

高松市における常時微動観測を用いた地盤震動特性の評価

Characteristics of Seismic Ground Motion Using Microtremor Observation in Takamatsu City

加藤 想
So Kato

鋏田 泰子
Yasuko Kuwata

1. はじめに

香川県は、過去に南海トラフ沿いで発生した巨大地震によって度々地震や津波による被害を受けてきた。例えば、1707年の宝永地震 (M8.6) や1854年の安政南海地震 (M8.4)、1946年の昭和南海地震の他、M8.0を超える地震が度々発生している。2013年5月に地震調査研究推進委員会は、長期評価において今後30年以内に南海地震 (M8.0~M9.0) が発生する確率が約60%であることを公表した¹⁾。また、香川県高松市は、南海トラフ巨大地震の強震動地域の一つであり、大規模地震に対する災害対策が急がれている。

地盤と地震による被害との間には密接な関係があることから、地震に対する地盤の揺れやすさに関する研究はこれまでも数多くされてきた。中村・上野²⁾は、簡便かつ安価に地盤特性を把握できる常時微動観測の有用性を示している。斎藤・長谷川³⁾は香川県の高松平野の約400地点で微動観測を行い、H/Vスペクトルの卓越周期から沖積層、洪積層の地盤構造を、せん断波速度 $V_s=260, 500\text{m/s}$ とそれぞれ仮定して推定している。また、松岡・若松⁴⁾は全国にある約2,000地点のせん断波速度の調査資料を用いて深さ30mまでの地盤の平均せん断波速度 (AVS30) と微地形との関係を検討している。微地形には地盤の形成過程や堆積環境に起因する違いがあり、微地形からAVS30を比較的精度よく推定できることを示している。しかし、AVS30は地域性を考慮することなく主に都市部の地質資料や微地形に基づいた全国統一的な指標であるため、適用性について不十分な点も多いのが現状である。

本研究では高松市の表層地盤の震動特性を明らかにして、南海トラフ巨大地震時における市内の地震動を推定する。具体的には高松市にて微動観測を行い、H/Vスペクトルから卓越周期を求め、高松市上下水道局が所有するボーリング資料を用いて微動観測の妥当性を検証するとともに、高松市の表層地盤構造をモデル化する。さらに、中央防災会議の推定地震動を用いて地盤応答解析によって表層地盤の地震動を推定する。

2. 高松市の地盤と微動観測

2.1 高松市の地形と地盤

高松市の地形は、南の花崗岩丘陵地帯 (山地・丘陵)、その北側の洪積台地 (更新世段丘)、さらに北側の広大な沖積平野 (沖積低地) からなる (図-2.1)。高松平野では、領家花崗岩類が平野の基盤をなし、最大深度は、 $-100\sim-200\text{m}$ に及ぶ⁵⁾。(独)防災科学技術研究所⁷⁾は、地震ハザードステーション J-SHISで高松市の微地形図⁸⁾を提供している。図-2.2は高松市内の微地形を示している。250mメッシュ

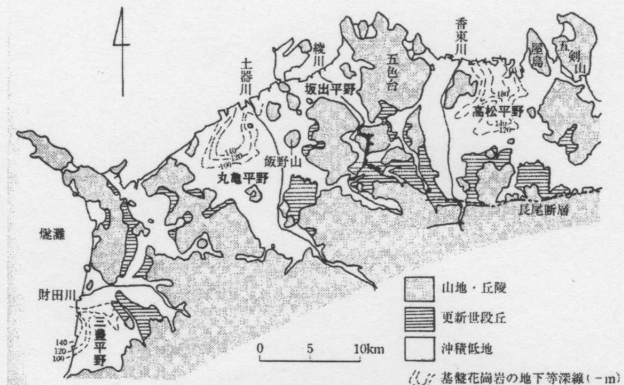


図-2.1 高松平野付近の地形と基盤花崗岩の深度⁵⁾

で24種類の微地形に分類されている。本微地形図はデジタルデータで日本全体をカバーしていることから、中央防災会議や都道府県における地震被害想定でも広く用いられてきた。

微地形によると、市の南側の地形は南方に行くにつれて砂礫質台地、丘陵、山地が占めている。高松平野は、詰田川沿いに位置しており、主に扇状地から成り立っている。沿岸側からは埋立地とその内陸に三角州が広がり、扇状地と三角州に挟まれた河川沿いに後背湿地が広がる。街の中心地である瓦町駅周辺には三角州などが広がる。また、微地形と河川からの距離などから求められたAVS30を図-2.3に示している。海岸沿いでは比較的遅いせん断波速度が分布しているが、埋立地よりも後背湿地で遅いAVS30が評価されている。このように、微地形の影響が強くAVS30の値に反映されている。

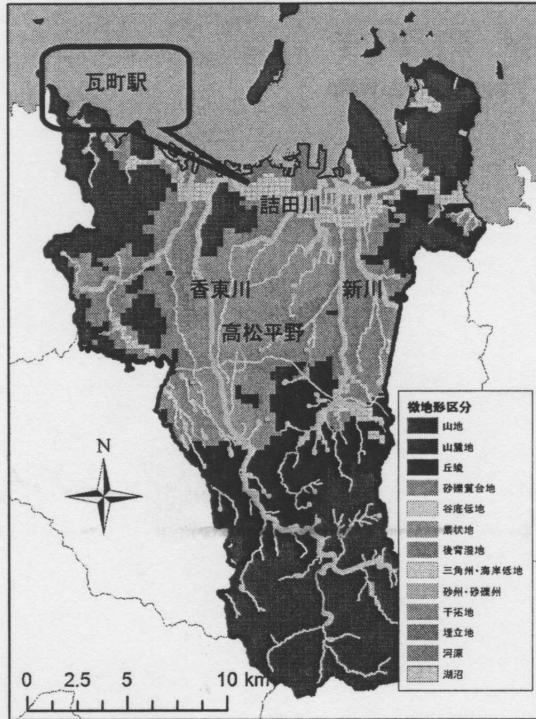


図-2.2 高松市の微地形図⁷⁾

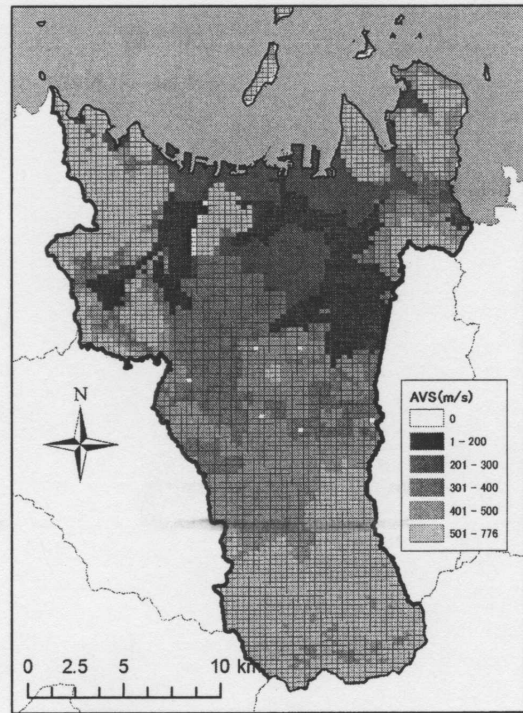


図-2.3 高松市のAVS30分布⁴⁾

2.2 微動観測の概要

高松市の表層地盤の震動特性を把握するために微動観測を実施した。微動観測点は、高松市全域の微地形を網羅し、市域を広く包囲するように等間隔で選定した。計測は車の振動などの外部の影響を受けないように、交通量の多い道路から離れた空き地や駐車場でいった。また、交通量の多い市街地では早朝の交通量の少ない時間帯に計測をした。上記の方法で、2012年8月6日、7日に20地点で観測を行った。この20地点の中に、付近にボーリングの資料がない地点があることや、網羅できていない微地形があることなどから、データの補完するために再度微動観測を行う必要があった。そこで、同年11月30日、12月1日に新たに15観測点で微動観測を行った。使用器具は微動計CR4.5-2s (物探サービス株式会社製)を使用した(図-2.4)。測定方法は微動計によって観測された3成分のデータを、サンプリング周波数100Hzで約10分間記録した。各測点においてNS、EW、UD方向の3成分の微動を同時計測した。そして、地盤振動特性の把握や地震動推定の評価に有用であるH/Vスペクトルを算出した^{2),3)}。

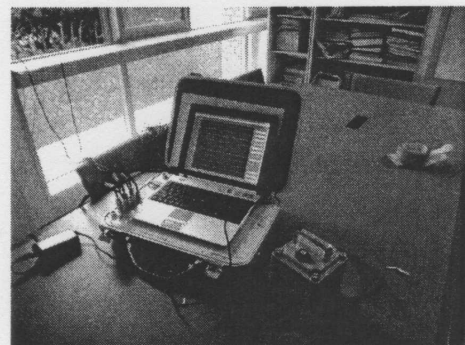


図-2.4 微動計

H/Vスペクトルの算出方法は、微動計によって記録された微動データから振動が安定している2,048データ長の波形を10波抽出し、高速フーリエ変換によって得られたフーリエスペクトルを10波で平均し、一成分のフーリエスペクトルとする。最後に水平二成分の幾何平均を水平成分のスペクトルとし、鉛直成分で除することでH/Vスペクトル比を算出する。

全35地点の観測地点名一覧を表-2.1に、微動観測点の位置を図-2.5に示す。図-2.6は観測点22(国分寺町)での微動観測の写真である。

表-2.1 観測地点名

観測点番号	町名	観測地点詳細
測点1	牟礼町	牟礼支所駐車場
測点2	屋島西町	亥浜第二公園内
測点3	春日町	高松大学北造成地内
測点4	東山崎町	琴電水田駅東
測点5	川島東町	杉尾神社内
測点6	福岡町	高松刑務所前
測点7	今里町	今里中央公園内
測点8	林町	長池中央公園内
測点9	姥ヶ池	墓地周辺
測点10	上天神町	ゆめタウン南駐車場内
測点11	仏生山町	法然寺内
測点12	香川町	新池横
測点13	香川町	東谷
測点14	成合町	西村ジョイ駐車場
測点15	鶴市町	明見公園
測点16	檀紙町	金乗寺内
測点17	川部町	稻荷社
測点18	香南町	冠纓神社内
測点19	生島町	下笠居中学校南
測点20	国分寺町	イオン駐車場内
測点21	仏生山町	PARLOR ACE駐車場
測点22	国分寺町	ANABUKI駐車場
測点23	郷東町	馬場病院裏駐車場
測点24	扇町	k-net高松
測点25	宮脇町	神社駐車場
測点26	春日町	大王建設駐車場
測点27	常磐町	ホテル駐車場
測点28	高松町	百十四銀行駐車場
測点29	高松町	古高松南駅南側
測点30	庵治町	市役所庵治支所駐車場
測点31	牟礼町	高德線北側
測点32	高松町	JA駐車場
測点33	小村町	業務用スーパー
測点34	林町	県立図書館東側駐車場
測点35	東植田町	東植田小学校

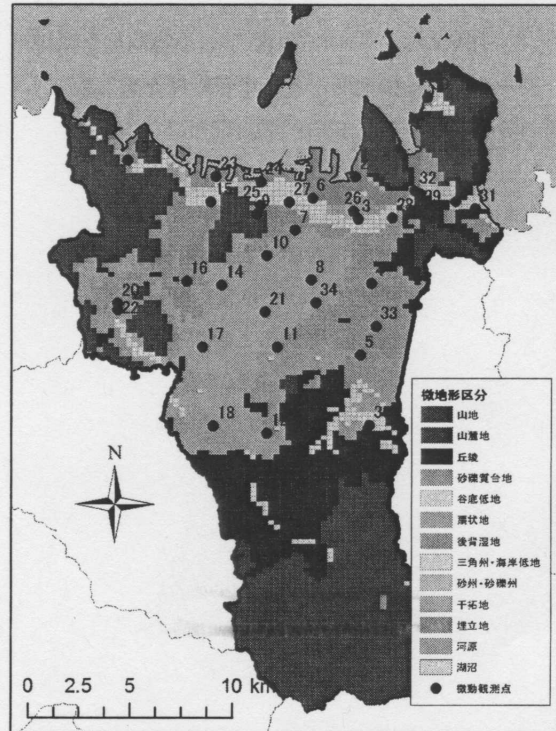


図-2.5 微動観測点



図-2.6 観測点22 国分寺町

2. 3 微動観測結果

2. 3. 1 微地形と短周期卓越周期

常時微動観測を35地点行い、そのH/Vスペクトルを図-2.7、図-2.8に示す。H/Vスペクトルの横軸には0.1~10sまでを示しているが、微動計の特性から2s以下の評価が適当といえる。多くのスペクトルでは2s以下に卓越した周期帯が見られる。H/Vスペクトル比の最大値は観測点35地点の内10を超えるものもあったが多くは2~3であった。

次に、H/Vスペクトルの0.8s以下の卓越周期と微地形との関係を考察する。表-2.2に微地形ごとに卓越周期をまとめたものを示す。0.8s以上の卓越周期については、後述する。また卓越周期の分布を図-2.9に示す。図-2.9において卓越周期が0sと示している観測点はスペクトルにおいて明瞭な卓越が見られなかった地点である。短周期側の最大の卓越周期は埋立地で観測された0.65sであった。また、埋立地の東側沿岸部と干拓地、三角州、後背湿地において卓越周期は長く、0.3~0.6sとなっており、比較的軟弱地盤であることが分かる。また、市南部の丘陵や台地では卓越周期は0.1~0.2sで短く、比較的強固な地盤であることが分かる。また、後背湿地では0.21~0.57s、三角州では0.2~0.45s、埋立地では0.21s~0.65sと同じ微地形の地点でも数値にばらつきがみられるため、微地形だけでは地盤特性を把握するのは不十分であることが分かる。

2. 3. 2 H/Vスペクトルの特徴

35観測点のH/Vスペクトルの特徴を分析するにあたり、スペクトルの形状から、明瞭な卓越周期が1つ見られるH/Vスペクトル、明瞭な卓越がみられないH/Vスペクトル、明瞭な卓越周期が2つ見られるH/Vスペクトルの3種類に区別した。図-2.10に3種類に区別した観測点の位置を示している。これらの特徴について、それら3種のH/Vスペクトルと微地形⁷⁾との関係から考察する。

a) 明瞭な卓越周期が1つある H/Vスペクトル

常時微動観測では、一般に表層地盤の固有周期に相当する周期でH/Vスペクトルに一つの卓越周期が見られる。これらの観測点の微地形は、谷底低地や香東川、新川沿いの後背湿地、扇状地、埋立地となっている。

b) 明瞭な卓越がない H/Vスペクトル

この分類にはH/Vスペクトルに明瞭な卓越が見られなかった。全体に占める観測点の数は3箇所と少ないが、0.1sから10sの範囲においてスペクトル比が2以下のものとした。これらの地点の特徴として、微地形が台地であることがあげられる。これは、基盤の上に比較的硬い表層地盤が堆積し表層地盤と基盤とのインピーダンス比が大きいためと考えられる。増幅特性はそれほど大きくないものとして考えられる。

c) 明瞭な卓越周期が2つ見られる H/Vスペクトル

この分類では、明瞭な卓越周期が2つみられた。短周期側の卓越周期は0.6s以下であり、長周期側の卓越周期は0.8~1.5s程度である。共通点として主に高松平野の詰田川沿いの扇状地にある。これら卓越については、浅い表層地盤の他に、やや深い地盤の堆積がそれほど深くない場合にその地盤構造の増幅が卓越周期に現れたものと考えられる。そこで、1s付近のH/Vスペクトルの卓越周期と深部地盤との関係について考える。

表-2.2 微地形と卓越周期

地形分類	卓越周期(s)
丘陵	0.2
台地	0.3
谷底低地	0.12~0.23
扇状地	0.14~0.4
後背湿地	0.21~0.57
三角州	0.2~0.45
干拓地	0.4
埋立地	0.21~0.65

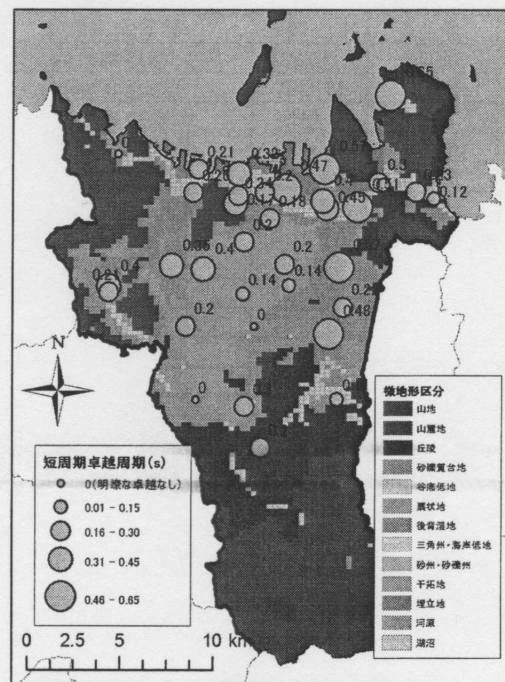


図-2.9 短周期卓越周期の分布

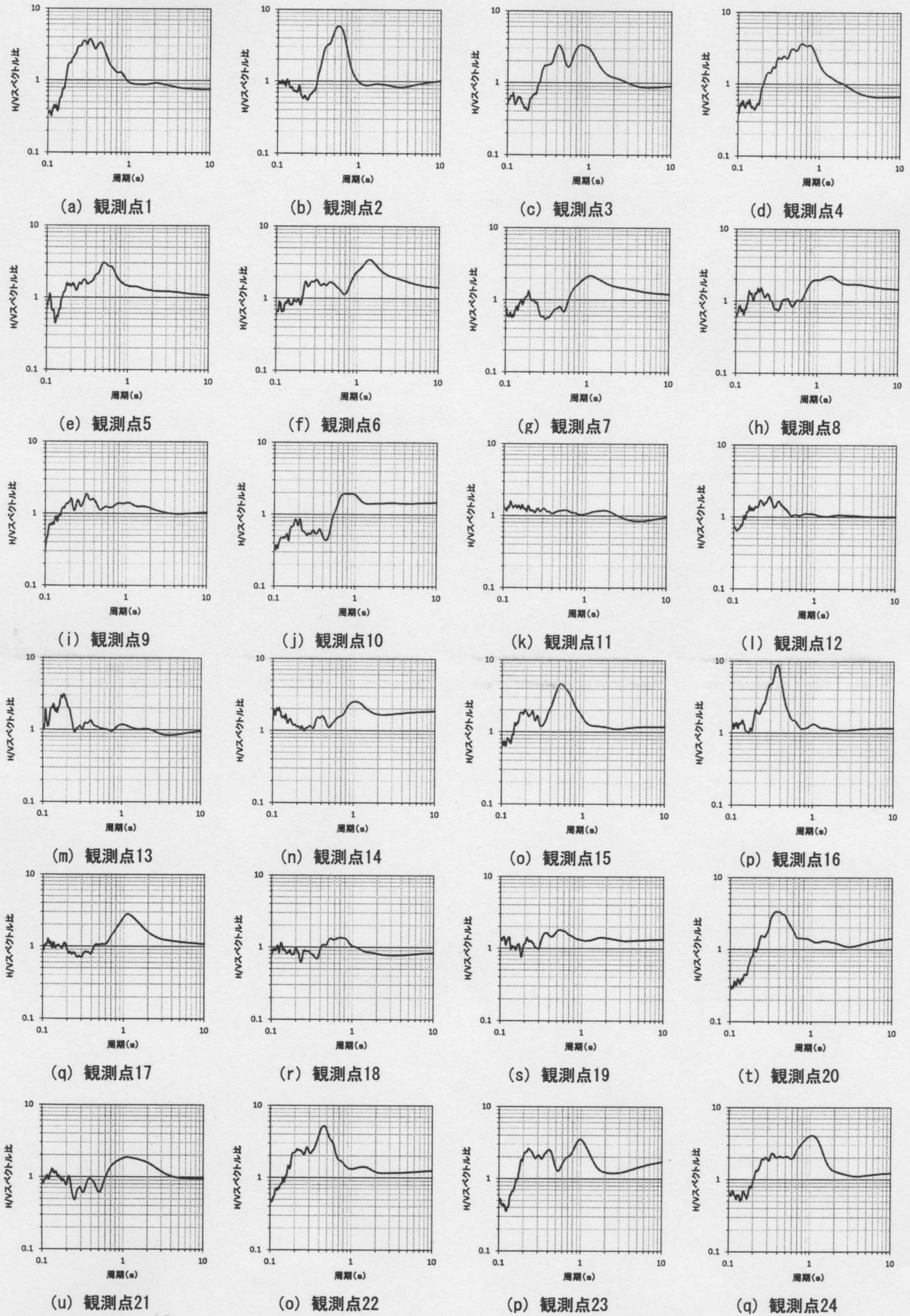


図-2.7 微動観測点のH/Vスペクトル(観測点1~観測点24)

