

常時微動観測による地震被害と地盤・構造物の地震応答特性— インドネシア・ジャワ島中部地震 —

鈴木 憲一¹・岩楯 敞広²・吉嶺 充俊³・小田 義也⁴

1 国際石油開発帝石ホールディングス

E-mail : jp.kenichi@gmail.com

2 首都大学東京大学院教授 都市環境学研究科(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail : rock-tak@ecomp.metro-u.ac.jp

3 首都大学東京大学院准教授 都市環境学研究科(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail : yoshimine-mitsutoshi@c.metro-u.ac.jp

4 首都大学東京大学院都市環境学研究科助教

E-mail : oda-yoshiya@c.metro-u.ac.jp

本研究では2006年5月に起きたインドネシア・ジャワ島中部地震の被災地において、常時微動観測を実施し、地震被害との相関を評価した。表層地盤の地震応答特性を広い範囲で明らかにし、地震被害の規模と全体的に良い相関が見られた。一部の不相関は地盤特性のみでは説明できないことから、震源特性や伝播特性の影響が大きく影響していると考えられる。地滑り現場では滑り土塊の堆積量を1/4波長則を用いて大まかに把握することができた。さらに、歴史的構造物（ヒンドゥー教小寺院）、ダムなどの構造物の地震応答特性を評価し、地震時に共振現象より大きな地震力が作用する可能性が高いことがわかった。

Key Words : Microtremor, Mid. Java Earthquake, Seismic Damage, Seismic Response, Field Survey

1. はじめに

構造物の地震被害と表層地盤の応答には大きな相関があり、構造物の耐震安全性を確保するためには、表層地盤の地盤構造や応答特性を正確に把握することが、地震防災の観点から重要である。一方、表層地盤の構造や地震応答を評価するためには、地震観測、地盤調査、物理探査などを数多く行う必要があるが、経済的・時間的に負担が大きい。このため、地盤の応答特性を評価する手法として、安価で簡便な常時微動観測が注目され、これまで国内外で多くの研究が行われてきた。

著者らは、ジャワ島中部地震（22:54:02 UTC 26/07, Mw6.3）の地震被害調査に、常時微動観測を適用した。本地震による死者は 5,176 人、負傷者は約 40,000 人、約 140,000 戸の家屋が倒壊したと報告されており、地震規模が小さいことに反して極めて大きい人的・物的被害が発生したことが特徴である。現地では、ボーリングデ

ータはなく、地震被害と地盤・構造物の地震応答特性の関連を評価するのに、常時微動観測を用いた地震応答特性の推定手法は非常に有効な手段と考えた。

本研究では、(1)被災地周辺における表層地盤の地震応答特性、(2)地滑り現場において滑り土塊の堆積量、(3)構造物（一般家屋、歴史的構造物、ダム）の地震応答特性、の3つについて評価・検討を進めた。

2. 常時微動の観測形式と波形データの処理方法

2.1 表層地盤・滑り土塊

常時微動観測には東京測振社の携帯用振動計 SPC-51, SPC-35N の 2 台を使用した。観測は水平 2 成分（NS, EW）、鉛直 1 成分（UD）の計 3 成分の同社のサーボ型速度計 VSE-15-D を用い、サンプリング周波数 100Hz で A/D 変換(16bit)し、ノート型 PC に記録した。観測時間は 5 分間（30,000 サンプル）で、解析は時刻歴波形から定

常性を保っていると思われる 20.48 秒間(2,048 サンプル)のデータを 1 つの解析対象と考えて、5 つ選択し、高速フーリエ変換(FFT 解析)を行って、この 5 つの平均フーリエスペクトルと H/V スペクトル比(以下 H/V)を求めた。しかし、5 つの抽出が困難な場合には、3 つ抽出して、それらの平均を求めた。なお、H/V は水平 2 成分のフーリエスペクトルを相乗平均して鉛直 1 成分で除することにより算出している。また、FFT 解析で使用する窓関数にはハミングを用い、計算で求めたスペクトルには平滑化のためにスペクトル・ウィンドウとしてハミングを 15 回かけた。平滑化された H/V のグラフから卓越振動数を読み取り、以下の 1/4 波長則から表層地盤・滑り土塊のせん断波速度、表層厚あるいは滑り土塊の堆積厚との相関を求めた。

$$f = V_s / 4H \quad (1)$$

ここで、 f は H/V から求めた卓越振動数、 V_s はせん断波速度(表層地盤・滑り土塊)、 H は表層厚(表層地盤)と堆積厚(滑り土塊)である。

2.2 構造物

観測の機材は地盤での観測と同様のものを使用した。構造物上部、中部(時折下部)、地盤の3点で速度計を水平同方向に設置し、3点同時に観測を行った。観測方向は東西南北によらず、構造物の形状を考慮し、長軸・短軸方向でそれぞれ行った。地盤と同様の方法でフーリエスペクトルを算出し、平滑化したグラフの卓越振動数を求めた。

3 . 常時微動観測結果

3.1 表層地盤

表層地盤の地震応答特性を把握するためにYogyakarta市南方の平野部、被害の大きかった中部ジャワ州Klaten県とYogyakarta州の境界付近の地盤を中心に広い範囲で常時微動観測を行った。常時微動観測は東西南北に複数の測線を引き、それらに沿って移動観測で行った。隣接する観測点の間隔は数百メートルから数キロメートルまで様々である。測線の概要を表-1に、観測点の位置(全76点)を図-1に示す。なお、10Hzまでの短周期成分を検討対象とした。図-2に観測地域の地質図を示す。

表-1 測線の概要

測線1	観測点1~24で構成され、全長が約23.6kmである。空港のすぐ南を通る東西方向の測線で、Yogyakarta市の西側では高密度に微動観測を行った。 (図-1のピンクの測線)
測線2	観測点25~30で構成され、全長が約12.3kmの東西方向の測線である。測線1よりもさらに約9km南下したところに位置する。 (図-1の黄色の測線)
測線3	観測点31~34で構成され、全長が約6.6kmの東西方向の測線である。測線2から約2.5km南下したところに位置する。 (図-1の薄紫色の測線)
測線4	観測点35~43で構成され、全長が約13.9kmの東西方向の測線である。空港の北東部に位置し、Yogyakarta州と中部ジャワ州Klaten県の境界線をまたいで位置する。 (図-1の明るい水色の測線)
測線5	観測点44~55で主に構成されている南北方向の測線である。また、途中で測線が2本に分岐しているが、便宜上1つにまとめて扱うことにする。測線の長さは約25kmで、最南の観測点は海から約80mのところに位置している。 (図-1の薄い青色の測線)
測線6	観測点56~60、35から構成される南北方向の測線である。空港の東方約5.5kmに位置し、測線の長さは約8.1kmである。 (図-1の緑色の測線)
測線7	観測点61~68、39から構成される南北方向の測線である。空港の東方約12.2kmに位置し、測線の長さは約10.8kmである。 (図-1の赤色の測線)



図-1 常時微動観測点(背景にGoogle Earthを使用)



図-2 観測地域の地質図⁹⁾

3.1.1 測線1

測線 1 の拡大写真を図-3 に示す．地質学的には観測点 1, 2 は Sentro 地層（石灰岩・川砂）の第三紀層に分類され、観測点 5~24 は第四紀層のメラピ火山の堆積層に分類される（図-3 参照）．観測点 3, 4 はそれらの境界付近に位置している．観測点 1, 2 はピークが 2 つあるが、増幅倍率の大きさから 2 次ピークを卓越振動数と見なすことにする．両点とも卓越振動数が 9.5Hz 前後と高い数値になっており、1/4 波長則からこの両点の表層厚が薄いことを示している．

同様の理由で、観測点 3, 4 は 1 次ピークを卓越振動数に見なすことができるが、観測点 3 は 1 次ピークと 2 次ピークの増幅倍率が均衡していて判断が難しい．両点とも 2 次ピークが 5.5Hz 程度とやや高めの値を示しており、この 2 点が第三紀層と第四紀層の境界付近に位置することを示唆している．観測点 5, 6 についても 2 次ピークの 3Hz 弱を卓越振動数と見なす．観測点 5 の増幅倍率は 8 倍を越えており、コントラストの大きい地盤境界の存在を示している．

観測点 7 から 17 までは 3Hz 弱を卓越振動数にもつ点が多いようである．観測点 9, 10 では 8.6Hz 前後でピークが見られるので、この付近だけは表層が薄いと思われる．また、観測点 18 から 24 までは卓越振動数が 2Hz 弱の点が多く、厚い表層で覆われていることが推測される．

この測線では概して、西から東へいくに連れて表層が厚くなっているようである．また、地盤のコントラストはあまり明瞭ではないようである．

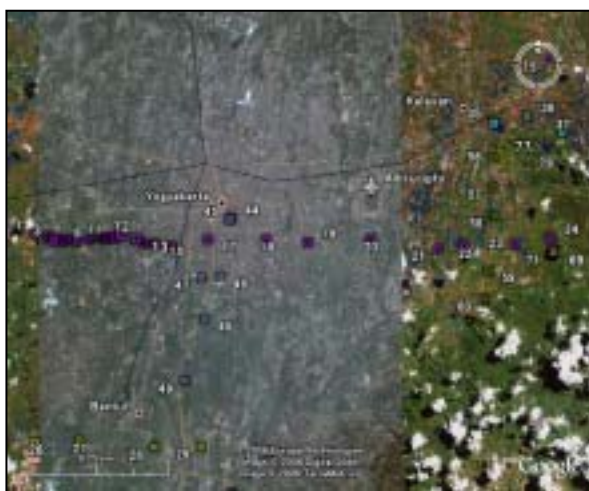


図-3 測線1の拡大写真(背景にGoogle Earthを使用)

3.1.2 測線2

測線 2, 3, 5 の拡大写真を図-4 に示す．観測点 25 から 29 は全てメラピ火山堆積層に分類さ

れるが、Progo 川近傍にある観測点 25 と観測点 26, 27 の北方約 1km の近さに第三紀層の Sentro 地層が存在する．Opak 川近傍にある観測点 30 は第三紀層の Sambipito 地層（凝灰岩・シルト岩）に分類される．

卓越振動数の値から、観測点 25 では表層が薄く、そのわずか 1.3km の東方に位置する観測点 26 では表層が厚いと推測される．さらに、その 2km 東方の観測点 27 ではピークが明瞭ではなく、一見、岩盤サイトと誤解しやすい．しかし、地質学的にはこの地点の地盤は火山の堆積層で覆われているため、岩盤と解釈することは疑わしい．したがって、せん断波速度 V_s が漸増するタイプの表層地盤なので、このように増幅倍率が明確に表れない結果になったものと解釈する．

観測点29の東西約1kmで南北に川が流れている．川同士の間隔が比較的狭いことから、その中央にある観測点では川によって運ばれてきた堆積物が多いと推測される．よって、この観測点では1次ピークを卓越振動数として採用することが好ましいと思われる．観測点28で、仮にせん断波速度 V_s を260m/sとして1/4波長則から表層厚 H を算出すると、 H は約24mとなり、同様に観測点29で V_s を250m/sとして計算すると H は約36mとなる．



図-4 測線2,3,5の拡大写真
(背景にGoogle Earthを使用)

3.1.3 測線3

観測点 31 から 34 の全ての地質がメラピ火山堆積層に分類される．観測点 32 の卓越振動数の判断が難しいが、グラフを見てみると、高周波数帯では抽出した 5 パターンのグラフにばらつきが見られるので、1 次ピークを卓越振動数とした方が妥当だと考える．その他の観測点では全て 3Hz 台の前半に卓越振動数が存在していて、

北方に位置する測線 1, 2 に比べて表層厚が若干薄いものと判断される．仮にせん断波速度 V_s を 190m/s として $1/4$ 波長則を適用すると，表層厚 H は約 16m となる．

3.1.4 測線4

図-5 に測線 4, 6, 7 の拡大写真を示す．この辺りの地盤もメラピ火山堆積層に分類される．また，測線の南側には東西に延びる山地が広がっており，さらに南には Sambipito 地層の岩盤層が存在する．観測点 35 から 39 は全て約 1.5Hz で卓越しており，この辺りの表層が厚いことが推測される．観測点 40 のピークは増幅倍率が低く，明瞭ではないが，これをピークとすると，ここを境に東方向へ表層厚がさらに厚くなっていくことがわかる．この周辺は昔，湿地帯であったこともあり，比較的緩い地盤部分的に堆積しているとされている．仮にせん断波速度 V_s を 200km/s とすると $1/4$ 波長則により，卓越振動数 f が 1.5Hz のときに表層厚 H が約 33m となり， 0.7Hz のときに表層厚 H が約 71m となる．



図-5 測線 4, 6, 7 の拡大写真
(背景に Google Earth を使用)

3.1.5 測線5

観測点 55 は今回の観測で最南端の観測点であり，ここは地質学的にはメラピ火山堆積層が堆積していない沖積層にあたる．このため，メラピ火山堆積層に比べて表層厚が薄いと考えられるので，2 次ピークを卓越振動数と考えることが妥当だと思われる．その他の観測点は全てメラピ火山堆積層に分類され，観測点 45, 46, 47 点の卓越振動数は増幅倍率の大きさが示す通りに 1 次ピークを採用することが適切だと考えられる．

3.1.6 測線6

全観測点がメラピ火山堆積層に分類される．観測点 56, 59 は Sambipito 地層の岩盤層の非常に近いところに位置しており，高周波数帯に卓越振動数が存在していることは妥当な結果だと考えられる．その他の観測点では 1Hz 台で卓越しており，堆積層の表層が厚いと推測される．

3.1.7 測線7

観測点 61 から 66 まではメラピ火山堆積層に分類され，観測点 68 は Sambipito 地層の岩盤上に位置している．観測点 67 はメラピ火山堆積層と Sambipito 地層の間に東西に延びる別の地層（名称不明，現在確認中）の上に位置している．観測点 61 から 39 までは卓越振動数が低周波数帯で存在しており，この辺りの表層厚が厚いことを示している．観測点 66 辺りから卓越振動数が高周波数帯に移行し，観測点 67 では表層が薄くなり，観測点 68 で岩盤に到達したことを示している．

以上 7 測線の解析結果から，各観測点の卓越振動数の分布を図-6 に示す．この分布図から，北東の Klaten 県付近では卓越振動数が小さく，すなわち， $1/4$ 波長則によると，表層厚が厚い，もしくはせん断波速度が小さいことがわかった．一方，Yogyakarta 市の西方では卓越振動数が大きく，表層厚が薄い，もしくはせん断波速度が大きいことがわかった．

図-7 に名古屋大学環境学研究科附属地震火山・防災センターによる全壊家屋の分布図を示す．図-6 と比較すると，Klaten 県付近の被害は大きく，この地域の表層厚やせん断波速度とは良い相関が見られる．しかしながら，図-7 で測線 1 の東部および測線 6 の地域では被害が小さかったことに反して，図-6 によるとこの付近は比較的表層厚が厚く堆積していて，せん断波速度が小さい，すなわち，地震が起きれば地震波の増幅が大きく，被害も大きいたらと推測される．このことから，本地震の被害は震源特性や伝播特性が大きく影響していると考えられる．

3.2 滑り土塊

本地震で，常時微動の観測点 24 の南方において地滑りの被害が確認された．滑り土塊上で常時微動観測を行い，土被り厚の大まかな推定を行った．地滑り現場では高周波数帯でのピークが確認できたので，検討対象を 20Hz までとし， $1/4$ 波長則に基づく考察を行った．地滑り現場の衛星写真を図-8 に，各観測点の卓越振動数と増幅倍率を表-2 に示す．

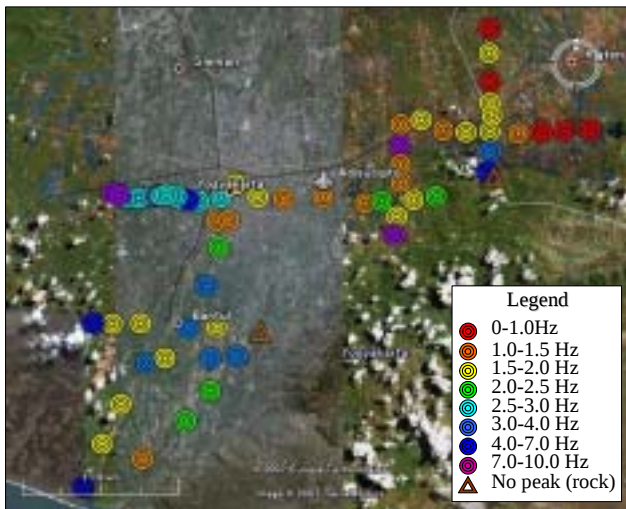


図-6 卓越振動数の分布図(背景図にGoogle Earthを使用)

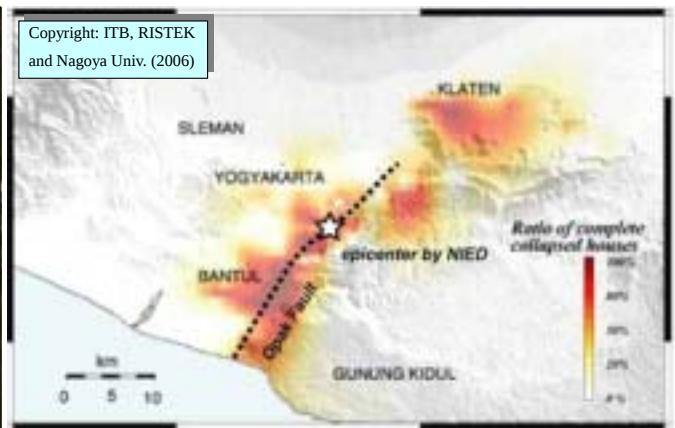


図-7 全壊家屋の分布図⁽²⁾



図-8 地滑り現場の衛星写真

表-2 卓越振動数と増幅倍率

Map No.	1st		2nd		Height [m]	備考
	Peak Frequency (Hz)	Ratio	Peak Frequency (Hz)	Ratio		
69	-	-			196	
70	2.29	3.08	3.81	4.31	173	全体的に増幅倍率が2倍以上
71	8.64	6.18			179	9Hz-16Hz くらいまで増幅倍率が高い
72	1.61	7.71			173	1.5Hz-7Hz くらいまで増幅倍率が高い
73	0.54	6.96				
74	10.94	5.19			148	10Hz 付近まで漸増

観測点 69 の若干南の地盤が滑落したことから、観測点 69 は地滑りの被害を受けておらず、H/V は全体的に増幅倍率 1~2 程度で安定している。この地点は sambipito 地層に分類されるため表層が非常に薄いと推測されるので、妥当な結果だと思われる。現地での目視による判断の限りでは、観測点 70 から 73 までは滑り土塊が覆っていて、観測点 74 までには土砂が到達していないと思われる。観測点 70 の H/V のグラフを見てみると、全体的に増幅倍率が 2 倍以上であることがわかる。あらゆる周波数帯で増幅が確認されていることから、この地点には上部から滑落した土砂が多少なりとも堆積していることが推測される。

観測点 71 では 9~16Hz 付近の高い周波数帯において増幅倍率が一様に高い。したがってこの地点の滑り土塊の堆積量は少ないと推測される。この地点は地滑りが開始された地点に非常に近いので、少量の土砂のみが堆積し、大部分の土砂はより下方に堆積したと考えられることから、妥当な結果だと思われる。

観測点 72 では 1.5~7Hz 付近という低周波数帯で 5~8 倍という様に高い増幅倍率を示している。これは観測点 71 から 72 にかけて、卓越振動数が高周波数帯から低周波数帯にシフトしたようにも考えられる。ここで、卓越振動数 8.64Hz (観測点 71) が滑り土塊の堆積量がほぼ同じであるという条件下で、約 1/5 倍の 1.61Hz (観測点 72) にまで低下したと仮定すると、1/4 波長則によりせん断波速度 V_s も約 1/5 倍に低下したことになり、すなわち、せん断剛性 G

が約 1/25 倍に低下した事を意味する(図-9)。

観測点 73 では低周波数帯での増幅倍率が大きく、土砂の厚みが大きいことが推測される。また、観測点 74 では 10.94Hz の高周波数帯に卓越振動数が存在しているので、滑り土塊は観測点 73 と 74 の間で停止していると考えられる。

以上の結果から、観測点 69 から 74 までの滑り土塊の模式図を描くと図 10 のようになる。

3.3 構造物

構造物に対して常時微動観測を実施した。表3に観測点と構造物の種類を、表4に卓越振動数と伝達関数を示す。速度計は1chを構造物上部、2chを構造物中部(時折下部)、3chを地盤に設置し、長軸・短軸方向に

ついて同時観測を行った。

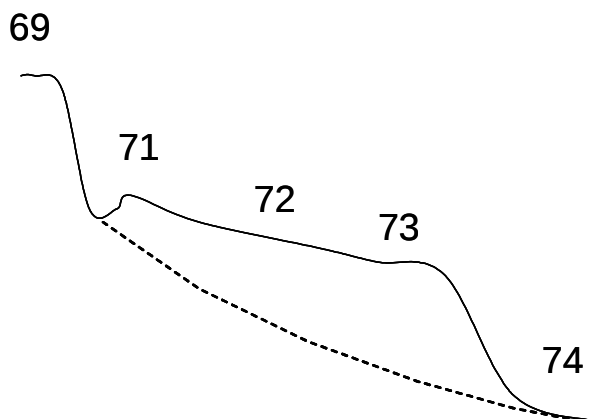


図-10 滑り土塊の模式図

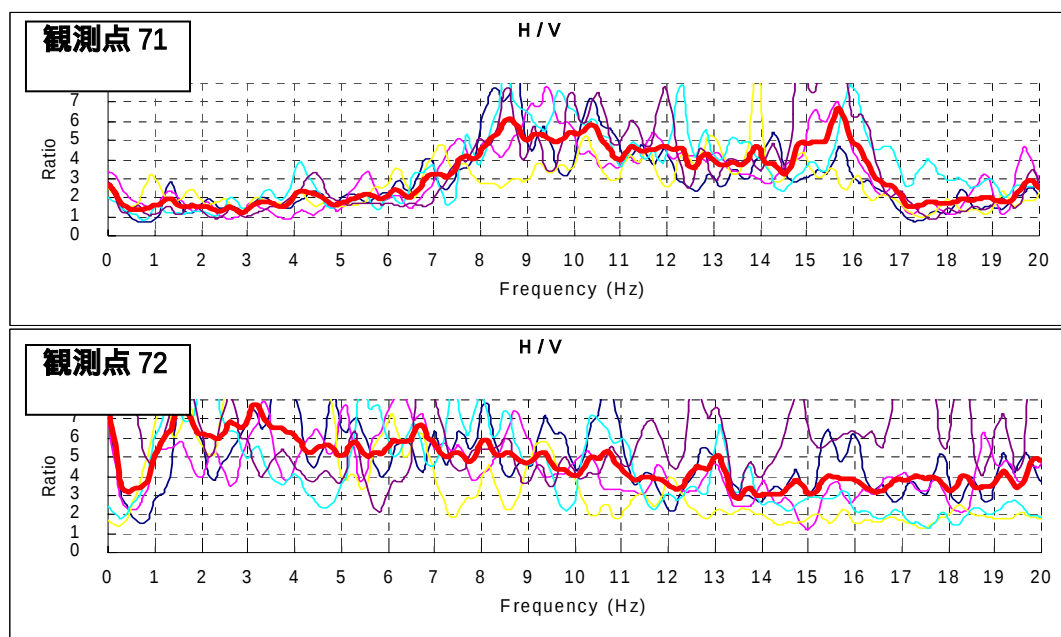


図-9 観測点71,72におけるH/Vグラフ

表-3 観測点と構造物の種類

Map No.(観測点)	構造物の種類
75s1, 75s2, 75s3, 75s4	ヒンドゥー教小寺院
76s1, 76s2	ダム 1
77s1, 77s2	一般家屋(レンガ造)
78s1, 78s2	ダム 2

表-4 各構造物のフーリエスペクトルと各2点間の伝達関数

Map No.	Fourier Spectrum			Transfer Function					
	Peak Frequency (Hz)			1ch/3ch		2ch/3ch		1ch/2ch	
	1ch	2ch	3ch	Peak Frequency (Hz)	Ratio	Peak Frequency (Hz)	Ratio	Peak Frequency (Hz)	Ratio
75s1	9.47	9.47	9.47	11.33	12.64	10.64	2.66	12.35	7.19
75s2	10.11	10.06	10.06	11.52	6.54	11.47	1.87	13.48	5.47
75s3	9.08	9.08	9.08	10.50	8.44	10.50	2.11	11.67	6.70
75s4	10.45	10.45	10.45	12.21	10.56	11.43	2.10	13.23	8.23
76s1	3.08	3.13	3.13	-	-	-	-	-	-
76s2	2.93	2.88	2.88	-	-	-	-	-	-
77s1	7.37	6.05	6.01	7.47	2.80	10.45	1.43	7.86	2.46
77s2	8.06	-	-	8.15	23.50	7.23	1.32	8.15	25.98
78s1	13.87	16.36	16.31	29.10	8.22	16.94	3.53	28.86	4.83
78s2	8.06	8.11	8.06	21.39	6.67	11.87	2.95	21.68	2.44

北側壁面の卓越振動数は、約 9.5Hz(NS 成分)、約 10Hz(EW 成分)で、その差は、0.5Hz となった。

図-13 に 75s1 のフーリエスペクトルのグラフを示す。

東側の壁面についても、NS 成分が約 9Hz、EW 成分が約 10.5Hz で EW 成分の方が大きい結果となった。両成分の卓越振動数の差が約 1.5Hz となり、北側壁面での観測結果に比べて 1Hz 程大きい。これは入口の存在が影響しているものと考えられる。

伝達関数は 4 つ全ての観測結果に大きな違いはなく、3ch と 1ch の間では平均 11.39Hz であった。構造物を下部構造(3ch-2ch 間)と上部構造(2ch-1ch 間)の 2 つに分けて考えると、下部構造の平均は 11.01Hz、上部構造の平均は 12.68Hz であり、上部構造の方が高い周波数帯の増幅が見られた。

3.3.1 ヒンドゥー教小寺院

観測点 75s1 から 75s4 は Plaosan 寺院というヒンドゥー教寺院内に散在する小寺院に対して常時微動観測を行ったものである。4 回の観測は全て同一の小寺院で行われたが、速度計の配置は全て異なっている。小寺院の側面図を図-11に、速度計の配置(上面図)を図-12に示す。

観測点 75s の小寺院は、東側が出入り口になっており、そこから内部に入れる構造になっている。他の 3 面は全て壁面である。観測は北側の壁面(75s1, 75s2)と出入り口のある東側の面(75s3, 75s4)の 2 箇所で行った。なお、この小寺院は上から見るとほぼ正方形で、長軸・短軸の区別が特に見られない構造であった。

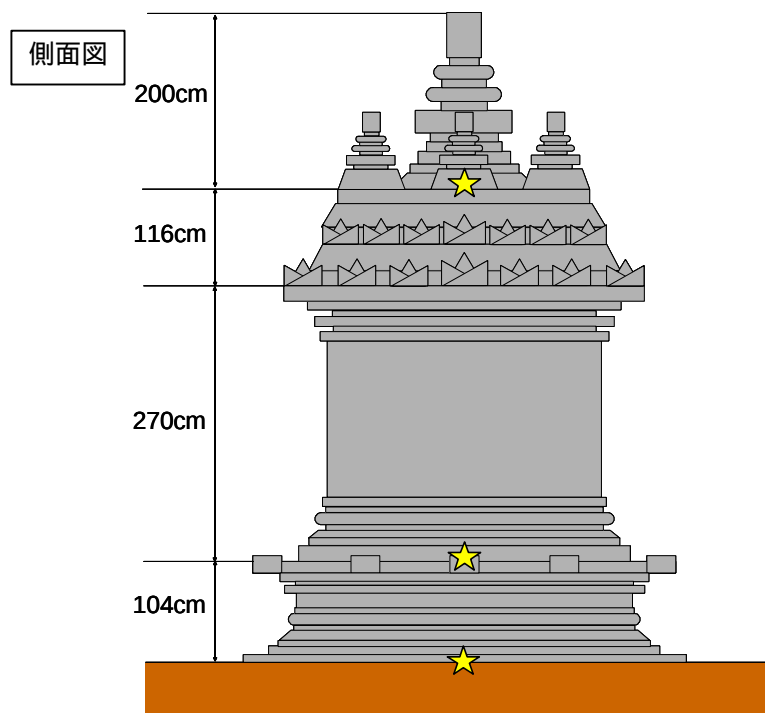


図-11 小寺院の側面図 (☆ は速度計の位置)

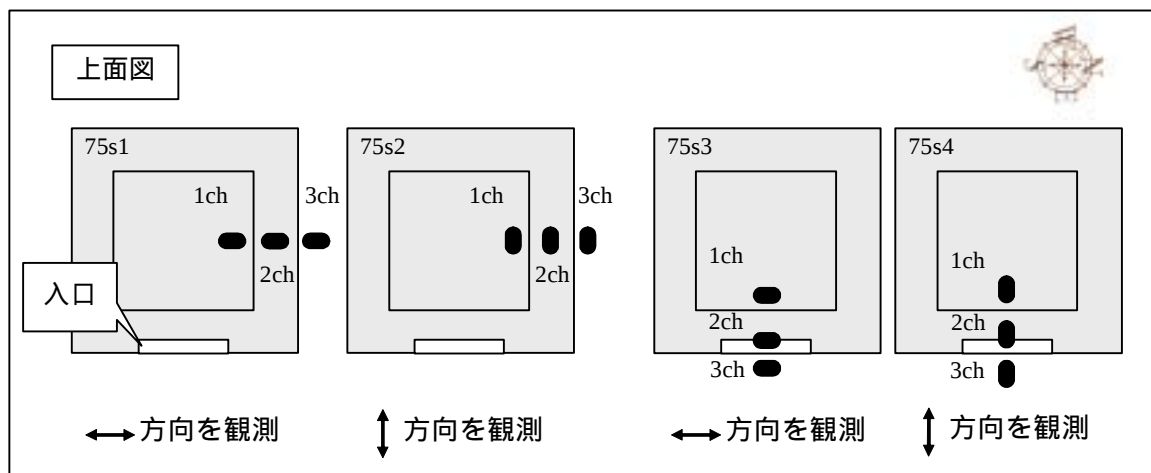


図-12 速度計の配置

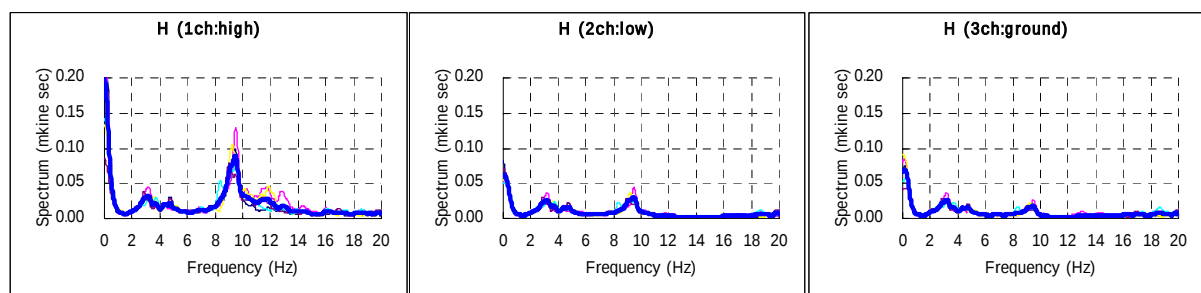


図-13 フーリエスペクトル (75s1)

3.3.2 ダム1

観測点76sのダムはコンクリートで造られたダムである．図-14に側面図・上面図を，図-15にフーリエスペクトルのグラフを示す．短軸方向・長軸方向共に約3Hzで卓越振動数が存在した．

また、伝達関数(図-16)にピークは見られないが、これはコンクリートの剛性が大きいことが原因だと推測される．

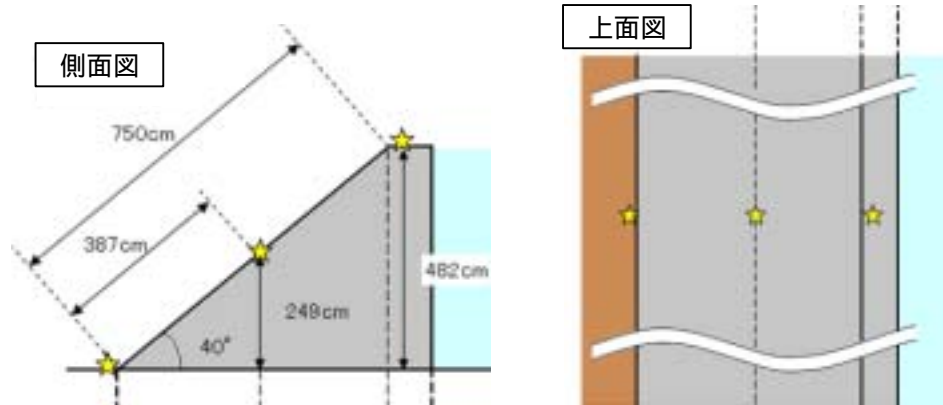


図-14 ダム1の側面図と上面図（ は速度計の位置）

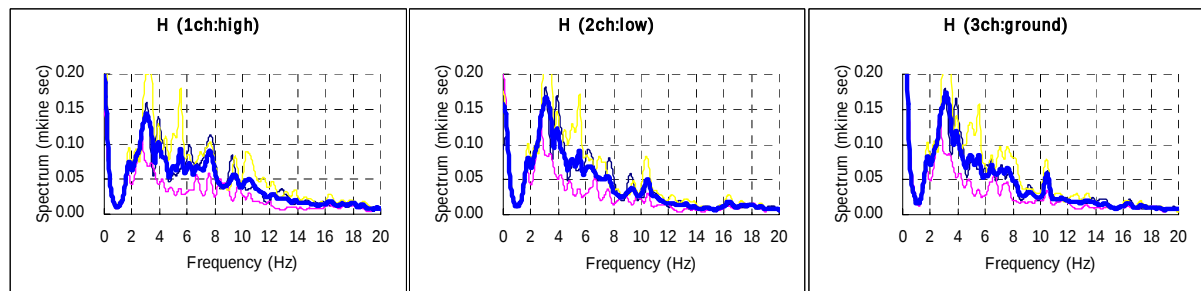


図-15 フーリエスペクトル (76s1:短軸方向)

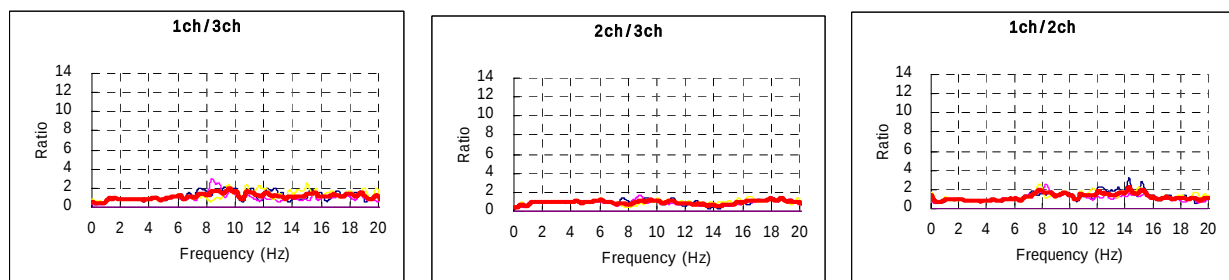


図-16 伝達関数(76s1:短軸方向)

4 . まとめ

広範囲において地盤の卓越振動数および表層厚とせん断波速度の相関を明らかにした．1/4

波長則から Klaten 県周辺は表層厚が厚いか、あるいはせん断波速度が小さいと推測され、地震波の増幅が大きい地域だということがわかった．これは、実際の被害規模とも一致した．Yogyakarta 市の空港の東部は地震による被害は

軽微であったが、 $1/4$ 波長則によると地震波の増幅が見込まれる結果となった。地震の被害規模が地盤特性のみでは説明できないことから、震源特性や伝播特性が大きく影響していると考えられる。

滑り土塊の分布を H/V の卓越振動数から大まかに把握することができた。今後、物理探査等の詳細な調査結果と共に検討を進めて、滑り面の深さや滑動距離を算出したいと考える。

歴史的構造物（小寺院）、ダム地震応答特性を明らかにした。一般家屋の固有振動数はおよそ $6 \sim 8\text{Hz}$ で、日本の木造家屋よりは若干高周波数であることがわかった。また、地盤と家屋の固有振動数はわずか 1Hz しかずれておらず、本地震で被害を受けた多くの家屋の倒壊・全壊の一因として共振現象の影響も考えられる。本調査では RC や木造の家屋に対しては常時微動観測を実施しておらず、今後、これらの構造物に対しても地震応答特性を明確にしていきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり多大な協力をいただいた岩楯研究室・吉嶺研究室の学生達、および現地 Islamic University of Indonesia の Widodo 博士、Edy 博士、その他の先生方、土木工学科の学生の皆様、運転手の方々に深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高田至郎，楢田泰子，田熊靖史，柴田安啓，上野淳一：ジャワ島中部地震における地震動特性とライフライン被害，神戸大学ジャワ島中部地震調査最終報告書，2006，pp.16.
- 2) 名古屋大学環境学研究科附属地震火山・防災センター：2006年中部ジャワ・ジョグジャカルタ地震の緊急調査，2006，pp.3.

THE SEISMIC RESPONSE CHARACTERISTICS OF THE SURFACE GROUND AND THE STRUCTURES ASSESSED BY MICROTREMOR MEASUREMENT - THE 2006 MID JAVA EARTHQUAKE -

SUZUKI Kenichi IWATATE Takahiro, YOSHIMINE Mitsutoshi, and
ODA Yoshiya

We conducted microtremor measurements in areas devastated by the May 2006 Mid Java Earthquake in order to estimate the correlation between the result of measurements and damage. We showed that we could estimate the seismic response characteristics of the surface ground over the huge area and there was strong correlation between those two overall. The reason why we could not see some correlation in a particular area is seemed to be because of the source property and the propagation property. In a landslide region, we could roughly estimate the amount of sliding soil mass by using quarter-wavelength method. Besides, we could estimate the seismic response characteristics of some structures: historic architecture, dam and typical house (brick masonry), and as the result, we showed that there was a possibility that resonance would happen during earthquake.