

# 佐賀県みやき町の浅部地盤構造および卓越周期

檜橋 秀衛<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 九州産業大学教授 工学部建築学科 (〒810-0024 福岡市東区松香台2-3-1)

E-mail:narahashi@ip.kyusan-u.ac.jp

佐賀県みやき町において実施した常時微動測定および解析により、同町の浅部地盤の卓越周期およびS波速度を推定した。本研究の結果は同地域で得られているボーリング調査や速度検層の結果とほぼ一致するものである。また、この結果を踏まえて、2005年福岡県西方沖地震の本震の際同町北茂安で震度6弱が観測された要因を考察し、北茂安には沖積低地よりも軟弱な地盤が厚く堆積していることを指摘した。地盤調査の手法として微動のH/Vスペクトルは、洪積層以浅の表層地盤の震動特性と対応すると考えられる。

**Key Words :** microtremor, array measurement, S-wave velocity estimation, Kego-fault, H/V spectra

## 1. はじめに

2005年3月20日福岡県西方沖地震(M=7.0, 現在の名称は「福岡県北西沖地震」)<sup>1)</sup>の際、震源距離が50kmを超える佐賀県みやき町北茂安において震度6弱が観測されたが、これは同町内の三根と中原の震度、および近隣市町村の震度と比べると予想外に大きい値であった。近年においても、平成26年3月14日2時6分頃の伊予灘地震(M=6.2)<sup>2)</sup>、同年8月29日4時14分頃の日向灘地震(M=6.0)<sup>3)</sup>の際、北茂安の震度は中原より2、三根より1ほど大きかった。これら地震の震源から震度を観測している3庁舎敷地内の観測点までの距離は地震ごとにほぼ等しいことから、震度に差を生じる要因として庁舎直下および周辺の地盤構造の影響が考えられる。

みやき町は、鳥栖市南西の背振山地斜面を南に下りた佐賀平野の東北部に位置し、南北に長く広がる農村である。庁舎所在地の微地形区分<sup>4)</sup>は、中原が同町北部の砂礫台地、三根が同町南部の沖積低地、北茂安が砂礫台地と沖積低地の境界付近となる。微地形区分に基づいて表層地盤の地震動増幅率を評価する方法<sup>5)</sup>が提案されているが、必ずしも北茂安の震度が最も大きい理由を説明できない。近年、佐賀平野北縁断層帯<sup>6)</sup>の東端が同町平野直下に伏在している可能性が指摘されていることもあり、深さ方向の地盤構造とその震動特性を他の方法で確認したいところである。ただし、人口稠密な都市部とは異なり、みやき町の地盤データは限られている<sup>7)</sup>。

筆者<sup>7)</sup>は、2005年福岡県西方沖地震で震度6弱を記録した福岡市中央部において、警固断層のトレースを東西

方向に横断する測線上で常時微動観測を行い、微動のH/Vスペクトルおよび位相速度から浅部地盤の卓越周期やS波速度構造を推定している。福岡地盤図<sup>8)</sup>ほかにより警固断層を横断する東西地盤断面の東側では花崗岩や古第三紀頁岩からなる基盤岩類がレ字型に陥没していることは知られているが、常時微動から推定した表層地盤の深さはこれら既存の地盤断面図やボーリング資料と一致していることが分かった。また、筆者ら<sup>9)</sup>は、福岡県西方沖地震発生後の20年以上前に福岡市地盤図<sup>8)</sup>に基づく模擬地震動を生成し福岡市中心部の木造家屋被害予測を行っていたが、地震による実被害分布はこれとよく対応した。一方、この地域の地表面地形には地下の断層地形の痕跡が現れておらず、微地形区分のみから上述のような地震動増幅と被害拡大を予測することは困難であった<sup>10)</sup>。これらの結果から、警固断層近傍の地震動特性および被害分布にはこの地域の地下構造が強く影響していること、常時微動のH/Vスペクトルや位相速度を利用した地下構造推定が被害予測に有効であることなどが改めて認識された。

本研究では、佐賀県みやき町の3庁舎敷地およびその周辺地域の測定点において、福岡市中央部と同様の常時微動測定・解析を行い、みやき町における表層地盤の卓越周期の分布、および3庁舎近傍の地盤のS波速度構造の相違を明らかにした。その結果から、同町の地震の震度が砂礫台地と沖積平野の境界である北茂安において沖積低地ないし自然堤防に当たる三根よりも大きくなる原因を考察した。

## 2. 測定および解析結果

### (1) 微動のH/Vスペクトル

2013年9月17日から12月8日にかけて、みやき町内23地点において常時微動を測定した。表1に測定地点を示す。測定には3成分McSEIS-MT NEOを用いた。測定時間帯は朝方から日中にかけての30分間で、時刻歴波形のサンプリング間隔は0.01秒である。水平2成分および上下1成分のフリースペクトルよりH/Vスペクトル<sup>1)</sup>を計算した。

測定点は、微地形区分を踏まえて砂礫台地、台地-沖積低地、沖積低地に別け、それぞれの地盤震動特性を比較するために中原、北茂安、三根の3庁舎およびその周辺に設けた。図-1(a)~図-3(a)は3庁舎およびその周辺の観測点の位置を示しているが、測定結果のH/Vスペクトルの卓越周期を表すために青(〜0.40秒)、黄(0.40〜0.5秒)、赤(0.50秒〜)に色分けしている。図中の番号は表1の観測点の番号と対応している。北茂安庁舎とその西側に位置するNo.8~No.11(ただし、No.10とNo.11は同一地点)観測点およびNo.13~No.14観測点において卓越周波数が低い(卓越周期が長い)ことが分かる。

卓越周期の相違のほかにH/Vスペクトルの形状自体にも観測点の位置に対応した特徴が認められる。図-1(b)(c)~図-3(b)は、観測点の位置および地形区分も考慮してH/Vスペクトルの形状をタイプ分けしたものである。図の横軸は周波数(単位Hz)である。

図-1(b)~図-1(c)に示すように、中原では庁舎付近のNo.2~No.4観測点と北茂安に近いNo.5~No.6観測点では2Hz以下の形状に相違いが見られる。2Hz以下の勢力が乏しい前者を台地型I、やや勢力を有する後者を台地型IIとした。



図-1(a) 中原庁舎周辺の測定地点 (No.1~No.6)

表-1 みやき町の常時微動測定23地点のH/Vスペクトルの形状区分および卓越周期

通番	測定地域	測定地点	座標		測定年月日	測定開始時刻 時分秒	卓越周期 (秒)	H/Vスペクトル区分
			緯度	経度				
1	中原	農道①	33.354	130.438	13.11.13	12.01.00	0.16	台地型 I
2		原古賀公民北分館	33.349	130.441	13.11.13	11.33.00	0.23	
3		中原庁舎	33.345	130.440	13.09.27	08.46.00	0.33	
4		中原公園	33.334	130.430	13.09.27	11.12.00	0.32	
5	北茂安	農道②	33.330	130.447	13.11.13	09.13.00	0.48	台地型 II
6		伝称寺	33.326	130.452	13.11.13	09.48.00	0.33	
7		玉屋 みやき店	33.328	130.466	13.12.08	14.55.00	0.38	台地-平野境界型 I
8		農道③	33.324	130.451	13.12.08	13.50.00	0.64	
9		北茂安庁舎横駐車場	33.325	130.454	13.12.08	14.22.00	0.67	
10		北茂安庁舎	33.325	130.454	13.09.27	10.04.00	0.71	
11		北茂安庁舎(再)	33.325	130.454	13.12.04	13.21.00	0.60	
12		北茂安小学校駐車場	33.325	130.457	13.12.08	13.22.00	0.43	
13		農道④	33.324	130.455	13.12.08	12.26.00	0.67	
14		農道⑤	33.324	130.455	13.12.08	12.00.00	0.51	
15	農道⑥	33.323	130.457	13.12.08	12.52.00	0.40	台地-平野境界型 II	
16	農道⑦	33.321	130.458	13.11.13	08.36.00	0.42		
17	北茂安運動場	33.307	130.460	13.11.06	11.16.00	0.31	平野型	
18	三根	三根体育館	33.299	130.431	13.09.27	14.04.00		0.39
19		三根体育館(再)	33.299	130.430	13.12.08	15.34.00		0.42
20		和泉農村公園	33.287	130.405	13.12.04	14.24.00		0.72
21		公園①	33.289	130.422	13.12.04	11.05.00		0.51
22		江見八幡神社	33.294	130.430	13.12.04	10.13.00		0.48
23		光浄禅寺	33.297	130.441	13.12.04	09.36.00	0.63	

IIとした。

北茂安の庁舎周辺のNo.8~No.14観測点では、図-2(b)に見られるように、明瞭な1~2Hzのピークおよび3~4Hzのトラフを有するN字形のH/Vスペクトルが得られた。一方、北茂安庁舎の南西で沖積低地に近いNo.15~No.16観測点では、図-2(c)に示すように2~3Hzのピークと5~6Hzのトラフのコントラストがやや弱まる傾向が見られる。そこで、前者を台地-平野境界型I、後者を同IIとして区別することにした。

沖積低地では、測定点を三根庁舎付近のほか東西にやや離れた場所に配置した。図-3(b)のようにH/Vスペクトルにばらつきが見られるが、平均的には1~3Hzにピークがあること、1Hz以下にも比較的大きな勢力が見られることなど共通している所がある。北茂安の台地-平野境界型IIの形状と比べると、卓越周波数がより低く、かつ1Hz以下にやや勢力を有する点が特徴的である。

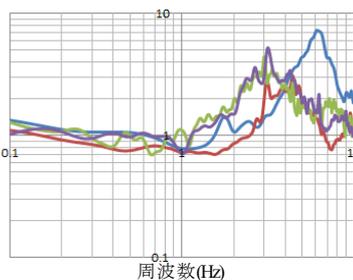


図-1(b) 中原庁舎付近のH/Vスペクトル形状(台地型I)

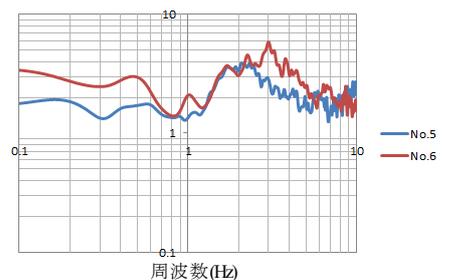


図-1(c) 中原~北茂安のH/Vスペクトル形状(台地型II)



図-2(a) 北茂安庁舎周辺の測定地点 (No.7~No.16)

なお、図-1(a)~図-1(c)中の四角で囲んだ A~C は、現在までに確認している限りの最寄りのボーリング調査地点である。

## (2) 微動アレイと S 波速度構造

2013年10月6日から翌年1月10日にかけて、佐賀県みやき町の三根運動場 (表-1 および図-2 の No.18)、北茂安運動場 (同じく No.17)、中原公園 (同じく No.4)、および北茂安庁舎付近の農道 (同じく No.11) において、McSEIS-MT NEO 上下動 1 成分 4 台を用いた三角形アレイ微動測定を行った。サイズは 1 辺の長さ 30m, 50m, および 100m の 3 通りとし、アレイ中心および頂点の位置は GPS アンテナ (Trimble 製) ほかを用いて定めた。その他、測定時間、サンプリング間隔、測定波形の解析方法等は、福岡市中央部における解析<sup>7)12)</sup> とほぼ同じである。地表から深さ 100m 程度までの表層地盤の S 波速度構造を推定することが可能とされている。

まず、砂礫台地の中原公園 (No.4) は、図-4(a)に示すように地表から深さ 10 数 m 前後で  $V_s$ =約 400m/s の工学的基盤に達することが分かった。また、深さ 30m 以上には  $V_s$ =700m/s 程度以上となる風化花崗岩の存在が推測される。これらの結果を勘案すると表-1 の卓越周期の値は、中原における深さ 10 数 m より浅い表層地盤の震動特性を反映したものと考えられる。

次に、沖積低地に位置する三根運動場 (No.18) の S 波速度は、図-4(c)に示すように、 $V_s$  は地表から深さ 10 数 m で 300m/s、深さ約 30m で 400m/s 前後の層に達し、それ以深では地表から深さ 100m 以上まで  $V_s$  の値に変化がないようである。このことから表-1 の卓越周期の値は、深さ 30m より浅い表層地盤によるものと考えられる。

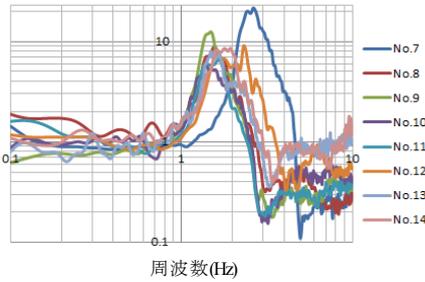


図-2(b) 北茂安庁舎西側の H/V スペクトル形状 (台地-平野境界型 I)

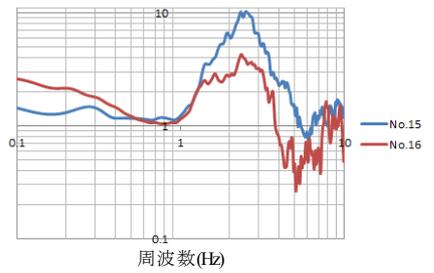


図-2(c) 北茂安庁舎の南東側の H/V スペクトル形状 (台地-平野境界型 I)



図-3(a) 三根庁舎周辺の測定地点 (No.17~No.23)

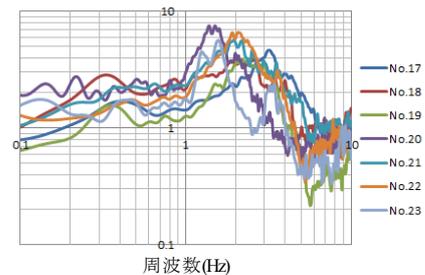


図-3(b) 三根庁舎付近の H/V スペクトル形状 (平野型)

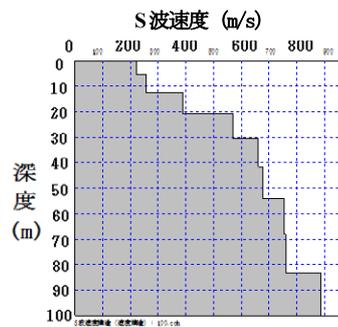


図-4(a) 中原公園 (No.4) の地盤の S 波速度構造 (微動アレイ測定による)

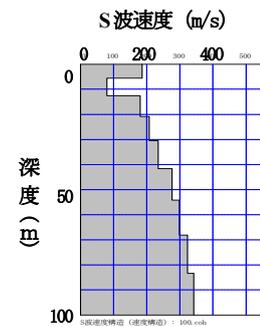


図-4(b) 北茂安庁舎 (No.11) 付近の地盤の S 波速度構造 (同左)

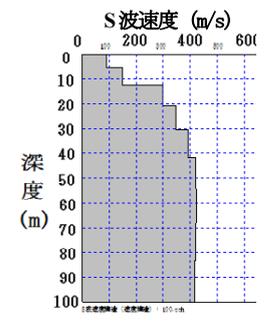


図-4(c) 三根運動場 (No.18) の地盤の S 波速度構造 (同左)

次に、北茂安庁舎 (No.11) 付近の S 波速度構造については、図-4(b)に示すように地表から深さ 100m に至るまで  $V_s$ =400m/s となる層が見られないという著しい特徴のあることが分かった。微地形区分で沖積低地 (一部は自然堤防も含まれる) に位置する三根よりも S 波速度が小さい軟弱な地盤であるために、地震の際に震度が小さくなっていると考えることができる。ただし、卓越周期から推測すると、このような地盤条件は北茂安の庁舎から南東方向に当たる地域まで連続していない可能性がある。

## 3. 考察

### (1) 強震記録の卓越周期との比較

佐賀県みやき町では中原、北茂安、三根の 3 庁舎の敷地内に県震度計が設置されている。図-5 は、中原、北茂

安、三根の震度計によって記録された 2005 年福岡県西方沖地震の本震および余震について、記録波形の卓越周期と震度の関係を筆者が図化したものである。本震の計測震度は、北茂安が 5.6、中原が 4.5、周辺自治体で 4.7～5.1 程度であった。三根は欠測であった。図には本研究の微動測定により明らかになった 3 庁舎付近の卓越周期の値を波線で示し、地震時の卓越周期と比較している。

3 庁舎それぞれにおいて、地震と微動の卓越周期は概ね対応していることが分かる。北茂安においては、震度 2～3 以下の場合には常時微動による卓越周期とよく一致しているが、それ以上の震度では卓越周期は震度に応じて著しく増大することが知られた。一定以上の震度によって卓越周期が伸びる傾向は中原にも現れているようであるが、はっきりしたことは言えない。三根が欠測したことは残念であった。

## (2) 断層地形について

表-1、図-4(b)で見たように台地と沖積平野の境界に当たる北茂安庁舎付近は、沖積低地の三根庁舎付近よりも微動と強震動の卓越周期が大きく、また深さ100mまでS波速度が400m/sに達しないことから、軟弱な地盤がより厚く堆積していると考えられる。本研究前の作業仮説として、みやき町を東西方向に横断する佐賀平野北縁断層帯が形成する同町の北部と南部の地下構造の不連続を予想していたが、本研究の結果から推測すると、むしろ北茂安庁舎付近の地下構造には北西-南東方向の不連続が伏在している可能性があると考えられる。ただし、1測定点についての結果であり、北茂安の地下構造を推測するにはまだデータが不足している。今後の測定・解析に委ねたい。

## 4. 結論

- (1) 佐賀県みやき町の中原、北茂安、三根 3 庁舎とその周辺において、微動測定により地盤の卓越周期を求めた。また、H/V スペクトルの形状に基づいて地盤特性を台地型 I、同 II、台地-平野境界型 I、同 II、平野型の 5 タイプに分類できる可能性を示した。
- (2) 台地-沖積平野境界である北茂安庁舎周辺からその西側の地域は、調査範囲の中では最も卓越周期が長い。また、S 波速度が 400m/s 未満の地層が厚く堆積していることが分かった。
- (3) 2005 年福岡県西方沖地震の本震・余震記録の卓越周期と微動の卓越周期は概ね一致しているが、北茂安の強震記録は震度 2～3 以上になると卓越周期が著しく増大

している。原因の解明は今後の課題としたい。

(4) 北茂安庁舎付近の地盤構造と震動特性にどの程度の増幅効果があるかはまだ明らかではない。しかし、北茂安の様なケースが他にもある可能性は少なくないことから、表層地盤の増幅率評価には注意が必要であろう。

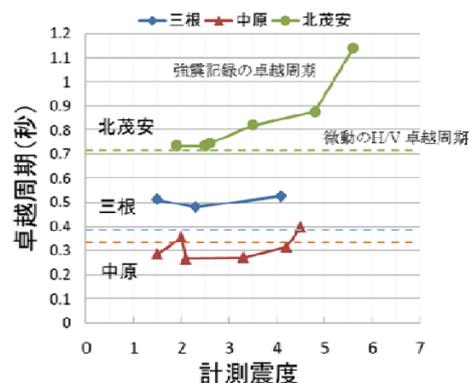


図-5 みやき町 3 庁舎における福岡県西方沖地震の本震・余震の震度と卓越周期<sup>13)</sup>(実線)、および微動の H/V スペクトルの卓越周期(破線)

謝辞：本研究の微動測定には九州産業大学建築学科平成 25 年度卒業生 寺崎純平、堀之内健人、山口修平、小島聡太、松井勇太、山下直人各氏の協力を得た。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 福岡管区気象台：九州・山口県の地震活動図(2005年3月中旬)。
- 2) 同上：九州・山口県の週間地震概況(2014年3月14日-3月20日)、同(2014年8月29日-9月4日)。
- 3) 防災科学技術研究所：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
- 4) 松岡昌志、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、第Vol.443, pp.65-71, 1993。
- 5) 地震調査研究推進本部：佐賀平野北縁断層帯の長期評価、[http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/reg\\_kyushu\\_08\\_sagaheiya-hokuen.htm](http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/reg_kyushu_08_sagaheiya-hokuen.htm), 平成 25 年 2 月 1 日。
- 6) 土木研究所：<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>
- 7) 例えば、檜橋秀衛：常時微動測定による福岡市中心部の浅部地盤構造の推定、土木学会第 33 回地震工学研究発表会、11-D-1, 2013 年 11 月。
- 8) 福岡地盤図作成グループ：「福岡地盤図」附図、九州地質調査業協会、1981。
- 9) 表俊一郎、檜橋秀衛：木造家屋の被害予測、福岡市に係る震災の調査研究について(報告書)第 7 章、福岡市防災会議震災専門委員会、1986。
- 10) Hidemori NARAHASHI : Development of the Kyusyu Sangyo University Real-Time Earthquake Information System, Proc. of 6th Interna-

*tional Conf. on Seismic Zonation*, CD-ROM, Palm Springs, USA, 2000.

- 11) 中村豊 : H/V スペクトルの基本構造, 物理探査学会第 3 回  
地震防災シンポジウム, 2008.

- 12) Koichi HAYASHI : Estimating deep S-wave velocity structure in the

Los Angeles Basin using a passive surface-wave method, *The Leading  
Edge*, pp.620-626, June 2013.

- 13) 佐賀県みやき町から提供を受けた資料による.

## INVESTIGATION OF SEISMIC CHARACTERISTICS OF THE GROUND SUBSURFACE AT MIYAKI-MACHI, SAGA WITH MICROTREMOR MEASUREMENT AT

Hidemori NARAHASHI

S-wave velocity profiles of subsurface layers down to about 100 meters deep at 3 sites in Miyakimachi, Saga Prefecture are investigated with microtremor array measurement. Also H/V spectral ratio of microtremor are investigated at the 23 sites including the 3 sites above mentioned. It is concluded that the seismic motion could be amplified through soft and thick subsurface of the ground at Kitashigeyasu, Miyakimachi.