

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

鋤田 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

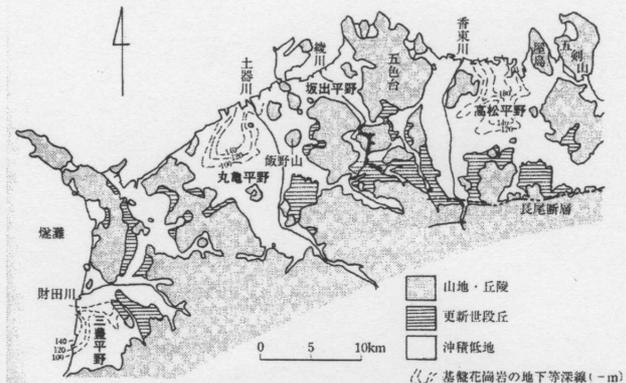


図-2.1 高松平野付近の地形と基盤花崗岩の深度⁵⁾

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。

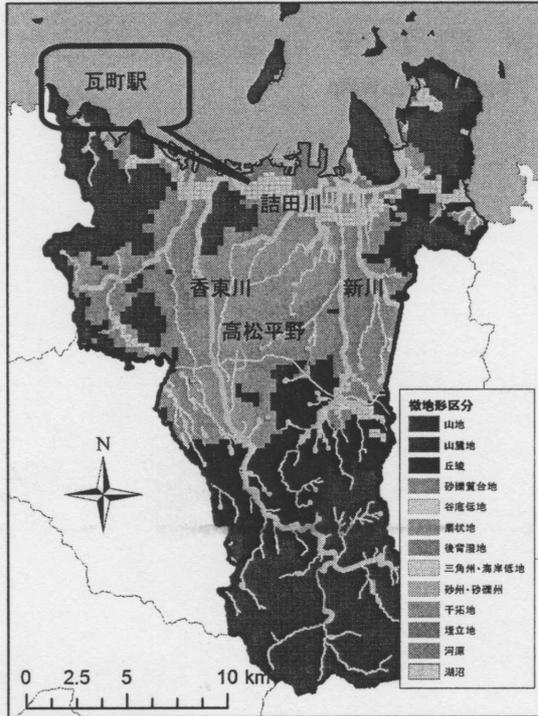


図-2.2 高松市の微地形図⁷⁾

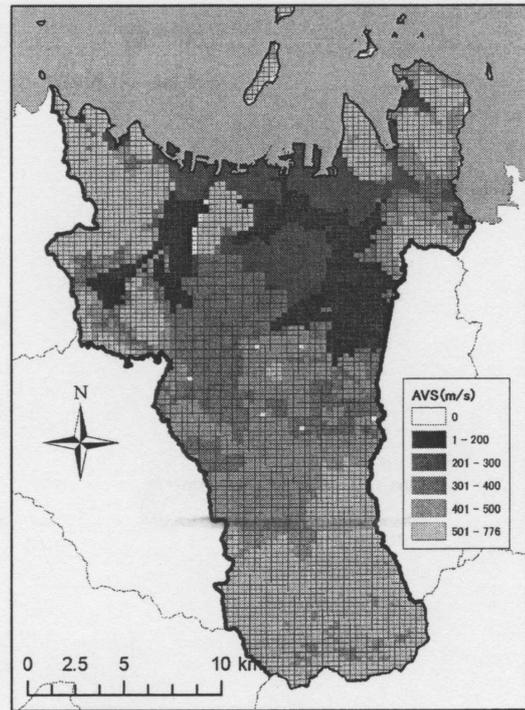


図-2.3 高松市のAVS30分布⁴⁾

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行った。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)}。

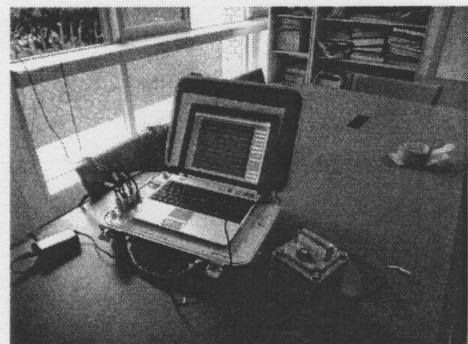


図-2.4 微動計

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

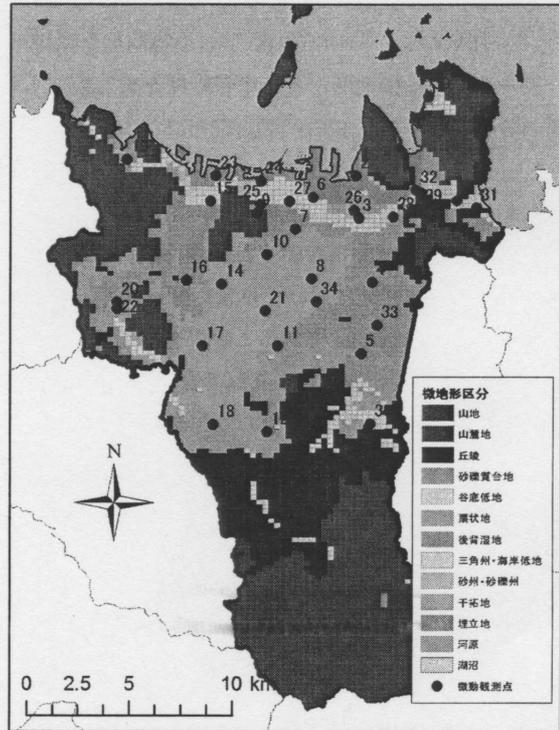


図-2.5 微動観測点



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

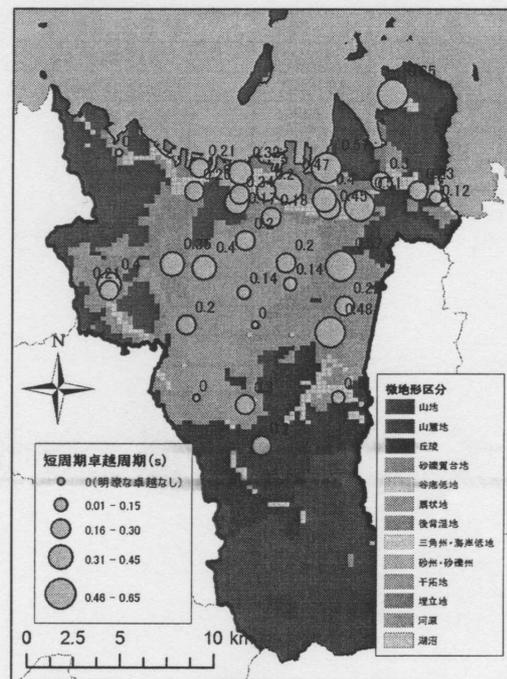


図-2.9 短周期卓越周期の分布

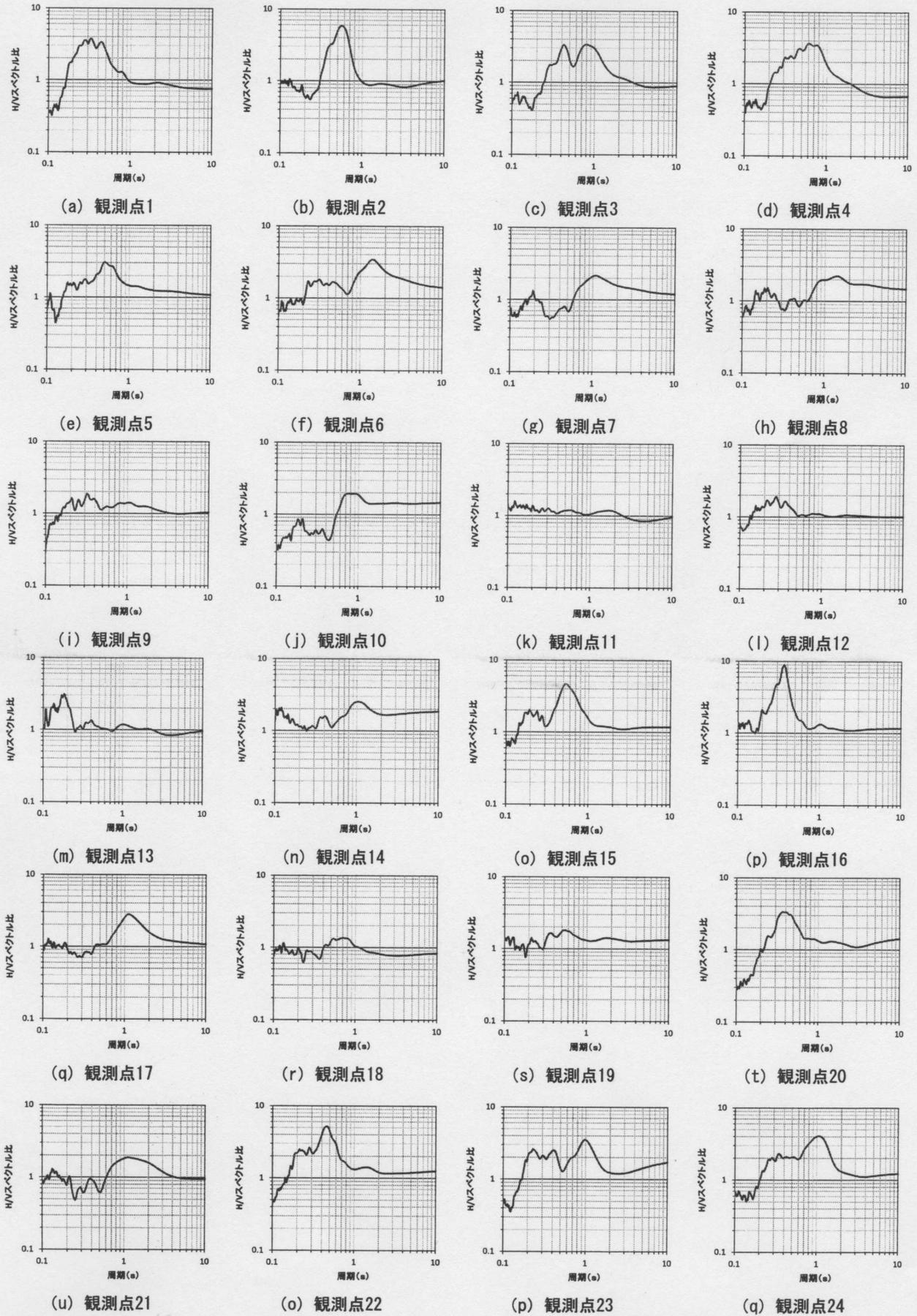


図-2.7 微動観測点のH/Vスペクトル(観測点1~観測点24)

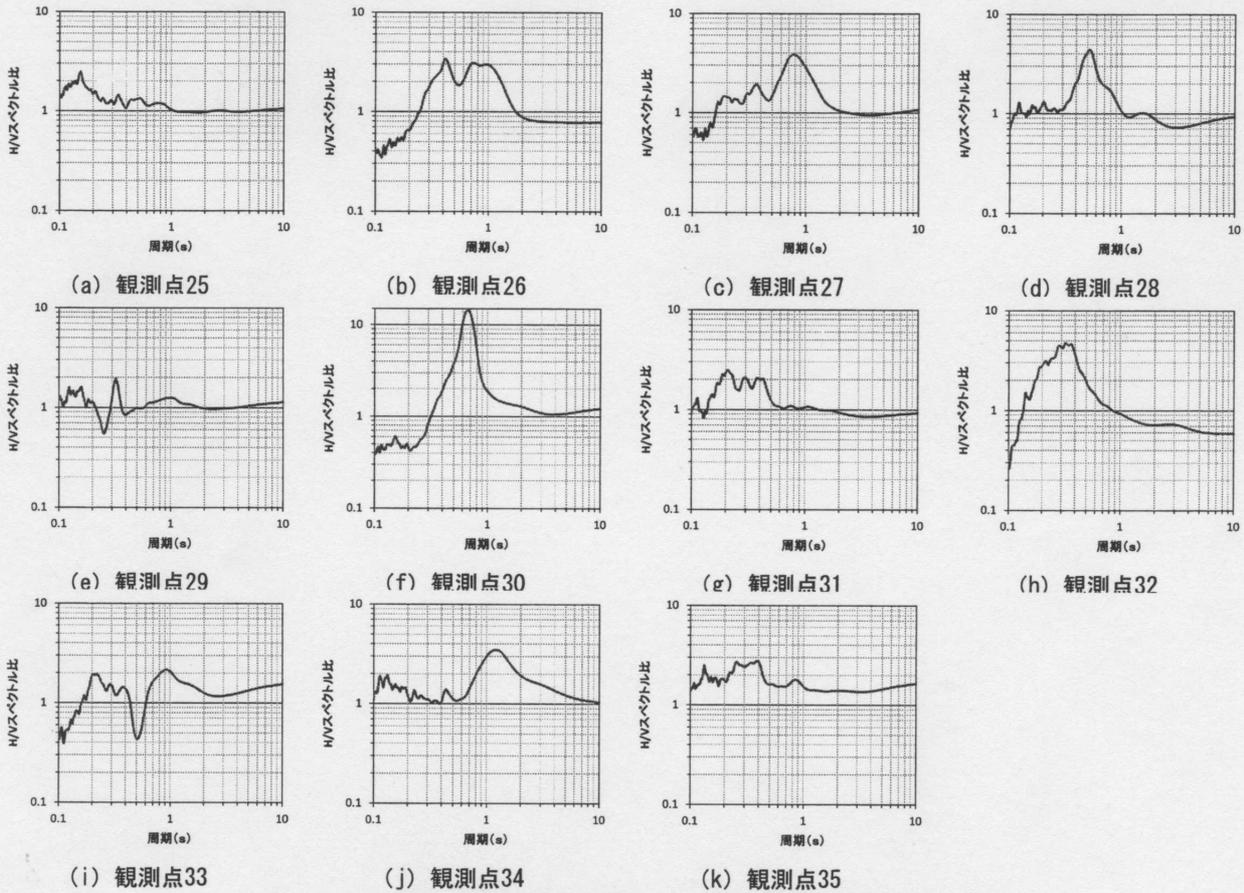


図-2. 8 微動観測点のH/Vスペクトル (観測点25～観測点35)

図-2. 1の基盤花崗岩の等深度線を参考にして、高松平野で行った微動観測点での基盤花崗岩の深度を推定する(図-2. 1 1)。高松平野の地質構造は、表層の沖積層より、洪積層、三豊層群、讃岐層群、基盤から構成されている³⁾。斎藤・長谷川⁹⁾によると、K-NET 高松周辺にあるPS 検層の結果から高松平野の洪積層以深のせん断波速度は $V_s=500\text{m/s}$ 以上としているので、本研究では洪積層から基盤まで地盤を単統一層、そのせん断波速度を $V_s=500\text{m/s}$ と仮定して、道路橋方書¹⁰⁾の式(1)より観測点ごとの地盤特性値 T_G を算出し、長周期側の卓越周期と比較した。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \quad (1)$$

T_G : 地盤の特性値(s)、 H_i : i 番目の地層の厚さ(m)、 V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)、 i : 当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面まで n 層に区分されるときの地表面から i 番目の地層の番号

図-2. 1 2は、深部地盤の T_G と長周期側の卓越周期との関係を示している。この2つの指標には良い相関があるといえる。つまり、高松平野における1s付近のスペクトルは洪積層以深の深部

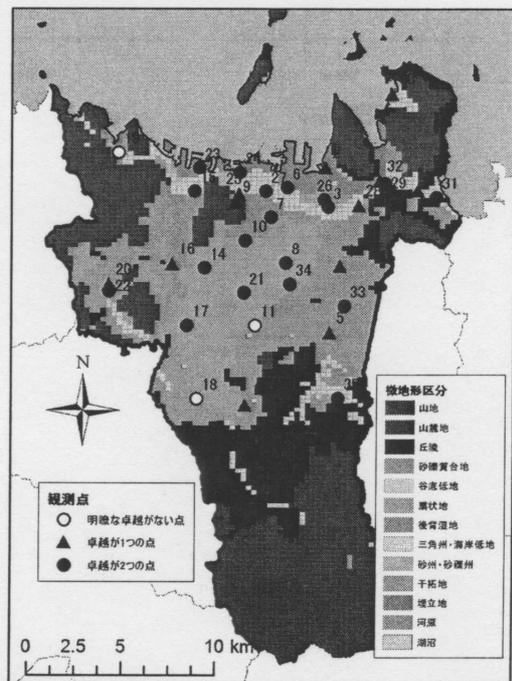


図-2. 10 各観測点のH/Vスペクトルの特徴

地盤による地盤増幅と考えられる。図-2. 1 2には詰田川周辺の深部地盤のみが示されているが、香東川の流域でも深部地盤があると考えられる。高松平野の地盤震動特性を考える上で、表層の短周期側の固有周期だけでなく、深部地盤による0.8s~1.5sの周期についても影響していることが明らかになった。

斎藤・長谷川³⁾によって求められた常時微動観測の卓越周期は、観測点23, 24, 26などの沿岸部で0.8s近くになっており、著者らの長周期側の卓越周期に整合していた。また、それ以外の地域では、スペクトルのピークが二つの場合は短周期側の卓越周期と整合することを確認している。

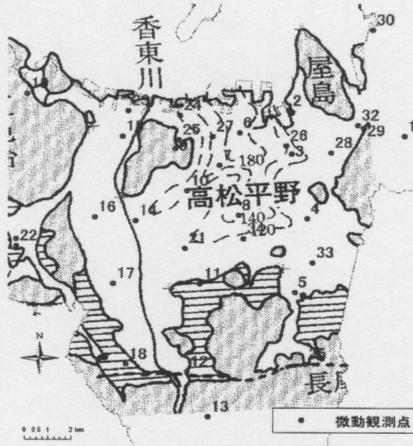


図-2. 1 1 基盤花崗岩の深度と微動観測点

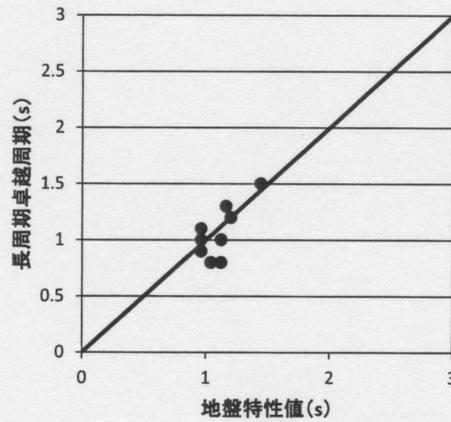


図-2. 1 2 長周期側の卓越周期と深部地盤の T_g との関係

3. 高松市の推定地震動評価

3. 1 想定される地震

高松市には中央構造線や市南部の活断層があるが、本研究では中央防災会議で検討されている南海トラフ巨大地震を想定される地震として分析する。中央防災会議では、これまでにも南海トラフによる地震を想定していたが、東北地方太平洋沖地震を契機に、2012年に想定地震の見直しを行った。その結果、南海トラフ巨大地震モデルとして想定する震源断層域（地震時に動く断層域）は、プレート境界面において、東側（駿河湾側）は駿河湾における南海トラフのトラフ軸（富士川河口断層帯の領域を含む）から、南西側（日向灘側）は九州・パラオ海嶺の北側付近でフィリピン海プレートが厚くなる領域までとし、深さ方向には、トラフ軸からプレート境界面の深さ約30kmからそれよりもやや深い深部低周波地震が発生している領域まで（日向灘の領域はプレート境界面の深さ約40kmまで）とし、これまでの想定震源断層域を上げた。図-3. 1は基準ケースの強震動生成域を示している¹¹⁾。

次に、高松市周辺の震度分布を図-3. 2に示す¹¹⁾。これは、東海地震、東南海・南海地震の検討結果を参考に強震波形計算によって求められた地表の震度と、経験的手法によって求められた地表の震度とを比較検討し、それぞれのケースの中で最大の震度を算出したものである。地盤モデルの構築においては、約70万本（重複資料を除く、約48万本）のボーリング資料を収集・整理し、若松・松岡⁸⁾の250mメッシュの微地形データを参照にして、250mメッシュの浅い地盤構造モデルを新たに作成している。図-3. 2より、高松市では主に震度5強の分布が広がっており、海岸沿いと内陸の一部に震度6弱の分布が広がっていることがわかる。

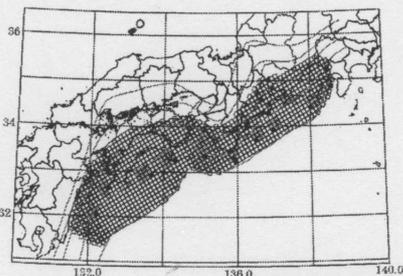


図-3. 1 南海トラフ巨大地震の強震動生成域¹¹⁾



図-3. 2 南海トラフ巨大地震の震度分布¹¹⁾

3. 2 ボーリングデータの構築と地盤特性値

3. 2. 1 ボーリング資料のデータベース化

現在、高松市上下水道局所有の高松市内のボーリング資料は約千本があるが、それらはデジタルデータ化されていない。まず、本研究ではボーリング柱状図データの収集を行い、ボーリングのデジタルデータベースを作成した。

ボーリング柱状図があり、位置が特定できる834地点(図-3. 3のボーリング入力点)をGIS上で位置座標を与えた。その834地点の中から微動観測点に近い点と市内の各微地形を網羅するようにして合計144点を選定した(図-3. 3の選定ボーリング点)。さらに、この144点についてはボーリング資料から1mごとにN値と粘性地盤・砂質地盤の地盤種の情報をデータ入力した。なお、40以上のN値が2m以上続いた場合、それらの層より下部は工学的基盤とし、それより深い地盤については考慮しないものとする。

3. 2. 2 地盤特性値と微地形との関係

次に、144地点において、道路橋示方書⁹⁾を用いてN値と地盤種から地盤特性値を求める。N値と地盤種を式(2)、(3)に代入し、せん断波速度 V_{si} を前述の式(1)に代入することで地盤特性値を算出した。

・粘土層の場合

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \quad (2)$$

N_i : i番目の地層の平均 N値

・砂質土層の場合

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \quad (3)$$

微動観測を行った地点に最も近いボーリング地点の地盤特性値について考える。微動観測した35地点の隣接するボーリングの地盤特性値を図-3. 4に示す。地盤特性値が0の観測点1、12、13、14は付近に微動観測地点付近にボーリング資料がなかった地点である。また、微地形ごとに地盤特性値をまとめた表-3. 1より、地盤特性値が埋立地では0.65sと比較的高い値を示していることが分かる。台地では0.1~0.29s程度であり、頑強な地盤であることがわかる。また、後背湿地では0.15~0.54s、三角州では0.21~0.52sと同じ微地形でも数値にばらつきがみられた。

表-3. 1 微地形と地盤特性値

地形分類	地盤特性値(s)
丘陵	なし
台地	0.1~0.29
谷底低地	0.1
扇状地	0.14~0.28
後背湿地	0.15~0.54
三角州	0.21~0.52
干拓地	0.17
埋立地	0.16~0.65

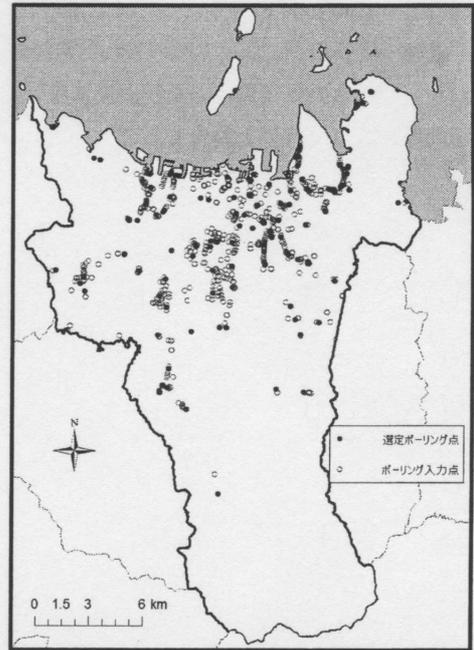


図-3. 3 ボーリング入力地点と選定地点

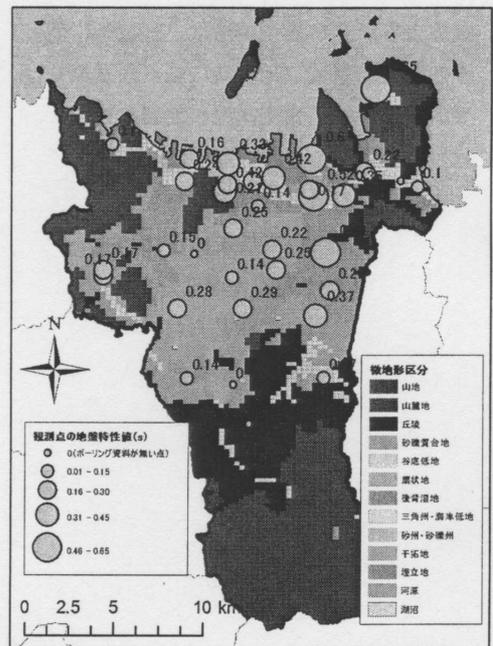


図-3. 4 地盤特性値と微地形

3. 2. 3 微動による卓越周期とボーリングの地盤特性値との関係

微動観測による短周期側(0.8s以下)の卓越周期とボーリング柱状図から算出した地盤特性値との関係について検証

する。周辺にボーリング資料のない観測点や微動観測で卓越周期の値がない観測点を省き、微動観測の卓越周期と地盤特性値との関係を図-3.5に示す。0.1~0.2sの差異はあるものの、0.1sから0.6sの範囲にわたって微動観測から得られた卓越周期と地盤特性値には比較的良好な相関があることが分かる。微動観測で得られた卓越周期は、工学基盤までの表層地盤の増幅を示唆していたことが確認できた。

一方、図-2.3で前掲したJ-SHISによるAVS30⁴⁾から推定した地盤の周期と観測点周辺のボーリング資料による地盤特性値との関係を分析する。表層地盤を深さ30m、せん断波速度をAVS30の単純一層として地盤特性値を算出し、ボーリングによる地盤特性値と比較した。その関係を図-3.6に示す。図-3.6より、ボーリングの地盤特性値よりAVS30から推定した周期は長く、ボーリングから算出した地盤特性値とAVS30から算出した周期との間には相関がみられないことが分かる。これらのことから、AVS30を安易に用いると実際の地震動よりも大きな地震動を想定することになることが考えられ、適切な地盤モデルを構築する必要がある。

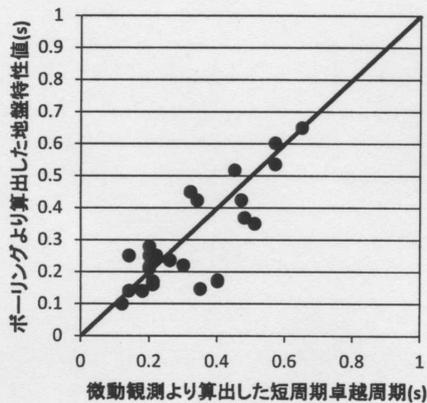


図-3.5 短周期側の卓越周期と地盤特性値

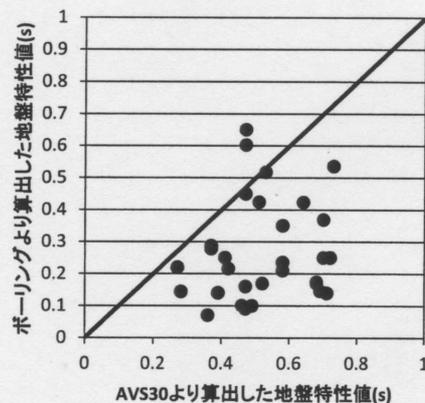


図-3.6 地盤特性値とAVS30⁴⁾から算出した地盤特性値

3.3 表層地盤のモデル化

高松市の地盤構造をモデル化するために、GIS上で微動観測の結果とボーリングの情報を空間的に統合させた。用いたデータは、微動観測を実施した35観測点の卓越周期とボーリング資料のある144地点の地盤特性値、工学的基盤の深さである。微動の卓越周期と地盤特性値の間に相関がみられることから、微動の卓越周期を地盤特性値と見なした。工学的基盤の深さボーリングのデータのみを用いて作成した。この二種類のデータを用いて高松市内の各メッシュに表層地盤の地盤特性値と基盤深さを与える。

まず、高松市の表層地盤モデルを考慮すべき地域について述べる。前述の微動観測では、微地形で地盤震動特性が異なることが明らかになった。とくに、微動観測で明瞭な卓越周期が見られず安定した地盤とされる山地、山麓、台地については、表層の地盤増幅の影響が小さいと考え、個々のメッシュに地盤特性値と基盤深さを与えないものとする。その理由として、ボーリングの資料はほとんど存在しないため、少ないデータで空間補間すると狭隘な道路などの地盤情報が上手く反映できないためである。本研究では、等高線と微地形を参照しながら考慮すべき範囲を限定した。表層地盤の構造が複雑で、個々の地盤メッシュにそれぞれ深さや地盤特性値を与える地区と大きな地盤増幅が見られず、微地形ごとに同一の表層地盤モデルを与える地区に分類した。

図-3.7、図-3.8でClass Aとされている地区は、微地形ごとに地盤モデルを与える地域(4026地盤メッシュ)である。市の南部に多くあることがわかる。一方、Class Bの地区は沿岸部の地盤となっている(2074地盤メッシュ)。後者の地区では、微動観測によって算出した卓越周期とボーリングデータから算出した地盤特性値からコンター図を作成し、それらから、地盤特性値を0.05秒から0.05秒刻みに0.6秒までの値を地盤モデルに与えて表層地盤のモデルを作成した(図-3.7)。ボーリング資料による基盤深さについても同様の処理を行い、1m単位で基盤深さを設定した(図-3.8)。図-3.7より海岸沿いの埋立地や干拓地において比較的大きな地盤特性値になっている。また、市中

央よりやや東部分の後背湿地で高い値を示しているのはボーリングデータより算出した地盤特性値が大きかったことが考えられる。前述したように高松平野で行った微動観測の長周期卓越周期は深部の基盤面の影響を受けているが、表層の地盤モデルには考慮していない。

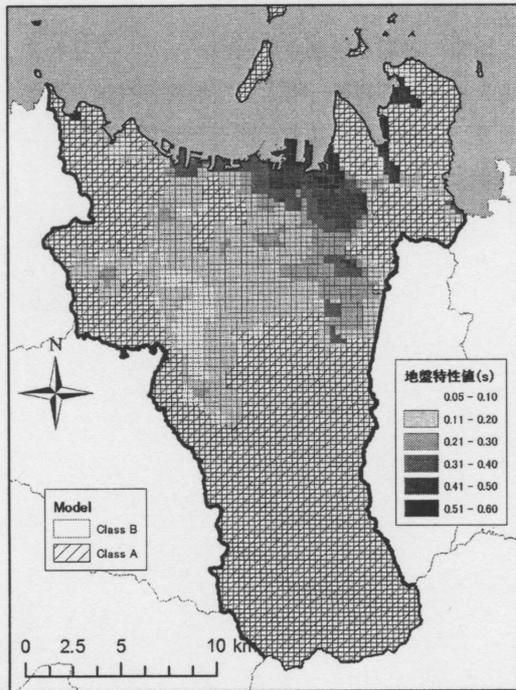


図-3.7 表層地盤モデル (地盤特性値)

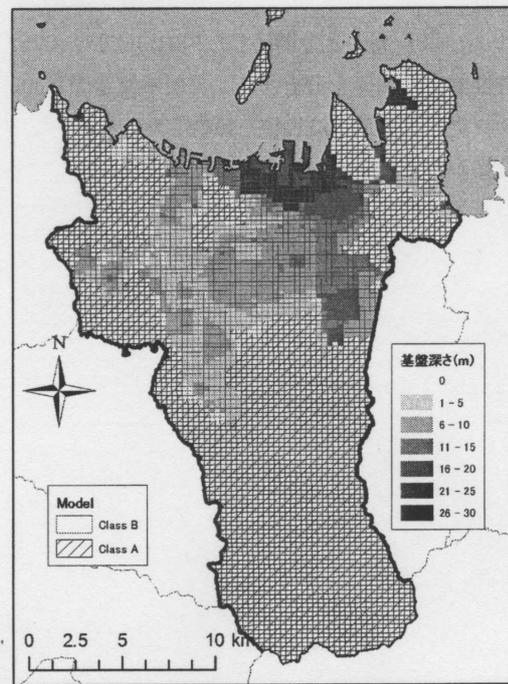


図-3.8 表層地盤モデル (基盤深さ)

3.4 地震応答解析

2012年度に中央防災会議¹¹⁾が見直した南海トラフ巨大地震の想定を反映させて、高松市での地震動を推定する。中央防災会議では、基盤の推定震度から震度増幅を行って地表の震度を算出し、最大加速度や最大速度はそれらから読み替えて算出される。しかし、本研究では本分析結果の展開として、地中構造物の被害予測を考えているため、震度からの換算値よりも最大速度を直接算出した方が、より良い精度が得られるものと考えられる。

高松市では工学的基盤相当 ($V_s=350\sim700\text{m/s}$) の地震動が約5km間隔に推定されている。図-3.9は、一例として、管路が集中している市街地の波形を示したものである。2~3分近い継続時間を有する地震動であり、強震動生成域が分布していることから波形にも3つの波群が確認できる。

地震応答解析の方法については、重複反射理論に基づいて次元等価線形解析を用いた。地盤特性値と深さを与えたClass Bの表層地盤モデルについては、その周期に相当するように地盤のせん断波速度を設定し、単純一層の地盤とした。表層地盤の諸元として、地盤の密度は 1.70g/cm^3 、減衰係数は2%とした。また、地盤のせん断剛性係数とせん断ひずみとの関係については、H-Dモデルを用い、過去の動的試験結果から設定した。図-3.10の粘性土および砂質土は中央防災会議¹²⁾で用いられているせん断剛性係数とせん断ひずみの関係である。本研究では、地盤種別の区別は行わなかったが、G- γ 曲線は中央防災会議よりもやや剛性低下するひずみが小さい設定となっている。一方、工学的基盤のせん断波速度は $V_s=500\text{m/s}$ とし、地盤の密度は 1.95g/cm^3 とした。また、微地形によって表層地盤をモデル化したClass Aにつ

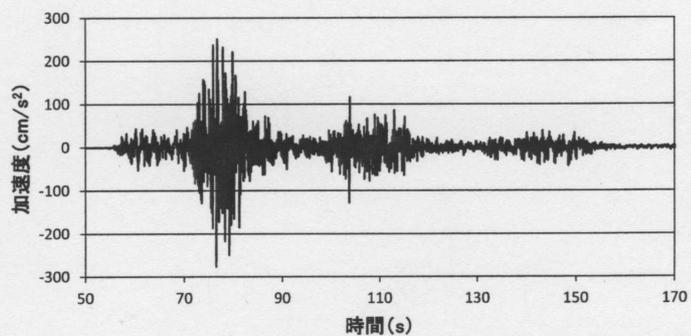


図-3.9 南海トラフ巨大地震における高松市の工学的基盤の加速度

いては、地盤特性値が0.1s程度になるものと仮定し、インピーダンス比が小さくならないように配慮して設定した。Class AとClass Bをあわせて計145種類の地盤モデルを検討した。

南海トラフ巨大地震における工学的基盤面の推定地震動¹¹⁾の最大速度を工学的基盤上で補間し、地盤メッシュの増幅率を乗じて地表の最大速度 (PGV) とした。高松市内で工学的基盤面の地震動が推定されたものの内、無作為に選んだ7箇所の波を用いた。推定地震動の加速度は全体的に東西成分の方が卓越していたことから、本研究では、安全側の推定として東西成分を選択した。各地盤メッシュの増幅率は、地震応答解析によって算出し、基盤面に対する表層の最大速度の比の平均を用いた。図-3. 1 1は、145種類の地盤モデルの内、一例として50種の7波の増幅率とその平均を示している。

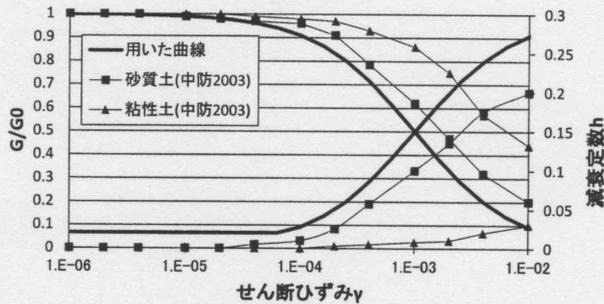


図-3. 1 0 表層地盤の $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 関係

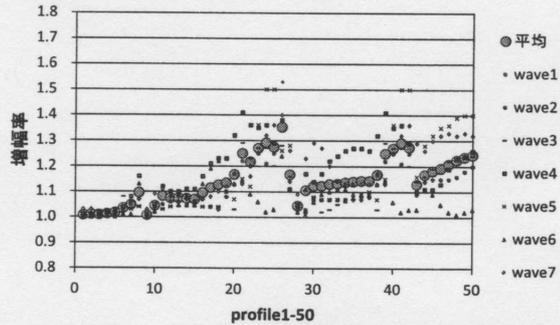


図-3. 1 1 地盤増幅率 (地盤50モデル)

図-3. 1 2は基盤面での最大速度分布を示している。図-3. 1に示す南海トラフ巨大地震の強震動生成域に近い南部で最大速度が大きい。図-3. 1 3は地震応答解析による地表の最大速度 (PGV) の分布を示している。最大PGVは53cm/sで、南東部で40~50cm/sとなっており、表層の地盤増幅率よりも基盤面での最大速度の影響を強く受けている。一方、平野部に東側の後背湿地や沿岸部の埋立地、干拓地の微地形地域では、表層地盤の増幅により強い地震動になることがわかった。微地形ごとに地盤モデルを作成したメッシュ (Class B) では微地形の影響を受けている。本推定結果から翠川¹³⁾を参考にして、地表の震度を算出したところ最大震度が5.7であるのに対し、中央防災会議の最大推定震度は5.9であった。また、中央防災会議では埋立地・河川沿いにおいて大きい震度を推定しており、微地形の影響を強く受けている。本研究で、常時微動観測と本市上下水道局のボーリング資料を統合することで高松平野の地盤震動特性と地盤構造を明らかにすることかでき、さらに精度よい地震動の推定ができた。

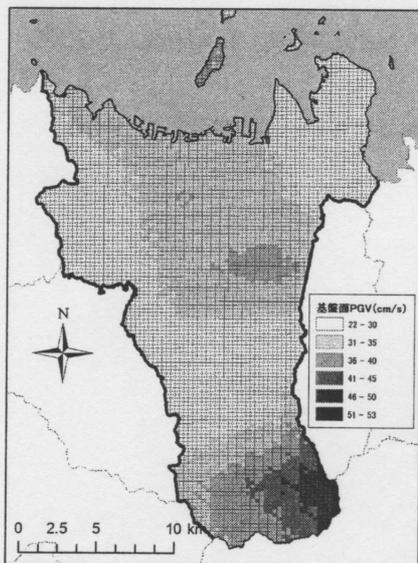


図-3. 1 2 南海トラフ地震における基盤面での最大速度分布

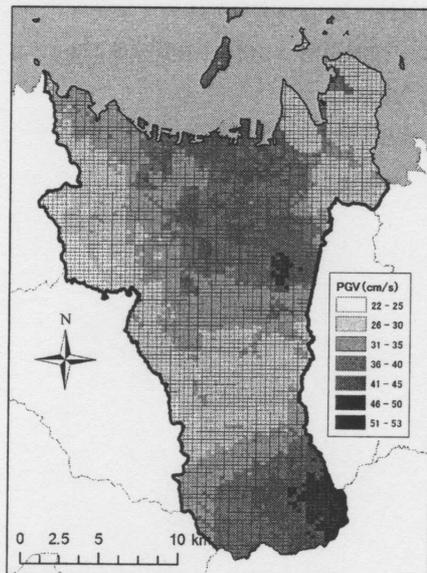


図-3. 1 3 PGV分布

4. まとめ

本研究は、高松市における地盤震動特性について明らかにするために、微動観測を行い、H/Vスペクトルの卓越周期から空間的な震動特性を明らかにした。さらにボーリング資料を用いて地盤構造をモデル化し、南海トラフ巨大地震の推定地震動を用いて地盤応答解析によって地表の地震動を推定した。本研究の成果は、以下の通りにまとめられる。

- ・ 常時微動観測によって高松平野では0.2~0.6sの卓越周期が得られ、段丘や丘陵では0.1~0.2sの卓越周期となることがわかった。
- ・ H/Vスペクトルに明瞭な卓越周期が2つ見られる観測点では、1~2sの長周期側の卓越周期は洪積層の地盤構造による地盤増幅であることがわかった。
- ・ 常時微動観測の卓越周期とボーリングの地盤特性値には良い相関があるが、AVS30から推定した地盤周期はボーリングの地盤特性値よりも過大評価していることが示された。
- ・ 高松市の表層地盤モデルを作成し、南海トラフ地震による工学的基盤の推定地震動を用いて表層の最大速度を算定した。沿岸部や市内東部の後背湿地で40~50cm/sが推定されることがわかった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、高松市上下水道局より高松市のボーリング資料を提供して頂いた。また、地震動推定の際に、内閣府の南海トラフ巨大地震の想定地震動を利用させていただいた。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震の長期評価（第二版）について、
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai2_shubun.pdf
- 2) 中村豊，上野真：地表面振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
- 3) 斎藤章彦，長谷川修一：常時微動観測による高松平野の地盤振動特性の推定，四国電力，四国総合研究所研究期報，No.80，pp.94-99，2003
- 4) 松岡昌志・若松加寿江：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号H20PRO-936，2008
- 5) 太田陽子：日本の地形 6近畿・中国・四国，東京大学出版，pp.232-233，2004
- 6) 長谷川修一，斎藤実：讃岐平野の生い立ち，アーバンクボタ no.28，pp.52-59，1989
- 7) 防災科学研究所：地震ハザードステーション，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>（2013.9閲覧）
- 8) 若松加寿江，松岡昌志：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版の構築，日本地震工学会大会-2008梗概集，pp.222-223，2008.11
- 9) 斎藤章彦，長谷川修一：常時微動測定による高松平野の地盤構造の推定，土木学会年次学術講演会講演概要集 第1部，58巻，pp.581-582，2003
- 10) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，平成 24年 3月
- 11) 中央防災会議，南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html（2013.9閲覧）
- 12) 中央防災会議，東南海・南海地震等に関する専門調査会
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/16/index.html（2013.9 閲覧）
- 13) 翠川三郎，藤本一雄，村松郁栄，計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係，地域安全学会論文集，Vol.1，pp.51-56，1999

著者

- 加藤 想 神戸大学大学院生、学士（工学）
 鎌田 泰子 研究員、博士（工学）、地震工学