

常時微動測定に基づく砂留直下の地下構造の推定

向井厚志

要旨

砂留（江戸時代の砂防堰堤）の堆砂面に整備された堂々公園において常時微動測定を実施し、そのH/Vスペクトル比から公園直下の地下構造を推定した。柔らかい表層は公園中央部を流れる堂々川周辺で厚く、山の斜面に近づくほど薄くなる傾向がみられた。また、堂々川の上流側へ向かうほど、表層が薄くなる傾向も認められた。本研究で推定された地下構造は、砂留が構築される前の谷間地形を反映しており、常時微動測定は局所的で複雑な地下構造を推定する際にも有効な手段であると考えられる。

キーワード：常時微動測定、砂留、H/Vスペクトル比、地下構造

1. はじめに

広島県を含む中国地方において広く分布する花崗岩類は、風化によって壊れやすい土砂状の真砂土に変化する一方で、深くなるにつれ徐々に硬質となる特徴をもっている（低引，1990）。そのため、2014年8月の広島土砂災害では、真砂土と岩片を含む表層が平板状に崩壊した箇所が多く見られ（千木良他，2015）、広島市安佐北区や南区等の山裾に開発された住宅街において、死者74名、全半壊361戸の被害が生じた（内閣府，2014）。真砂土は広島県東部の福山市にも分布しており、2016年6月の梅雨前線による大雨では、福山市で平年値の約3倍の降水量となった結果、486件の土砂崩れが発生するなど、広島県東部で土砂災害が多発した（寺岡・熊本，2017）。2018年7月にも梅雨前線の停滞と活発化によって平成30年7月豪雨が発生し、広島県の471件を含め、西日本を中心に計1464件の土砂災害が生じた（国土交通省，2018）。このように、近年、広島県では大規模な土砂災害が繰り返されてきている。

福山市は歴史的にも土砂災害を繰り返し経験して

きており、そのうち、大規模な土砂災害として、江戸時代初期の記録が残されている。1673年5月の集中豪雨によって、福山市北部の堂々川流域で土石流が発生し、国分寺や民家・田畑を押し流した。これを受けて福山藩は土砂留普請を進め、同地域に数多くの砂留（砂防堰堤）が築造されることとなった（高梨他，1997）。福山市に現存する大きな砂留のひとつが、1700年代に築造が始まった堤高8.8mの「堂々川六番砂留」である（高梨・花房，1995）。近年まで砂留群は草木等に覆われ、その存在は一部の地元住民に認識されているのみであった。そうした中で、2006年に地元住民らが「堂々川ホテル同好会」を組織し、堂々川流域の清掃活動を開始するとともに、地域資源として堂々川砂留群の整備を推進していった（堂々川ホテル同好会，Web）。福山市には大小合わせて100基以上の砂留が確認されており、同同好会の活動を通して、現在でも新たな砂留が再発見されている（御領の古代ロマンを蘇らせる会，2017）。

堂々川砂留群を覆っていた土砂や草木が取り除かれ、直接、風雨にさらされた結果、近年、堆砂面の陥没や石組みの崩落などの問題が発生するようにな

った。そのため、砂留の損壊につながる地下構造の変化をモニターすることが求められている。そこで、著者は砂留において常時微動測定を実施し、その地下構造の調査に取り掛かった(向井, 2018)。常時微動測定は地表面で地盤震動を測定すればよく、ボーリング調査のように地盤を掘削することなく地下の地震速度構造を推定できる手法として広く用いられている(例えば, 山中他, 1999; 安井他, 2014)。福山市内においても、向井他(2016)は福山平野で稠密に常時微動測定を実施し、局地的な卓越振動数分布を明らかにした他、藤嶋・三浦(2017)は、福山平野における常時微動測定に基づいて、浅部地盤のS波速度構造を推定した。

常時微動測定に基づいて地下構造を推定する場合、一般的に水平成層構造を仮定する(Haskell, 1953)。そのため、水平成層に近い地下構造が予測される鳥取平野や大阪平野、宮崎平野等、比較的平坦な平野部において、地下構造推定を目的とした常時微動測定の研究例が多い(例えば、石田他, 2013; 飛田他, 2014; 亀井他, 2015)。ただし、小金他(2016)は大山西麓で常時微動測定を実施し、火山噴出物の層厚が深くなるほど、卓越周期が長くなる傾向があることを報告しており、基盤岩の表面が傾斜する地域においても、常時微動測定に基づく地下構造推定が有効であることを示している。また、大島他(2017)は、2016年熊本地震による住宅被害の原因究明を目的として、熊本県益城町で常時微動測定を行い、粘性土層が厚く堆積している旧河道で住宅被害が大きいなど、隣接地域の地震被害の差異が地盤の卓越振動数や増幅率に対応していることを示した。さらに、大学構内という狭い領域内で稠密な常時微動測定を実施し、局所的な表層地盤構造の推定を試みた事例もある(年・高橋, 2019)。これらの研究例は、局所的で複雑な地下構造を調べる上でも常時微動測定が有効であることを示唆している。

堂々川六番砂留は堂々川中流域の谷筋に築造された砂防堰堤であり、自然の谷間にやや軟弱な土砂が堆積した地盤構造となっていると推測される。本研究では、堂々川六番砂留の堆砂面に整備された堂々

公園において常時微動測定を実施し、それに基づく表層構造の推定結果について報告する。

2. 堂々公園内の卓越振動数分布

福山市神辺町の山間部を流れる堂々川には、下流側の堂々川一番砂留に始まり、上流側の堂々川六番砂留まで、計6つの砂留群が存在する。いずれも、築城技術を応用した石組みによって江戸時代に築造され、その後、明治時代から昭和時代にかけて増築または改修工事がなされてきた。そのうち、最大の堂々川六番砂留は堤高約8.8m、横幅約56mの大きさをもち、その堆砂面には横幅約70m、長さ約250mの堂々公園が整備されている。

本研究では、2017年と2020年に堂々公園の下流側で常時微動測定を実施した(図1)。2017年の測定点は計61か所であり、約15m間隔で配置した。この測定では、鉛直1成分および水平2成分の互いに直交する方向に配置された3台の高感度振動検出器2403(昭和測器株式会社製;以降、「検出器①」と記す)を用いた。検出器からの出力は40Hzのローパス・フィルタに通した後、メモリハイロガーLR8431(HIOKI製)に10ms間隔で収録した。2020年にはより小型の3軸微振動検出器2205B(昭和測器株式会社製;以降、「検出器②」と記す)を用いて、堂々公園中央部の計9か所で常時微動を測定した。この検出器からの出力は、50Hzのローパス・フィルタを設定したメモリハイロガーMR8880(HIOKI製)に1ms間隔で収録した。いずれも、収録時間は各測定点で5分間とした。

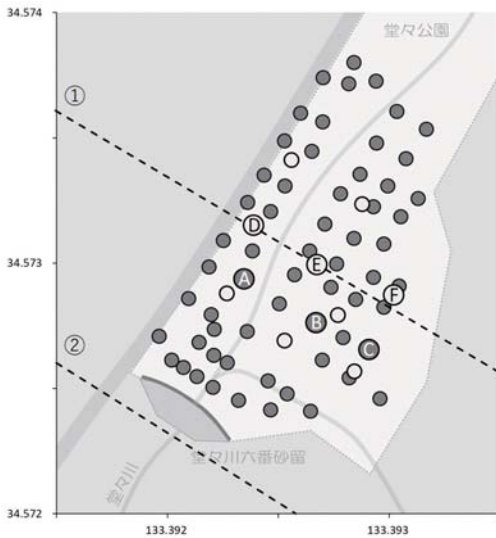


図1. 堂々川六番砂留の堂々公園における常時微動測定点の配置

●印は2017年、○印は2020年に実施した常時微動測定の測定点を示す。図中の点A～Hは、図2および図4で取り上げる測定点であり、破線①および②は図7で描いた断面図の位置を示す。

常時微動測定に基づき地盤の卓越振動数を推定する方法として、中村・上野（1986）が提唱したH/Vスペクトル比を用いた手法が広く用いられている。この方法では、常時微動の鉛直成分に対する水平成分のスペクトル比を計算することによって、表層を伝わるRayleigh波の影響を除去しつつ、堆積層内を重複反射する地震動の増幅特性を抽出する。その結果、H/Vスペクトル比のピーク位置から、地盤の卓越振動数を推定することができる。

H/Vスペクトル比は、福山平野の卓越振動数分布を推定した向井他（2016）の手順を用いて計算した。まず、測定点近傍の車の往来等によって生じた地盤震動の影響を取り除くため、標準偏差の5倍以上の振幅をもつ常時微動測定値を欠測とした。その後、測定データにFFTを当てはめて、鉛直成分および水平2成分の常時微動の振幅スペクトルを計算した。このとき、2017年に10ms間隔で得られた測定データからは、約40秒間（データ数4096個）の

ウィンドウを1秒（データ数100個）ずつ移動させながら、各ウィンドウの振幅スペクトルを計算した。また、2020年に1ms間隔で得られた測定データからは、約66秒間（データ数65536個）のウィンドウを1秒（データ数1000個）ずつ移動させながら、各ウィンドウの振幅スペクトルを計算した。なお、ウィンドウ内に欠測を含む場合、その振幅スペクトルは求めなかった。5分間の測定データに欠測がまったくない場合、2017年で最大260区間、2020年で最大235区間のウィンドウで振幅スペクトルを求めることができる。それらの振幅スペクトルを成分ごとに平均し、次式を用いてH/Vスペクトル比HVを計算した。

$$HV = \sqrt{(NS^2 + EW^2) / UD^2} \quad (1)$$

ここで、NS、EWおよびUDは、それぞれ南北方向、東西方向および鉛直方向の常時微動測定値から求めた振幅スペクトルの平均値を表す。図2は、図1の点A～Fで測定された常時微動に基づくH/Vスペクトル比を示す。図2上段のA～Cは検出器①の測定データに基づくH/Vスペクトル比であり、図2下段のD～Fは検出器②の測定データに基づいている。

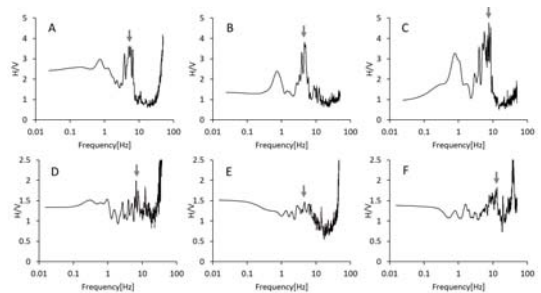


図2. 堂々公園におけるH/Vスペクトル比の例
図1の点A～Fにおける常時微動測定に基づいて計算したH/Vスペクトル比。図中の矢印は、本研究で使用した卓越振動数の位置を示す。

図2にみられるように、いずれのH/Vスペクトル比にも1～20Hzの振動数帯にピークが存在している。また、図2の点A～Cなど、1Hz以下の低振動数側にも明瞭なピークが認められる場合も多い。

これらのピーク位置の振動数が地盤の卓越振動数を表している。一般に検出器②の測定データから求めた卓越振動数におけるH/Vスペクトル比は、検出器①に基づく結果と比べて小さい。検出器の特性による差異である可能性の他、検出器①と比べて小型軽量の検出器②を用いた測定では、地表面と検出器の密着が不十分だった可能性も無視できない。今後、検出器②の底面にピンを付け、それを地面に食い込ませるなどして地表面と十分に結合させるなど、測定に工夫が必要と考えられる。

図3は、H/Vスペクトル比から読み取った卓越振動数およびそのH/Vスペクトル比の大きさの空間分布を示している。なお、図2の点A～Cのように、1 Hz以下の低振動数側にも卓越振動数が現れる測定点も多く、図2の点Aや点D～Fのように、数10Hz以上の高振動数側にも大きなH/Vスペクトル比が現れる場合もみられる。前者は、地下数10m以深のやや深い地下構造を反映しており、後者は厚さ数m以下の表層の地質構造に依存している。本研究では、砂留構築時に谷間を埋めた土砂の構造を調べることが目的であることから、1～20Hzの振動数帯に現れる卓越振動数を利用することとした。

卓越振動数の分布からは、堂々川の川筋に沿って小さな卓越振動数が分布している様子が読み取れる(図3(a))。堂々川近傍の卓越振動数は4～6 Hzとなっている一方、川から離れて山の斜面に近づくにつれて卓越振動数が大きくなり、10～15 Hzの値を示している。こうした空間分布の特徴は、検出器①と②のいずれの検出器においても共通して認められる。

卓越振動数におけるH/Vスペクトル比は堂々川周辺で大きな値となっており、川から離れるに従って小さくなる傾向がみられる(図3(b))。ただし、堂々川近傍でもH/Vスペクトル比が高々3程度の大きさとどまる測定点があったり、山の斜面に近い場所でH/Vスペクトル比が10以上と大きな値を示す測定点も見られたりするなど、卓越振動数の分布のような明瞭な空間分布の特徴は確認できない。また、H/Vスペクトル比の大きさは検出器による差異が大きく、検出器②で得られたH/Vスペクトル比は

1.5～2.0の範囲内に限定されており、堂々川からの距離に対する依存性も認められない。

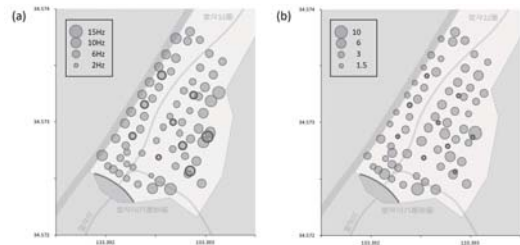


図3. 堂々公園における卓越振動数およびそのH/Vスペクトル比の分布

(a) 卓越振動数, (b) そのH/Vスペクトル比。○印の大きさは、各測定点における値の大きさを反映している。なお、細線および太線の○印は、それぞれ検出器①および②で得られた結果を示す。

3. 地下構造の推定

堂々公園における常時微動測定で得られたH/Vスペクトル比に、久田(2009)の表面波位相速度計算プログラム`phs3sQ-v3.f`を当てはめて地下構造を推定した。ひとつのピークをもつH/Vスペクトル比は、水平二層構造によって得られる。そこで、各測定点直下に水平二層構造が存在すると仮定して、地下構造の特徴を表す層厚や地震波速度を推定することとした。

地下構造パラメータには、各層の密度、P波速度、S波速度、層厚が存在しており、水平二層構造モデルの場合、下層である第2層の層厚が無窮大となることを考慮すると、計7個の変数が存在することになる。変数の個数が多く、すべて未知数として地下構造を推定することは困難である。そこで、本研究では表1に示すように一部のパラメータ値を固定し、未知数を第1層のP波速度VPと層厚THKの2つに限定することとした。VPとTHKの最適値を推定する際の手順としては、それぞれに初期値を設定し、そこからの微小なずれを与えながらH/Vスペクトル比の観測結果に近いパラメータを探し出す遺伝的アルゴリズムを使用した。

測定地域でボーリング等による地質調査が実施されていたのであれば、その結果を利用することが可能であるが、現時点ではそうした調査結果を確認することができていない。そこで、本研究の計算では、各層の密度や第2層の地震波速度として、表1に示す暫定的な値を設定した。また、各層のS波速度はP波速度の60%の大きさであると仮定した。

表1 地下構造推定に用いるパラメータ

	密度 [g/cm ³]	P波速度 [m/s]	S波速度 [m/s]	層厚 [m]
第1層	1.4	VP	VP*0.6	THK
第2層	2.0	2000.0	1200.0	無限大

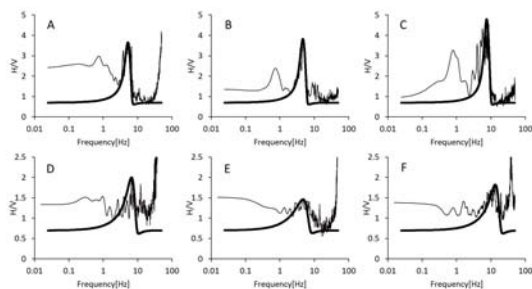


図4. H/Vスペクトル比の観測値と計算値の比較
細線は図2に示した観測値であり、太線は水平二層構造を仮定して求めた計算値を示す。

図4は、H/Vスペクトル比の観測結果に最もよく当てはまるように推定された地下構造パラメータに基づくH/Vスペクトル比の計算値を示している。当てはめには卓越振動数とそのH/Vスペクトル比のみを使用したため、卓越振動数から離れた低振動数側および高振動数側では十分に観測結果を表しきれていない。しかし、卓越振動数付近では、H/Vスペクトル比の計算値と観測結果はよく一致しており、地下構造パラメータの推定が適切に行なえたことがわかる。

こうして観測されたH/Vスペクトル比に最もよく当てはまる計算値が得られるよう、最適な地下構造パラメータを推定した結果、図5に示す第1層の層厚およびP波速度の空間分布が求められた。

図5(a)の層厚分布は、堂々川に沿った領域で表層である第1層が厚くなっていることを示している。

その厚さは川岸周辺の多くの測定点で20m前後となっており、図5(a)の点Aや点Bのように、40m前後の層厚が推定された測定点も存在する。第1層の層厚は川から離れるに従って薄くなっており、南東側の山の斜面近くでは10m前後となっている。一方、P波速度の推定値は400~900m/sの範囲でばらついており、層厚分布のように堂々川との位置関係に依存する明瞭な傾向は認められない(図5(b))。その平均値は581m/sであり、約75%の測定点でそのP波速度は「平均値±100m/s」の範囲に収まっている。

検出器の違いによる地下構造パラメータの推定結果の差異について確認すると、層厚に関しては明瞭な差異はなく、P波速度に関しては顕著な違いが認められた(図6)。測定点間の距離が最も近い検出器①と②に基づく第1層の層厚の推定値を比較すると、両者はほぼ同じ値となっており、そのグラフは傾き1の直線上にのった分布を示す(図6(a))。一方、P波速度では、検出器①に基づく推定値が幅広く分布し、小さな値となる傾向がみられる。これは、P波速度の推定において、H/Vスペクトル比の大きさが強く影響するためである。現時点では、検出器①と②のいずれの測定データがより現実の地下構造を反映しているのか明言することはできない。今後、地下構造が既知の地点で両検出器による常時微動測定を実施し、比較検証を進める必要がある。

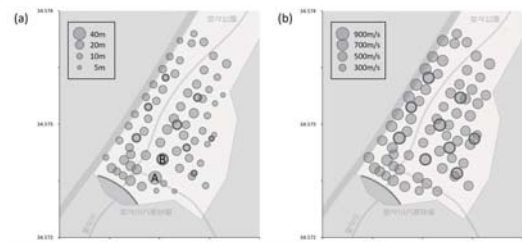


図5. 堂々公園表層の厚さとP波速度分布
(a) 第1層の厚さ、(b) 第1層のP波速度。○印の大きさは、各測定点における値の大きさを反映している。なお、細線および太線の○印は、それぞれ検出器①および②で得られた結果を示す。左図の点AおよびBは、第1層の厚さの推定値が35m以上

の測定点を示す。

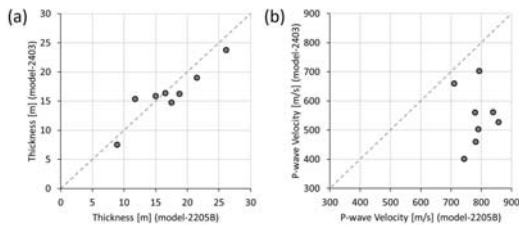


図6. 地下構造パラメータ推定値の検出器による差異 (a) 第1層の層厚, (b) 第1層のP波速度. 横軸は検出器② (model-2205B) に基づく推定値であり, 縦軸はその測定点に最も近い検出器① (model-2403) に基づく推定値を示す. 図中の破線は傾き1の直線である.

4. 考察

図6 (a)にみられるように, 検出器によらず第1層の層厚は安定して推定されている. これは, 層厚が強く依存している卓越振動数に関しては, 検出器による差異がほとんど見られないためであると言える (図3 (a)). 第1層のP波速度の推定値は検出器による差異が大きいが, いずれも900m/s以下と小さく, 第2層のP波速度2000m/sの50%未満となっている. 表層である第1層はかなり柔らかい地質と推定されており, 砂留を構築するため人為的に谷間を埋めた土砂の特徴を反映しているものと言える.

第1層の層厚を用いて, 各測定点の標高から第1層底面の標高を計算した. 図7は, 各測定点で求められた第1層底面の標高を, 堂々川を横断するN60oW-S60oE方向の鉛直断面上に投影した結果を示す. 図7の点Aや点Bのようにやや外れた推定値も存在するが, ほとんどの第1層底面の推定値は, 公園中央部がくぼんだ分布となっており, 両側にある山の斜面の延長線上に沿った形状を示している. 堂々公園北西側にある山は傾斜40°弱の急斜面であり, 南東側は約25°のやや緩やかな傾斜面となっている. これらの地形的な勾配と対応するように, 堂々公園直下の第1層底面は北西側で急傾斜, 南東

側でやや緩やかな傾斜を示している. このことから, 本研究で得られた第1層底面の標高分布は, 砂留築造前の谷地形を反映していると考えられる. また, 堂々川六番砂留の下流側の地形は, 堂々公園の北西側に谷底がやや偏っており, この位置は本研究で推定した第1層底面の最下部に近い. 堂々公園直下では, この谷底地形が上流側に向かって続いていたことを示唆している.

図8は, 堂々川の流路に沿った第1層底面の標高分布を示す. 第1層底面は下流側で低く, 上流側で高くなる傾向がみられる. この標高分布に直線を当てはめると, 1kmあたり標高が60m変化する傾斜となる (図8 (a)). この川筋に沿った第1層底面の標高変化は, 砂留築造前の元谷筋の標高分布を反映していると考えられる. 実際, 堂々川に沿った現在の地形をみても, 堂々川六番砂留および堂々川五番砂留の砂防壁下端を結ぶ傾斜面は, 同地域の谷筋の斜面に相当していると推察されるが, その傾斜は1kmあたり50mの標高変化と, 第1層底面の傾斜角に近い値を示している (図8 (b)).

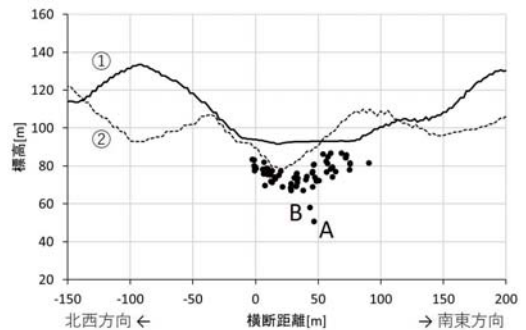


図7. 堂々公園表層底面の深さ分布

●印は, 図5 (a)の第1層の層厚から求めた第1層底面の深さ分布を, N60oW-S60oE方向の断面上に投影した結果である. 実線①および点線②は, 図1に示した各ライン上の地形の標高分布である. なお, 地形の標高は国土地理院地図による.

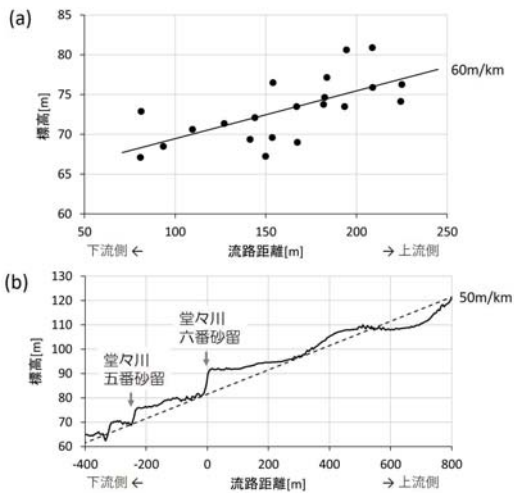


図8. 堂々川流路方向における表層底面の深さ分布
 (a) 堂々川に沿った第1層底面の標高分布。●印は図7の横軸25~50m範囲における第1層底面の深さを示す。ただし、図7の点Aと点Bの推定値は外した。図中の実線は、●印の値に当てはめた直線を表す。(b) 堂々川に沿った地形の標高分布。地形の標高は国土地理院地図による。破線は50m/kmの傾斜を示す。

以上のように、H/Vスペクトル比に基づく地下構造推定によって、堂々川六番砂留の堆砂面に整備された堂々公園直下の堆砂層の厚さ分布を適切に推定することができたと考えられる。この堆砂層の厚さは数10mの水平面内で20m近く変化しており、水平成層構造で近似できるとは言いがたい。しかし、図7および図8で確認できるように、水平成層構造を仮定した地下構造推定によっても、局所的な地下構造の水平分布をある程度再現することは可能と考えられる。こうした複雑な地下構造をもつ地域でどの程度正確にH/Vスペクトル比に基づく地下構造推定が可能であるかについては検証することが必要ではあるが、旧河道や旧岩礁地帯などが存在する埋立地域においても、地下構造を推定する際に常時微動測定が有効な手段となりうることを示唆している。

5. まとめ

堂々川六番砂留の堆砂面に整備された堂々公園において局地的に稠密な常時微動測定を実施し、そのH/Vスペクトル比から公園直下の地下構造を推定した。その結果、表層である第1層は堂々公園中央を流れる堂々川付近で厚く、山の斜面に近づくほど浅くなる傾向がみられた。また、堂々川の下流から上流側へ向かうほど、表層の層厚が薄くなる傾向も認められた。これらのことから、本研究で得られた堂々公園直下の地下構造は、砂留が構築される以前の谷間地形を反映していると推察できる。地下構造推定に際しては水平二層構造を仮定したものの、水平距離数10mという狭い領域内においても、その直下の複雑な地下構造を推定することが可能であることが示唆される。

福山市中心部が位置する福山平野は遠浅の海を埋め立てて造られており、その地下には岩礁などが埋まっている。また、福山平野西端には、大正時代に埋め立てられた芦田川の旧河道も存在する。そうした局所的に複雑な地下構造を有する地域においても、地震災害を予測する上で重要な表層付近の地下構造を調べる手段として、常時微動測定が有効であると言える。

参考文献

- 石田勇介・野口竜也・香川敬生・盛川仁, 2013, 微動・重力・磁気データを用いた地盤構造モデル推定の試み：鳥取平野における適用事例, 理論応用力学講演会講演論文集, 62(0), 83.
- 大島昭彦・中村優孝・平井俊之, 2017, 熊本県益城町の地盤調査と常時微動観測結果, 都市防災研究論文集, 第4巻, pp.1-6.
- 亀井健史・中村真貴・吉田太輝, 2015, 宮崎平野における常時微動計測結果に基づく地盤構造の評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.3, pp.359-368.
- 小金井茜・野口竜也・小室裕明, 2016, 大山西麓の基盤について—重力異常観測と常時微動

- 観測による推定一，島根大学地球資源環境学
学研究報告，第35巻，pp.25-30.
- 国土交通省，2018，平成30年7月豪雨による土砂
災害概要（2018年7月31日時点），
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/H30_07gouu.html（2020年9月1日閲覧）
- 御領の古代ロマンを蘇らせる会，2017，所在不明
の砂留発見！～「瀬名田砂留」～，2017年
1月13日，
<http://blog.livedoor.jp/geibi/archives/50401868.html>（2020年9月1日閲覧）
- 低引洋隆，1990，中国地方の地形・地質，土と基
礎，第38巻，第3号，pp.9-14.
- 高梨和行・花房秀俊，1995，広島県旧福山藩の石
積砂防堰堤（砂留）ならびに周辺環境整備
方針，新砂防，Vol.48，No.4（201），
pp.25-32.
- 高梨和行・花房秀俊・松田和男，1997，福山藩砂
留の構造（歴史的背景と構造種類），砂防学
会誌，Vol.58，No.1（210），pp.45-51.
- 千木良雅弘・松四雄騎・鄒青穎・渡壁卓磨，
2015，2014年広島豪雨による土砂災害の
地質規制，自然災害研究協議会 中国地区部
会 研究論文集，第1号，pp.39-42.
- 寺岡奈実・熊本直樹，2017，2016年6月の豪雨
による広島県東部の土砂災害に関する調査，
広島工業大学紀要研究編，第51巻，
pp.121-130.
- 堂々川ホテル同好会，<https://dodogawa.com/>
- 年縄巧・高橋悠貴，2019，明星大学日野キャンパ
スの地盤特性の分布，明星大学理工学部研
究紀要，第55号，pp.1-12.
- 飛田幸樹・川瀬博・松島信一，2014，常時微動を
用いた大阪平野南部における地盤構造の推
定，日本地震工学会論文集，第14巻，第2
号，pp.104-123.
- 内閣府，2014，資料2 平成26年8月20日に発
生した広島市土砂災害の概要，総合的な土
砂災害対策検討ワーキンググループ（第1
回），2014年12月4日，
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/dosya/working/>（2020年9月1日閲覧）
- 中村豊・上野真，1986，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.
- 久田嘉章，2009，表面波位相速度の計算プログラ
ムphs3sQ-v3.f，
http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/newhp/open_data.html（2020/9/28閲覧）
- 向井厚志，2018，福山市北部の砂留における常時
微動測定，東濃地震科学研究所報告，第40
巻，pp.87-93.
- 向井厚志・堤行彦・石尾広武・澤田結基，2016，
防災情報の可視化，福山市立大学都市経営
学部紀要，第9巻（奥村健二教授・堀田誠
三教授・藤森かよこ教授退職記念号），
pp.77-87.
- 安井譲・西川隼人・前田寿朗・長郁夫・小嶋啓介・
瀬戸一起・宮島昌克，2014，地震動H/Vス
ペクトルによる地盤構造逆解析の適用性－
福井地域の記録を用いた事例研究－，土木
学会論文集A1（構造・地震工学），
Vol.70，No.4（地震工学論文集 第33巻），
I_628-I_643.
- 山中浩明・佐藤浩章†・栗田勝実・瀬尾和大，
1999，関東平野南西部におけるやや長周期
微動のアレイ観測－川崎市および横浜市の
S波速度構造の推定－，地震2，第51巻，
pp.355-365.
- Haskell,N.A., 1953, The dispersion of surface waves
on multi-layered media, Bulletin of
Seismological Society of America, Vol.43,
pp.17-34.

Estimation of Underground Structure beneath Sunadome Based on the Microtremor Measurements

Atsushi MUKAI

Abstract

I performed the microtremor measurements on the sedimentation of Sunadome (a debris barrier in the Edo period) at Dodo park, and estimated the underground structure beneath the park by using the H/V spectral ratio. The soft surface layer was estimated to be thicker around the Dodo river flowing in the middle of the park and to be thinner nearby the mountain slope. There is also a tendency that the surface layer becomes thinner toward the upstream side of the river. These underground structures estimated in this study show the geography of the valley that existed before the construction of the Sunadome. It is considered that a microtremor measurement is an effective method to estimate a locally complicated underground structure.

Keywords : microtremor measurement, Sunadome, H/V spectral ratio, underground structure

DOI : 10.15096 / UrbanManagement.1309