算した.その際,土の密度と減衰を 表すQ値のデータがないため,それぞれ1.7t/m³と5 を用いることとした.常時微動のH/Vスペクトルに ついては,85の観測点のうち,ボーリング地点に最 も近い地点のものを用いた.地盤の周波数伝達関数 と常時微動のH/Vスペクトルは,その卓越周波数が かなり良い精度で対応していることから,N値より 求めたS波速度の構造が概ね実地盤のそれと対応す ると判断することとした.

表-1 ボーリング地点 の地盤モデル

層番号	層厚(m)	平均 N 値	S波速度(m/sec)
1	24.0	7.9	159.3
2	3.1	19.7	216.1
3	2.45	2.3	105.6
4		60 以上	

表-2 ボーリング地点 の地盤モデル

層番号	層厚(m)	平均 N 值	S波速度(m/sec)
1	3.8	22.7	226.5
2	5.7	20.5	218.9
3	6.5	8.5	163.3
4	5.5	52.3	299.2
5		57.1	

表-3 ボーリング地点 の地盤モデル

層番号	層厚(m)	平均 N 値	S波速度(m/sec)
1	5.1	7.5	156.6
2	7.7	36.3	264.9
3	6.9	7.6	157.3
4	7.8	46	286.6
5		60	

表-4 ボーリング地点 の地盤モデル

層番号	層厚(m)	平均 N 値	S波速度(m/sec)
1	1.9	10	172.4
2	0.9	4	127.0
3	3.45	41	275.9
4	2.6	34.5	260.4
5	0.5	4	158.7
6	3.5	34	259.2
7	1.65	5.5	141.2
8	0.65	28	242.9
9	1.3	8	166.4
10	1.05	34	259.2
11		53	

表-5 ボーリング地点 の地盤モデル

層番号	層厚(m)	平均 N 值	S波速度(m/sec)
1	1.0	4	158.7
2	2.8	18.7	212.3
3	1.55	10	172.4
4	5.75	34.5	260.4
5	2.2	10	215.4
6	0.7	38	269.0
7	1.3	10	215.4
8	0.95	16	201.6
9	1.75	28	242.9
10		貫入不能	

表-6 ボーリング地点 の地盤モデル

層番号	層厚(m)	平均 N 值	S波速度(m/sec)
1	7.1	26.5	238.5
2	1.2	5	136.8
3	9.6	42.7	279.6
4		60以上	

そこで,すべてのボーリング地点において,N値 より求めたS波速度構造から工学基盤までの平均S



図-6 常時微動の H/Vスペクトルとボーリング資料から推定した地盤の周波数伝達関数の比較

波速度を推定し,図-7 に示す方法で常時微動観測点 における工学基盤深さを推定した.図-5の,お よびの地点では,工学基盤までボーリングがなさ れていないが,データのある最深部までの平均S波 速度を求め,これを用いることとした.

表-7 にそれぞれのボーリング地点における平均 S 波速度を示す.これらの値は,層厚による重み付き 平均によって得られている.なお,ボーリング地点

は K-NET⁶⁰の観測点であり,地下 20mまで詳細な 調査がなされている.この地点の平均 S 波速度は, 公表されている PS 検層の結果 ⁶⁰を用いて求めた.

と の地点では,それぞれ地下 15.5mと 30.5mま での調査がなされている.

図-7 に示す方法で,常時微動を観測した 85 点に ついて工学基盤深さを推定した.これらの地点は, 初島,港,宮崎,箕島,宮原,千田,糸我のうち,



図-7 微動観測点における工学基盤深さの推定法

表-7ボーリング地点における平均 S 波速度

ボーリング地点	平均 Vs(m/s)
	150.0
	160.8
	145.3
	189.5
	224.0
	224.0
	185.3
	226.5
	253.7

いずれかの地区に属する.それぞれの地区において, 工学基盤深さを推定する際に用いる平均 S 波速度を 表-8 に示す.宮崎と宮原は複数の値をあげているが, ボーリング地点と常時微動観測点の位置関係で,適 当と思われるボーリング地点の平均 S 波速度を用い たためである.図-8 に,工学基盤深さのコンターマ ップを示す.有田市内平野部の工学基盤深さについ て考察すると次のようになる.

工学基盤は,有田川の上流側で地表から 10~15m にあり,下流側に向けて徐々に深くなっている.河 口付近では 35m 以上と推定される.

次に各地区について考察する.

表-8 観測地区と用いた平均 S 波速度

地区名	平均 Vs(m/s)
初島	150.0
港	160.8
宮崎	145.3 , 160.8 , 189.5
箕島	189.5
宮原	224.0 , 185.3 , 253.7
千田	224.0
糸我	226.5

- 糸我は有田川の上流側に位置し,15~20m
 程度と比較的浅い.
- ・ 宮原町では,10~20m程度で比較的浅いが, ・部で25mを示すなど深いところもある。
- ・ 千田では,20~40mと,工学基盤は深い.
 この地区の工学基盤を推定する際に,同地
 区内東部で得られたボーリング(ボーリング
 グ地点)のデータを使用し,工学基盤までの平均S波速度を224.0m/sとした.地盤
 資料が得られているボーリングの地点も他に比べるとやや離れており,また既述のように,千田地区は,かつて低湿地であったことを考慮すると,地盤の平均S波速度は



図-8 工学基盤深さ(m)のコンター

用いた値よりも,実際には小さいことも考 えられる.有田川河口の港地区で用いた 160.8m/s で計算すると,千田地区の工学基 盤は図-8に示す値より全体に3割程度浅く なり,最も深いところで30m程度と考えら れる.

- ・ 箕島では,10~30m程度で山側から川に向 かって工学基盤が深くなっている.
- ・ 宮崎では 20~30m程度と有田川の河口付近 ということもあり,比較的工学基盤は深い.
 特に漁港付近では,30~35m程度と非常に 工学基盤が深くなっている.
- 港では 30~35mを示す地域が広く見られる.
 有田川の河口に位置し,市内において工学
 基盤が最も深い地域である.
- 初島では,10~30m程度を示しており,山
 側から海に向かって工学基盤が深くなっている.
- 5.まとめ

本研究では,和歌山県有田市における地盤震動の 卓越周期と工学基盤深さを常時微動観測から推定した.

- 以下に得られた成果を要約する.
- 85 地点で常時微動観測を行い,有田市内平野部 における卓越周期のコンターマップを作成した. 有田川の上流側では,卓越周期が 0.2~0.4 秒程 度と短く,比較的固い地盤構造を有しているが, 下流に向かうに従って卓越周期は長くなり,河 口付近の地区では 0.9 秒を超える.

 2) 有田市内平野部で実施されたボーリングによる 資料と常時微動観測による結果を用いて,工学 基盤深さを推定した.有田川の上流側で10~ 15mであり,河口に向かって深くなっているこ とがわかった.河口付近では35m程度あるいは それ以上であると推定される.

謝辞:本研究で用いた有田市のボーリングデータは, 和歌山県住宅課,営繕課,箕島漁港事務所から提供 していただいた.また,有田市建設課およびみかん 農政課からもデータの提供を受けた.ここに記して, 謝意を表する.

参考文献

- 1) 中村豊,上野真:地表面震動の上下成分と水平成分 を利用した表層地盤特性推定の試み,第7回日本地 震工学シンポジウム講演集,pp.265-270,1986.
- 2) 辻原治,田代彰吾,澤田勉:常時微動から推定した 和歌山県田辺市の地盤振動特性,第25回地震工学研 究発表会講演論文集,pp.209-212,1999.
- 3) 辻原治,北健二,澤田勉:常時微動観測による和歌 山県日高平野の地盤震動特性および表層地盤厚さの 推定,第11回日本地震工学シンポジウム論文 集,pp.373-378,2002.
- 4) 有田市誌編集委員会編:有田市誌,有田市, pp.3-16,1974.
- 5) 日本道路協会;道路橋仕方書・同解説 耐震設計 編,pp.25-26,2002.
- 6) http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/

(2003.6.23 受付)

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SUBSURFACE GROUND OF ARIDA CITY IN WAKAYAMA PREFECTURE

Osamu TSUJIHARA, Masafumi EKAWA and Tsutomu SAWADA

The objective of this study is to estimate the dynamic characteristics of subsurface ground in the plain of Arida city, Wakayama prefecture by the micro-tremor observations. Arida city has developed along the Arida River, and is one of the most important cities in the middle part of Wakayama prefecture extending north and south. However, the sufficient investigation about the dynamic property of subsurface ground has not been done. In this study, the micro-tremor observations were carried out at 85 points in the plain of the city, and the contour map of the predominant period of ground was presented. The contour map of the engineering bedrock estimated with the data of borehole test at Hatsushima, Minoshima, Miyazaki, Minato, Miyahara, Itoga and Chida was also presented.