

津波避難困難時間に影響を及ぼす 強震動の周波数帯域に関する基礎的検討

湊 文博¹・秦 吉弥²・藤木 昂³・山田 雅行⁴・
鋤田 泰子⁵・小山 真紀⁶・中嶋 唯貴⁷・常田 賢一⁸

¹ 学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: fminato@civil.eng.osaka-u.ac.jp

² 正会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³ 学生会員 大阪大学 工学部 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: afujiki@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁴ 正会員 (株)ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20)
E-mail: yamadams@newjec.co.jp

⁵ 正会員 神戸大学 大学院工学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1)
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

⁶ 正会員 岐阜大学 流域圏科学研究センター (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
E-mail: maki_k@gifu-u.ac.jp

⁷ 北海道大学 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8)
E-mail: nakashima@eng.hokudai.ac.jp

⁸ フェロー会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震による宮城県石巻市および仙台市の主に津波来襲地域において観測された強震動を対象に、強震動作用中の避難困難時間に大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域について基礎的な検討を行った。さらに、当該地域において高密度常時微動計測を実施し、避難困難時間に影響する周波数帯域に着目した地盤震動特性に関するゾーニングを行うことで、本震時における当該地域での避難困難時間の分布を推定した。その結果、当該地域内における地盤震動特性の違いなどに起因して、推定された津波避難困難時間の分布に比較的大きな差異が見受けられることなどが明らかとなった。

Key Words : frequency component, microtremor H/V spectrum, tsunami evacuation, DGS value, ground-shaking zoning, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

1. はじめに

近年、南海トラフ沿いの海溝型巨大地震(以後、南海トラフ巨大地震と呼ぶ)の発生により、非常に大きな強震動の作用とともに、主に沿岸部では巨大津波の来襲についても同時に予想されており、前者の強震動の作用が後者の津波避難に影響を及ぼすことが懸念される。この点に関して著者ほか¹⁾⁶⁾は、1993年北海道南西沖地震による強震動評価および南海トラフ巨大地震による強震動予測を実施し、強震動の作用が津波避難困難時間に及ぼす影響について検討を行っている。しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震によって観測された強震動に関する検討を未だ実施していないだけでなく、避難困難時間

の算定に大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域についてもこれまで十分な議論が行われていない。

そこで本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震における宮城県内の主要な津波来襲地域である石巻市街地⁷⁾および仙台市沿岸部⁸⁾を対象地域として、本震時に観測された強震動を分析することで、避難困難時間の算定に比較的大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域に関する基礎的な検討を行った。さらに、対象地域において高密度常時微動計測を実施し、上記の避難困難時間に影響を及ぼす周波数帯域に着目した地盤震動特性(常時微動H/Vスペクトルの特性)に関するゾーニングをDGS値⁹⁾に基づいて行うことで、対象地域における本震時の強震動作用中の避難困難時間の分布を推定した。

2. 避難困難時間の算定

図-1および図-2は、対象地域である石巻市街地および仙台市沿岸部における既存強震観測点(K-NET観測点¹⁰⁾、JMA観測点¹¹⁾、MLIT観測点¹²⁾、Small-Titan観測点¹³⁾、NEXCO観測点¹⁴⁾および臨時余震観測点¹⁵⁾¹⁶⁾の分布である。既存強震観測点では本震記録が得られているのに対し(以後、観測地震動と呼ぶ)、臨時余震観測点(雲雀野埠頭および五柱神社)では本震後に臨時余震観測が行われ、得られた余震記録に基づいて本震時に当該地点に作用した強震動が野津・若井¹⁵⁾および秦ほか¹⁶⁾によって評価されている(以後、推定地震動と呼ぶ)。

図-3(a),(b),(c)および図-4(a),(b),(c)には、石巻市街地および仙台市沿岸部における観測地震動の一例として、K-NET石巻およびSmall-Titan荒浜小学校での地震加速度波形(N-S, E-W, U-D成分)を示す。図-3(a),(b),(c)と図-4(a),(b),(c)を比較すると、両地点における観測地震動の加速度振幅は概ね同程度であるものの、波形形状が大きく異なっていることが読み取れる。

図-3(d)および図-4(d)は、K-NET石巻およびSmall-Titan荒浜小学校で得られた観測地震動(図-3(a),(b),(c)および図-4(a),(b),(c)参照)に対して避難困難時間を解析した結果である。ここに、避難困難時間は、三成分合成による瞬間計測震度¹⁷⁾の時刻歴を計算し(図-3(d)および図-4(d)の一例参照)、瞬間計測震度が最初に4.0を上回り・最後に4.0を下回るまでの連続時間(先行研究¹⁸⁾)による知見を参考に4.0と設定)とした。対象地域における観測地震動および推定地震動に対して上記と同様の解析を実施した結果、表-1に示す避難困難時間が算定された。

表-1に示すとおり、対象地域として選定した石巻市街地と仙台市沿岸部における避難困難時間は同程度の算定値(150s程度)を示している。一方で、同じ地域内(石巻市街地内もしくは仙台沿岸部内)では避難困難時間の算定値に有意な差異が生じる結果となっている。特に、石巻市街地では津波来襲地域(K-NET石巻、MLIT北上川下流、雲雀野埠頭)と津波非来襲地域(JMA石巻)では避難困難時間の差異が非常に大きくなっているのが読み取れる。同じ地域内における避難困難時間の差異に関する主要因は、地盤震動特性の差異であると推察できることから、対象地域内において高密度常時微動計測(3.参照)を行った。

3. 高密度常時微動計測

常時微動計測は、石巻市街地(280地点)および仙台市沿岸部(221地点)の計501地点において実施した。図-1およ

表-1 避難困難時間の算定値の一覧

既存強震観測点名 臨時余震観測点名	避難困難時間 の算定値 (s)
雲雀野埠頭	140.1
K-NET石巻	156.2
MLIT北上川下流	140.4
JMA石巻	106.1
五柱神社	143.6
Small-Titan東四郎丸小学校	135.3
Small-Titan荒浜小学校	134.6
Small-Titan七郷中学校	165.6
NEXCO仙台東IC	152.5

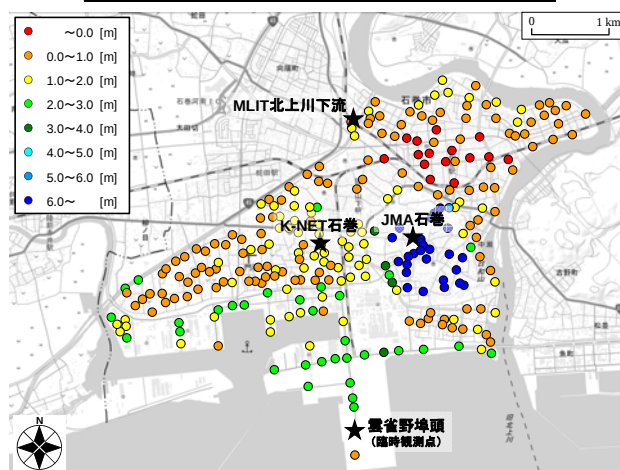


図-1 対象地域における標高値の分布(石巻市街地)

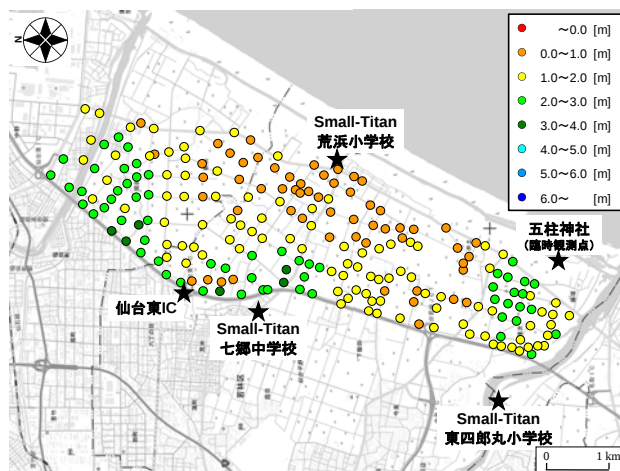


図-2 対象地域における標高値の分布(仙台沿岸部)



写真-1 常時微動計測状況の一例(石巻市街地内)

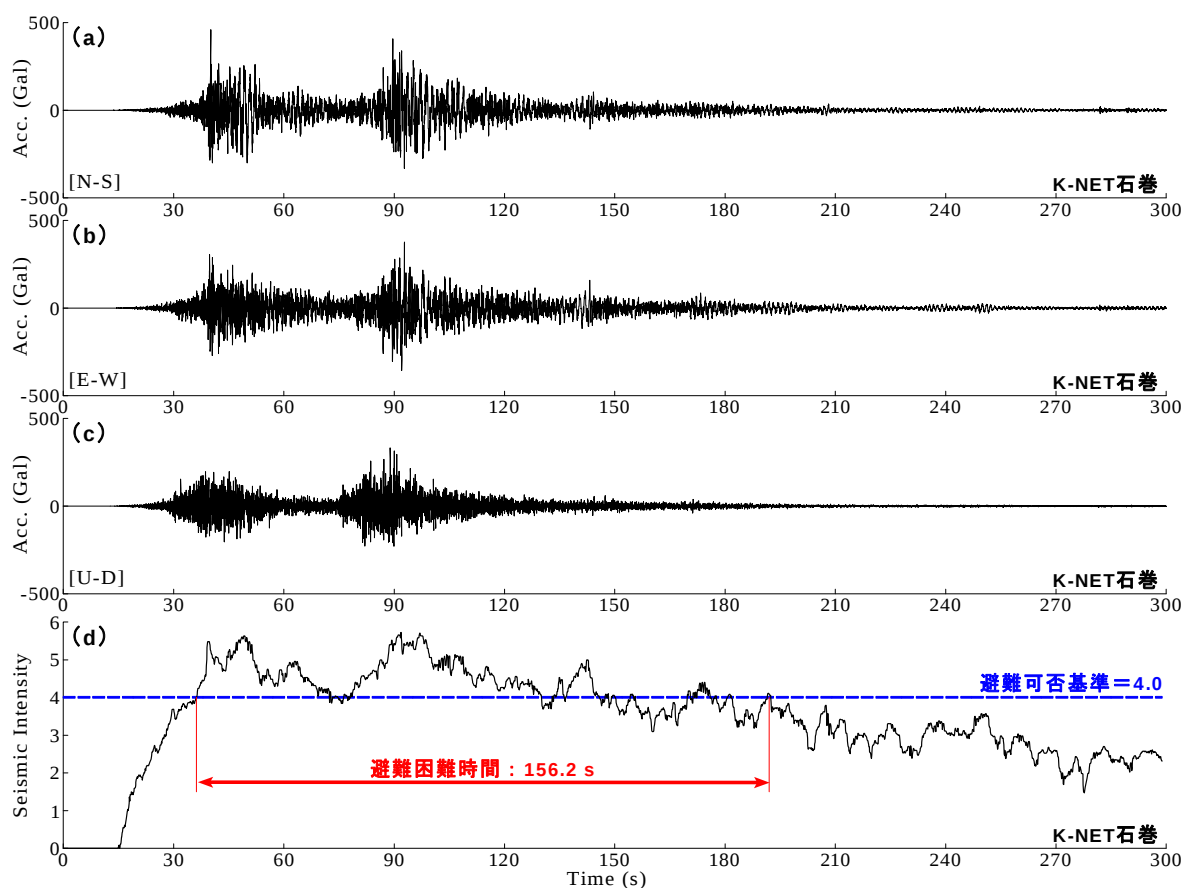


図-3 避難困難時間の算定例(K-NET石巻におけるフィルタ処理無しのオリジナル入力波)

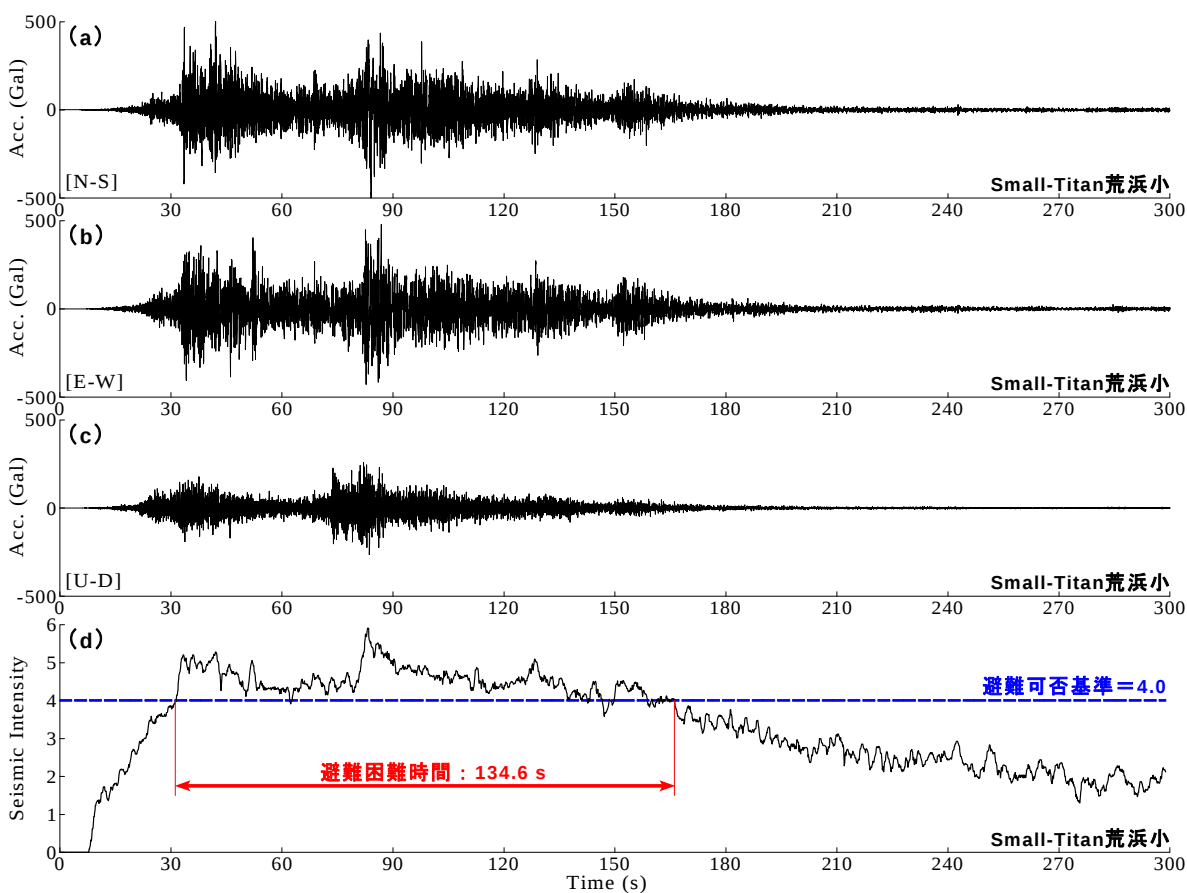


図-4 避難困難時間の算定例(Small-Titan荒浜小学校におけるフィルタ処理無しのオリジナル入力波)

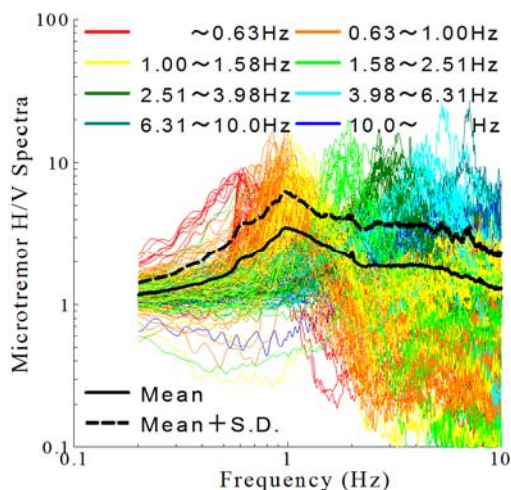


図-5 常時微動H/Vスペクトルの比較(石巻市街地)

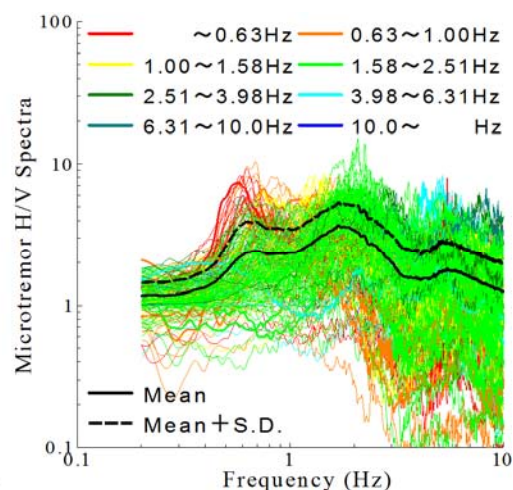


図-6 常時微動H/Vスペクトルの比較(仙台市沿岸部)

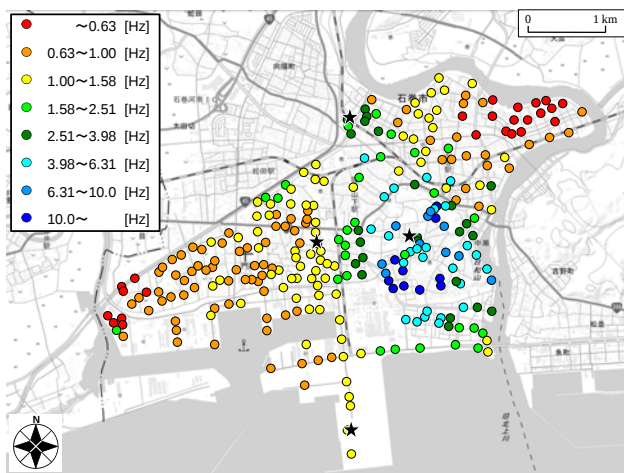


図-7 H/Vスペクトルのピーク周波数の比較(石巻市街地)

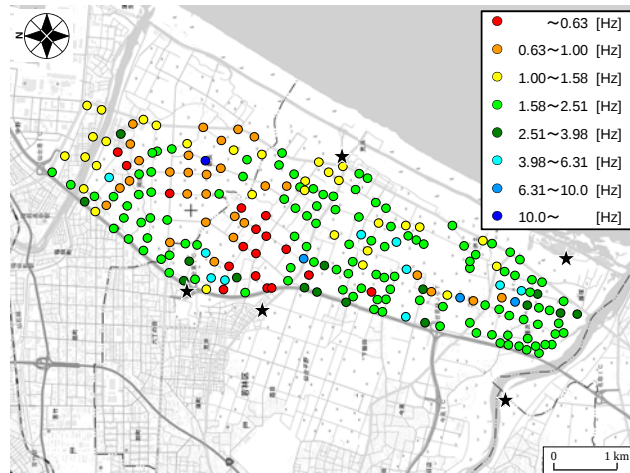


図-8 H/Vスペクトルのピーク周波数の比較(仙台市沿岸部)

び図-2に石巻市街地および仙台市沿岸部における常時微動計測地点の分布を標高値とともに示す。写真-1に常時微動計測状況の一例を示す。計測期間は、2015年12月4～6日(石巻市街地)および2015年12月10～12日(仙台市沿岸部)のともに3日間である。計測は主に昼間に実施し、同型の6台の微動計(6台ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器¹⁹⁾)を採用した。計測機器の諸元については、文献19)を参照されたい。計測方向は水平二成分と鉛直成分の計三成分であり、後述する常時微動H/Vスペクトルの計算では、水平二成分の平均をとった。計測時間は、1計測点あたり約30分間の単点計測とした。

図-5および図-6は、石巻市街地(280地点)および仙台市沿岸部(221地点)における常時微動H/Vスペクトルを重ね合せたものである。常時微動H/Vスペクトルの計算処理方法²⁰⁾としては、まず、微動の加速度時刻歴に対して0.1 Hzのハイ・パスフィルターを施し、163.84秒の区間(雑振動(望ましくないノイズ等)が小さい163.84秒間)を7区間抽出し、フーリエスペクトルの計算を行い、バンド幅0.05HzのParzen Windowで平滑化したのちに、H/Vスペクトルを算出し、7区間の平均をとった。評価振動数の範

囲としては、使用した微動計測器の性能¹⁹⁾などを考慮して0.2～10Hzとした。図-5および図-6に示すとおり、同じ対象地域内(石巻市街地内もしくは仙台市沿岸部内)においても、常時微動H/Vスペクトルの特性(ピーク周波数やスペクトル形状など)が明らかに異なっているのが確認できることから、対象地域内における地盤震動特性が一様であるとは言い難い。ここに、全280地点(石巻市街地)および全221地点(仙台市沿岸部)における詳細な位置情報(付録図-1および付録図-2参照)と常時微動H/Vスペクトルの一覧(付録図-3～10および付録図-11～16参照)については、本稿巻末に掲載されている付録図(付録図-1～16参照)をそれぞれ参照されたい。

図-7および図-8は、石巻市街地および仙台市沿岸部における常時微動H/Vスペクトル(図-5および図-6参照)のピーク周波数を地形図上にプロットしたものである。図-7と図-1を比較すると、石巻市街地では、JMA石巻(津波非来襲区域)周辺の標高が高い地域において比較的高周波数帯域が卓越しているのがわかる。一方で、図-8と図-2を比較すると、仙台市沿岸部では、標高値とピーク周波数に明らかな関係性を見出すことはできない。

図-9、図-10、図-11は、①産総研地質図²⁾、②表層地質図²⁾、③地形図²⁾による分類に対して、石巻市街地における既存強震観測点および臨時余震観測点の位置情報(図-1参照)を重ね合せたものである。図-7と図-9～図-11を比較すると、N2の堆積岩類(図-9参照)、礫岩・砂岩(図-10参照)、丘陵地(図-11参照)で区分される地域とその地域に対応するピーク周波数が比較的良好の関係性を示しているものの、その他の地域では各種分類に対する明

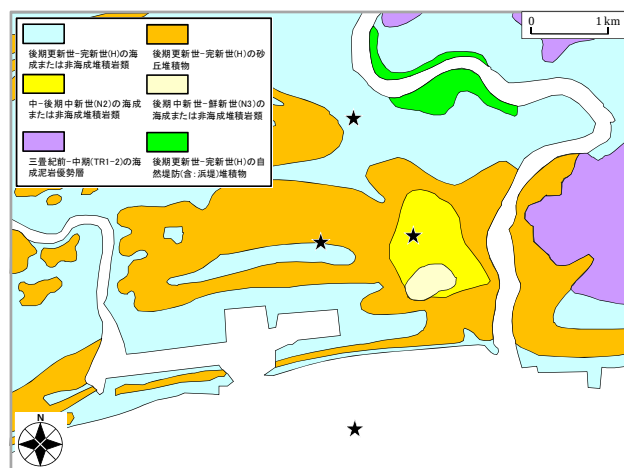


図-9 産総研地質図²⁾による分類(石巻市街地)

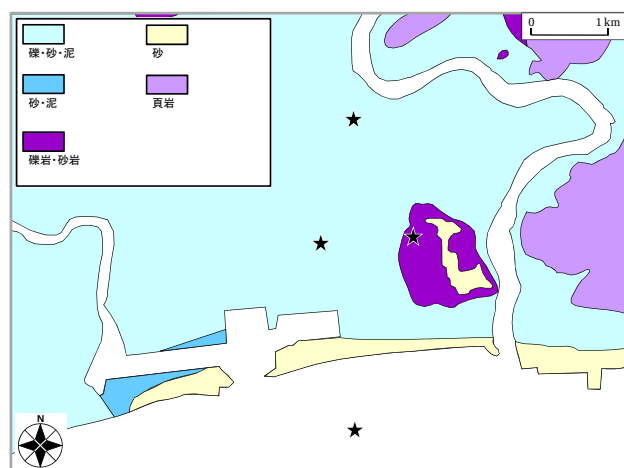


図-10 表層地質図²⁾による分類(石巻市街地)

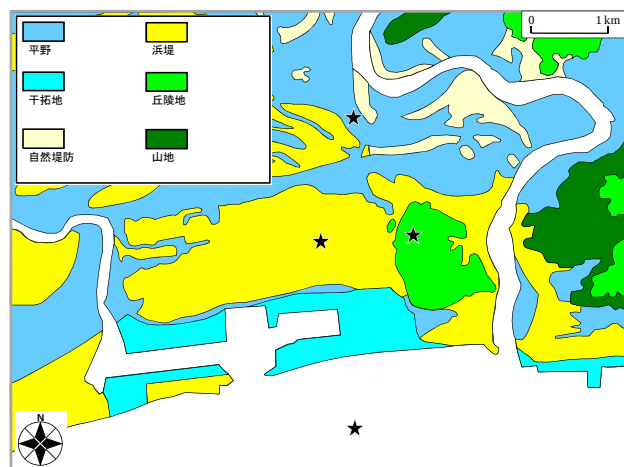


図-11 地形図²⁾による分類(石巻市街地)

らかな関係性を確認することはできない。

一方で、図-12、図-13、図-14は、上記(図-9、図-10、図-11参照)と同様の検討を仙台市沿岸部に対して行ったものである。図-8と図-12～図-14を比較すると、高密度常時微動計測を広域・高密度に実施した地域は、Hの堆積岩類(図-12参照)、中粒砂・細粒砂(図-13参照)、海岸平野(図-14参照)で区分される概ね一つの地域で代表することができ、ピーク周波数の分布を各種分類図によ

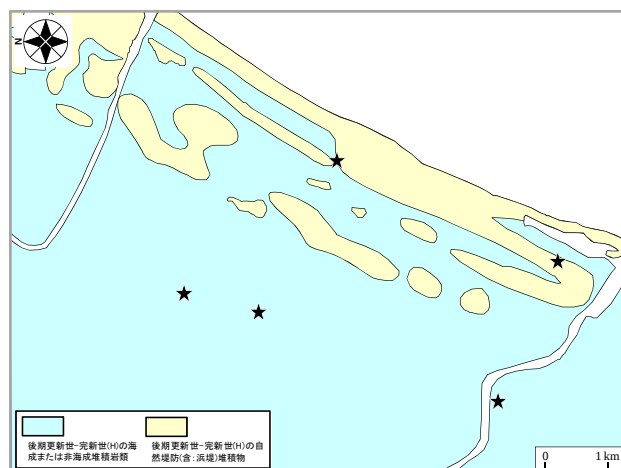


図-12 産総研地質図²⁾による分類(仙台市沿岸部)

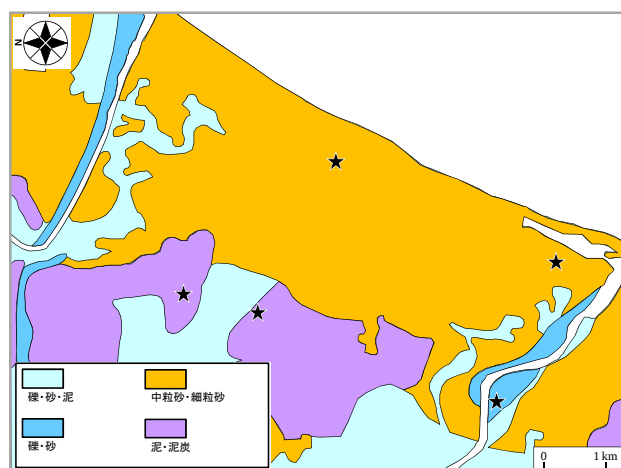


図-13 表層地質図²⁾による分類(仙台市沿岸部)

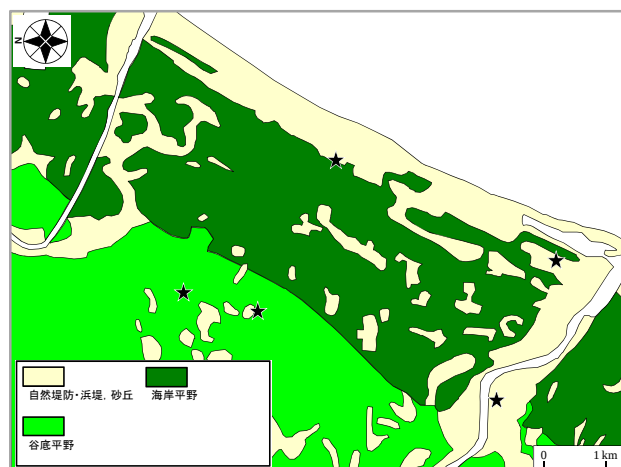


図-14 地形図²⁾による分類(仙台市沿岸部)

て区分することが困難であることが読み取れる。

上記の知見によれば、対象地域内(石巻市街地内もしくは仙台市沿岸部内)における常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数のバラツキ、すなわち地盤震動特性の差異が確認できるものの、既存資料に基づいた机上検討だけでは、対象地域内での地盤震動特性に関する区分・ゾーニングが困難であることを裏付ける結果が得られた。この結果を踏まえ、常時微動H/Vスペクトルの特性に基づいて対象地域のゾーニングを施す際に着目する周波数帯域(すなわち、避難困難時間に影響を及ぼす地震動の周波数帯域)に関する検討(4.参照)を行った。

4. 避難困難時間に影響する地震動の周波数帯域

避難困難時間の算定に比較的大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域について検討を行うために、入力地震動として、オリジナル波形(2.で述べた仙台市沿岸域および石巻市街地での観測地震動・推定地震動)のほかに、オリジナル波形に対して、0.10, 0.13, 0.16, 0.20, 0.25, 0.32, 0.40, 0.50, 0.63, 0.79, 1.00, 1.26, 1.58, 2.00, 2.51, 3.16, 3.98, 5.01, 6.31, 7.94, 10.0Hzの計21種類のローパスフィルターをそれぞれ施した波を採用した。すなわち、オリジナル波形を含めて198波(9(地震観測点数)×22(波形種類数))を入力地震動として採用することとした。

図-15は、避難困難時間比と入力地震動のカットオフ周波数の関係を示す。ここに、避難困難時間比は、上述した周波数(計21種類)においてフィルターカットオフされた入力地震波(K-NET石巻およびSmall-Titan荒浜小学校での事例：図-16および図-17参照)による避難困難時間を、フィルタ処理無しのオリジナル入力波による避難困難時間(表-1参照)で除したものである。

図-15に示すように、概ね0.3～2Hzの周波数帯域において避難困難時間比の急激な増加傾向が確認できる。こ

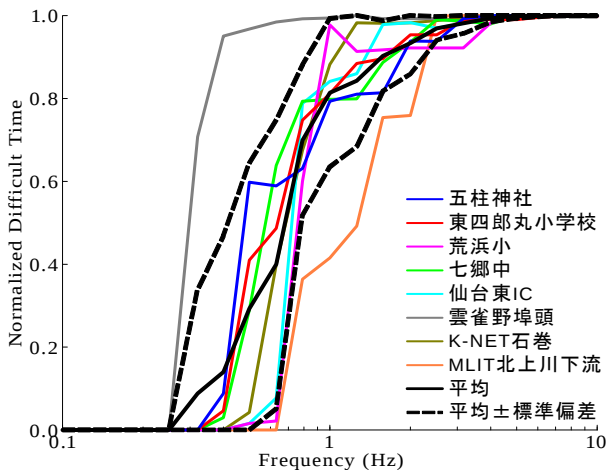


図-15 避難困難時間に影響を及ぼす地震動の周波数帯域

の傾向は、対象とした既存強震観測点および臨時余震観測点においてほぼ共通となっている。これは、避難困難時間の算定に比較的大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域が0.3～2Hzであることを示唆するものである。上記の知見を踏まえ、0.3～2Hzの周波数帯域に着目した常時微動H/Vスペクトルの特性に関するゾーニング(5.参照)を対象地域内において行うこととした。

5. 地盤震動特性によるゾーニング

本検討では、図-18および図-19に示すように、石巻市街地もしくは仙台市沿岸部での常時微動H/Vスペクトルの特性に基づいて、地盤震動特性によるゾーニングを実施した。ゾーニングの方法としては、DGS値⁹⁾を用いた定量的方法²³⁾²⁴⁾を採用した。DGS値は、常時微動H/Vスペクトルの二地点間(既存強震観測点・臨時余震観測点STAと常時微動計測地点P)の比率の常用対数を取り、4.で得られた知見を踏まえて0.3～2Hzの周波数範囲内において積分した値であり、式(1)(石巻市街地に対応)もしくは式(2)(仙台市沿岸部に対応)を用いて表わされる。

$$DGS = \sum \left| \log \left(\frac{R_{P_001-280}(f)}{R_{STA_1-4}(f)} \right) \right| \cdot \Delta f \quad (1)$$

$$DGS = \sum \left| \log \left(\frac{R_{P_001-221}(f)}{R_{STA_1-5}(f)} \right) \right| \cdot \Delta f \quad (2)$$

ここに、P_001-280およびP_001-221は石巻市街地および仙台市沿岸部における常時微動計測地点(図-7および図-8参照)、STA_1-4およびSTA_1-5は石巻市街地および仙台市沿岸部における地震観測点(既存強震観測点・臨時余震観測点：図-1および図-2参照)である。よって、式(1)もしくは式(2)に基づけば、地震観測点ではDGS値は0.0となる。

式(1)を用いて、まず、常時微動の各計測点(P_001-280もしくはP_001-221)におけるDGS値を各地震観測点(STA_1-4もしくはSTA_1-5)に対してそれぞれ計算し(すなわち、微動計測点毎に4つもしくは5つのDGS値を持つことになる)、次に、4つもしくは5つの地震観測点にそれぞれ対応する4つもしくは5つのDGS値の中から最も小さな値となる地震観測点を微動計測点毎に選択し、石巻市街地もしくは仙台市沿岸部を4つもしくは5つのゾーンに分割した(図-18および図-19参照)。

図-18に示すように、石巻市街地では、K-NET石巻を基準としてゾーニングされた西側エリアにおいて避難困難時間が比較的に長くなっている。一方で、図-19に示すように、仙台市沿岸部では、仙台東ICを基準としてゾー

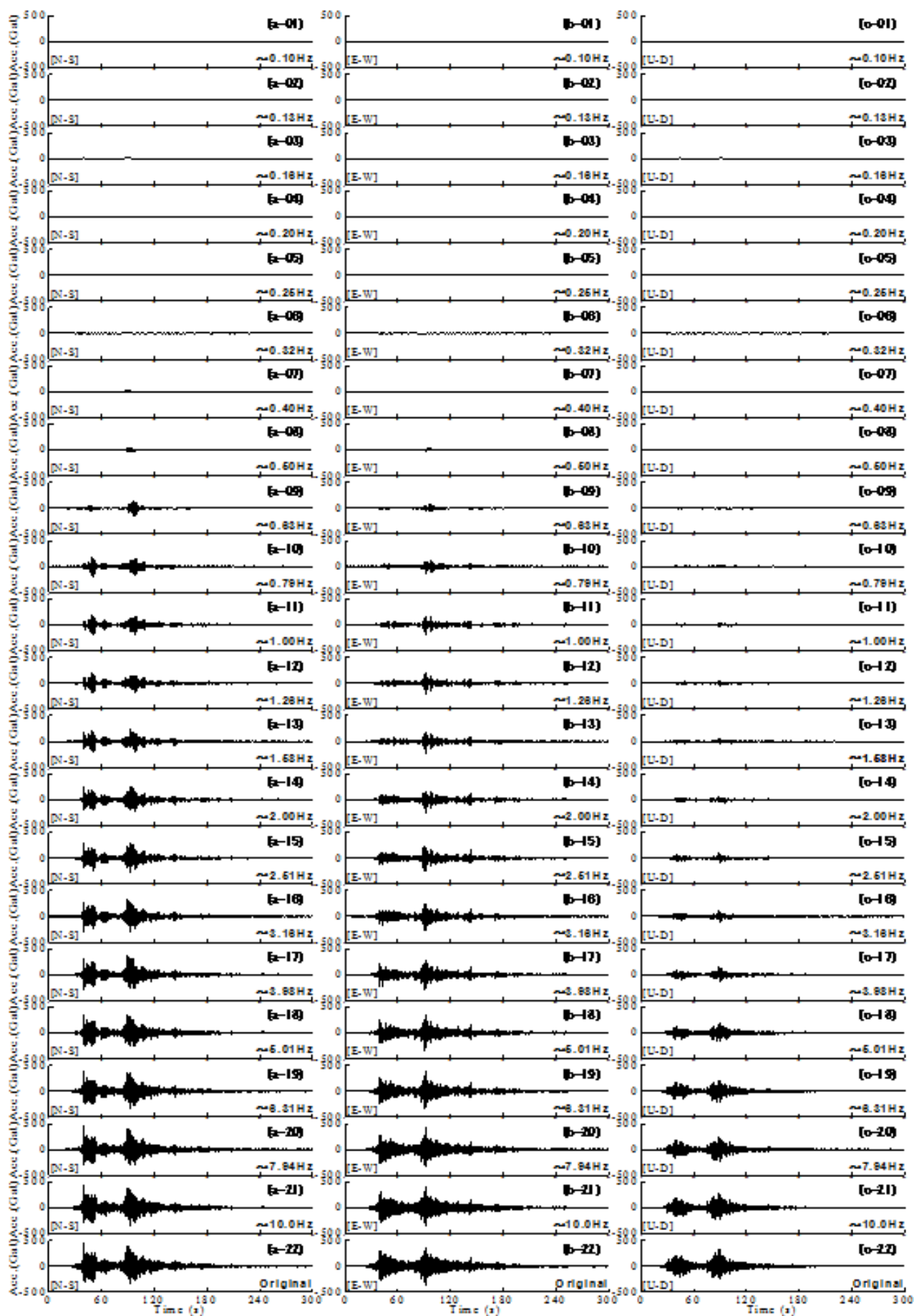


図-16 フィルターカットオフされた入力地震波の比較(K-NET石巻)

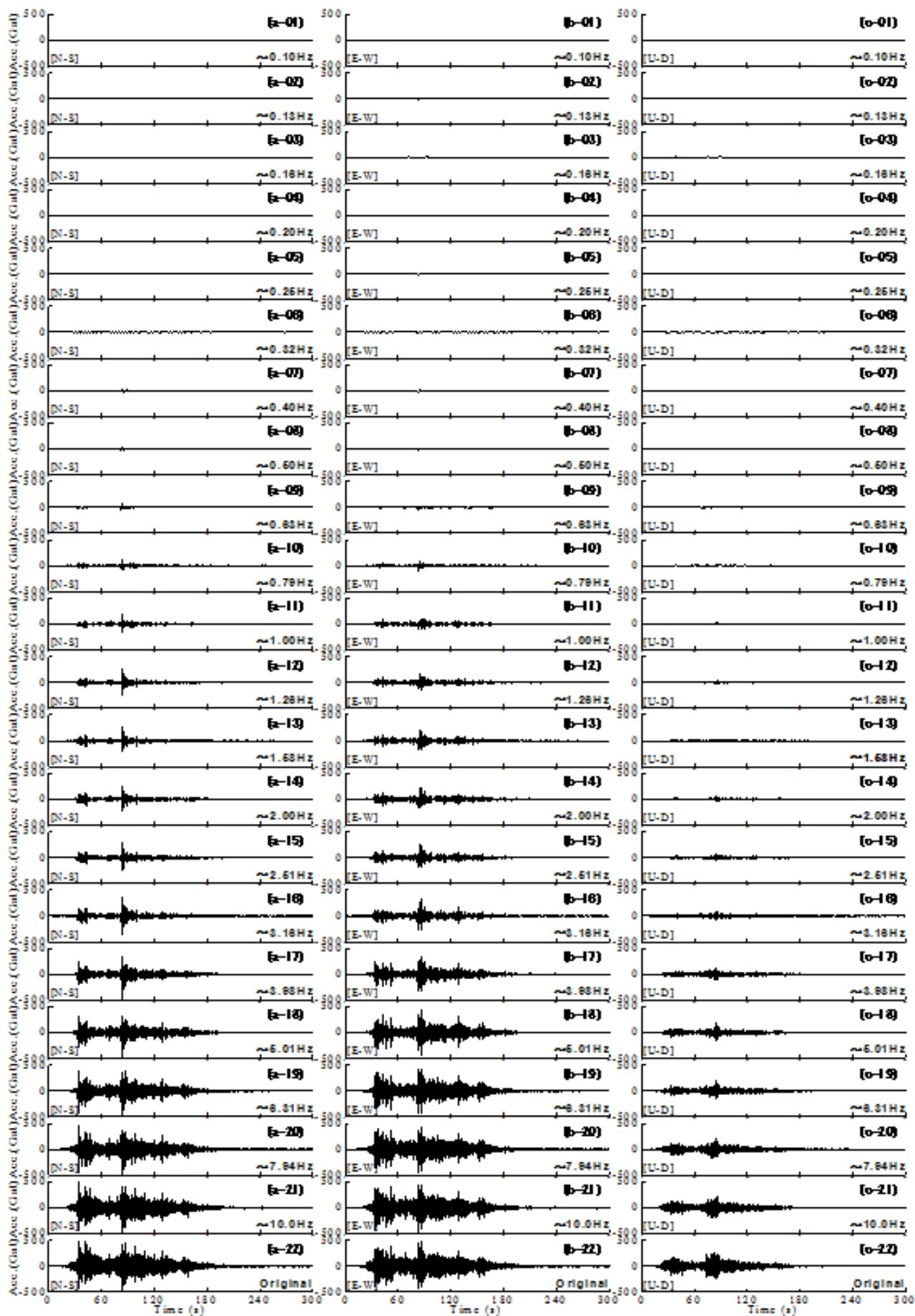


図-17 フィルターカットオフされた入力地震波の比較(Small-Titan荒浜小学校)

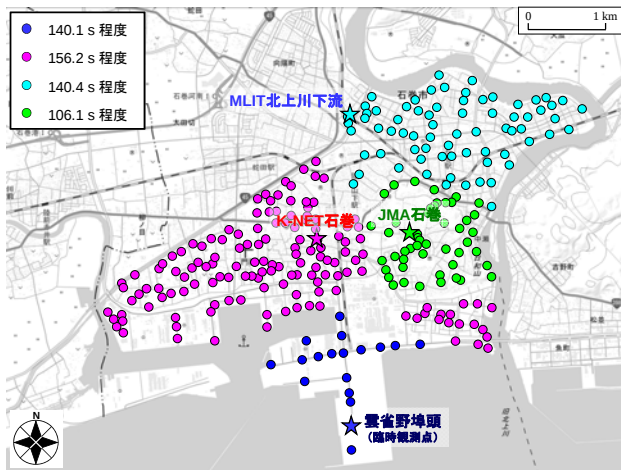


図-18 避難困難時間に着目したゾーニング(石巻市街地)

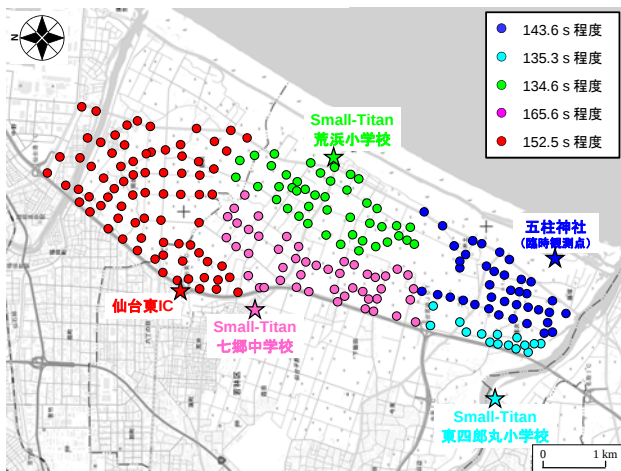


図-19 避難困難時間に着目したゾーニング(仙台市沿岸部)

ニングされた北側エリアおよびSmall-Titan七郷中学校を基準としてゾーニングされた西側エリアにおいてそれぞれ避難困難時間が比較적으로長くなっている。なお、同じゾーニングエリア内においても、地盤震動特性(サイト増幅・位相特性)の違いに主に起因して避難困難時間が異なっている可能性があるが、先行研究による知見⁹⁾を踏まえれば、常時微動計測の結果に基づいた避難困難時間の評価を行うことで、一定の精度を確保できていると考えている。

6. まとめ

本稿では、石巻市街地および仙台市沿岸部を対象地域として、2011年東北地方太平洋沖地震による観測地震動・推定地震動に基づいて避難困難時間の算定に比較的大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域について基礎的な検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 石巻市街地および仙台市沿岸部における平均的な避難困難時間の算定値は同程度(150s程度)である。ただし、同じ地域内においても地盤震動特性の違いに

主に起因して、避難困難時間の算定値に有意な差異(石巻市街地において最大50s程度)が生じている。

- (2) 石巻市街地内および仙台市沿岸部内での常時微動H/Vスペクトルの特性は様ではなく、地形や地質などの区分に対する類似性は見受けられない。
- (3) 避難困難時間の算定に比較的大きな影響を及ぼす地震動の周波数帯域は、0.3~2Hzである。
- (4) 上記(3)の知見を踏まえ、常時微動H/Vスペクトルの特性に関するゾーニングを施した結果、石巻市街地ではK-NET石巻を基準とする西側エリア、仙台市沿岸部では仙台東ICを基準とする北側エリアおよびSmall-Titan七郷中学校を基準とする西側エリアでは、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動の作用による避難困難時間が比較的に長かったものと推察できる。

石巻市街地および仙台市沿岸部では、いずれも津波避難施設(津波避難タワー等)の新設が計画・実施されており、本稿で得られた知見は、津波来襲地域および津波来襲予想地域における地震防災を考える上での一助となることが期待できる。

謝辞：(国研)防災科学技術研究所K-NET、気象庁JMA、国土交通省MLIT、東北工業大学Small-Titan、NEXCO東日本によって得られた地震観測波形データを利用しました。現地踏査や常時微動計測の実施にあたっては、石巻市および仙台市の住民の皆様にご多大のお世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 湊文博，秦吉弥，山田雅行，鍛田泰子，小山真紀，中嶋唯貴，常田賢一：高密度常時微動計測に基づく1993年北海道南西沖地震における奥尻島青苗地区での強震動と避難不可能時間の評価，土木学会論文集A1，Vol.72，No.4，pp.I-884-894，2016。
- 2) 秦吉弥，湊文博，村上啓介，山田雅行，鍛田泰子，小山真紀，中嶋唯貴，常田賢一：臨時地震観測に基づく宮崎市街地の津波避難困難区域におけるサイト増幅特性の評価，土木学会第71回年次学術講演会講演概要集，I-149，pp.297-298，2016。
- 3) 秦吉弥，中嶋唯貴，湊文博，小山真紀，鍛田泰子，常田賢一：高密度臨時地震観測に基づく南海トラフ巨大地震における高知県南国市津波来襲予想地域での強震動の評価，第36回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，2016。[in this issue]
- 4) 湊文博，秦吉弥，常田賢一，鍛田泰子，小山真紀，植田裕也：高密度常時微動計測・臨時地震観測に基づく南海トラフ巨大地震における和歌山県広川町での津波避難不可能時間算出のための強震動評価，土木学会論文集A1，Vol.72，No.4，pp.I-68-81，2016。
- 5) 湊文博，秦吉弥，山田雅行，常田賢一，鍛田泰子，魚谷真基：高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町における南海トラフ巨大地震の強震動評価と津波避難に及ぼす影響，土木学会論文集A1，Vol.71，

No.4, pp.123-135, 2015.

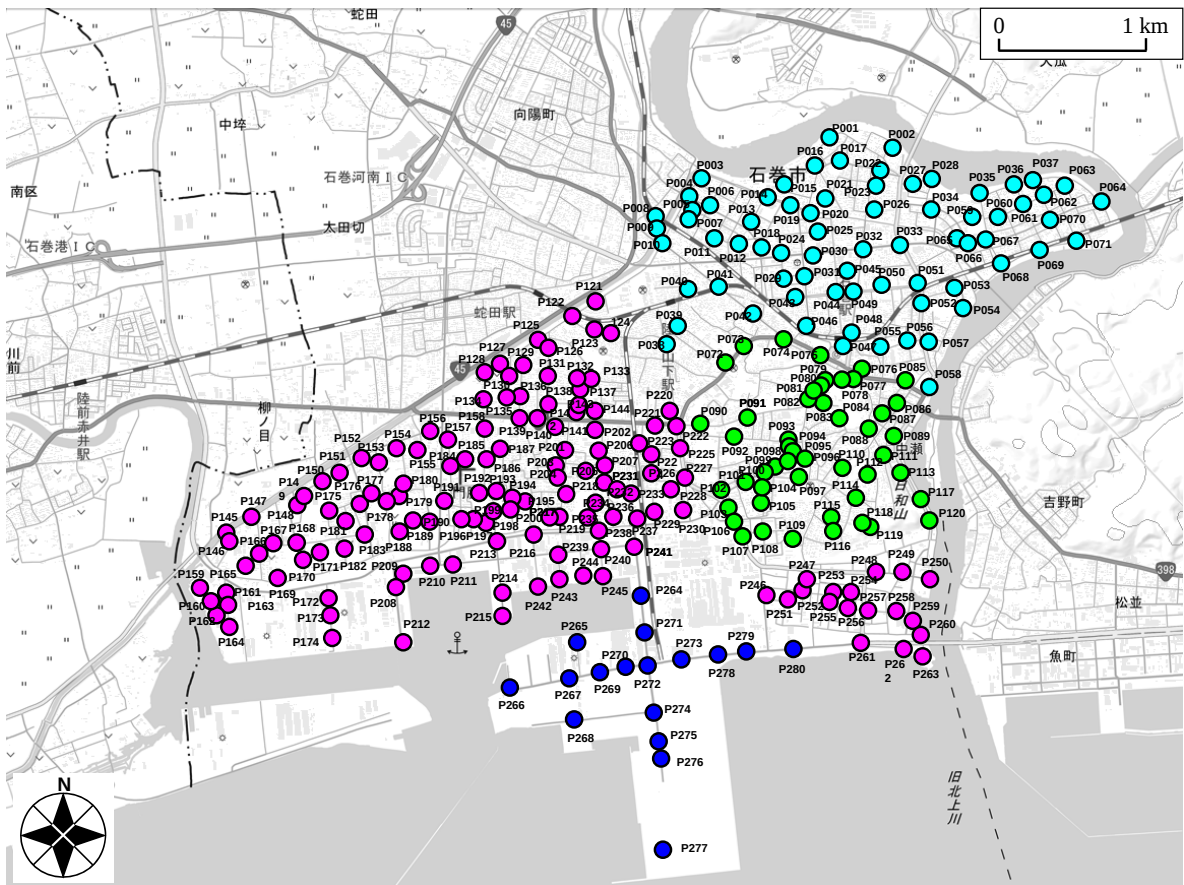
- 6) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 鉦田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一: 強震動作用中の津波避難困難時間に関する評価精度とその向上策—南海トラフ巨大地震における駿河湾沿岸域を対象として—, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.62A, pp.259-272, 2016.
- 7) 湊文博, 秦吉弥, 藤木昂, 山田雅行, 鉦田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一: 津波避難困難時間に影響を及ぼす地震動の周波数帯域に関する評価—石巻市街地を例として—, 平成 28 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, No.0321, 2016.
- 8) 湊文博, 秦吉弥, 藤木昂, 山田雅行, 鉦田泰子, 小山真紀, 中嶋唯貴, 常田賢一: 津波避難困難時間に影響を及ぼす地震動の周波数帯域に関する評価—仙台市沿岸域を例として—, 第 51 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1901-1902, 2016.
- 9) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: Variation of earthquake ground motions within very small distance, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.66, pp.429-442, 2014.
- 10) Aoi, S., Kunugi, T., and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiK-net, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.
- 11) Nishimae, Y.: Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.75-78, 2004.
- 12) Uehara, H. and Kusakabe, T.: Observation of strong earthquake motion by National Institute for Land and Infrastructure Management, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.90-96, 2004.
- 13) 例えば, 神山眞, 莊司雄一, 松川忠司, 浅田秋江, 中居尚彦: オンラインアレー地震観測システムの構築とその記録の若干の考察, 土木学会論文集, No. 688, pp.283-298, 2001.
- 14) 秦吉弥, 高橋良和, 後藤浩之, 野津厚: 余震観測記録に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震におけるゴム系支承の被災橋梁での地震動の評価, 日本地震工学会論文集, Vol.13, No.3, pp.30-56, 2013.
- 15) 野津厚, 若井淳: 東日本大震災で被災した港湾における地震動特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1244, 2011.
- 16) 秦吉弥, 常田賢一, 谷本隆介: 2011 年東北地方太平洋沖地震における宮城県井土浦での強震動および地盤沈下量の推定, 地盤と建設, 地盤工学会, Vol.31, No.1, pp.63-71, 2013.
- 17) Kuwata, Y. and Takada, S.: Instantaneous instrumental seismic intensity and evacuation, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.24, No.1, pp.35-42, 2002.
- 18) 鉦田泰子, 齊藤栄: 瞬間計測震度を用いた揺れ最中の避難行動可能時間の定量化, 日本地震工学会論文集, Vol.10, No.5, pp.52-65, 2010.
- 19) 先名重樹, 安達繁樹, 安藤浩, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 第 115 回物理探査学会学術講演会講演論文集, pp.227-229, 2006.
- 20) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 常田賢一, 魚谷真基: 和歌山県串本町における高密度常時微動計測, 物理探査, Vol.68, No.2, pp.83-90, 2015.
- 21) 産業技術総合研究所: 地質図表示システム(地質図Navi), 地質調査総合センターホームページ, 2013. (last accessed: 2016/09/01)
- 22) 国土交通省国土政策局: 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査(宮崎), 国土政策局国土情報課ホームページ, 2003. (last accessed: 2016/09/01)
- 23) 秦吉弥, 秋山充良, 高橋良和, 後藤浩之, 野津厚, 一井康二: SPGA モデルと経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 2011 年東北地方太平洋沖地震における長町高架橋での地震動とフラジリティカーブの評価, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.60A, pp.214-227, 2014.
- 24) 藤木昂, 秦吉弥, 村田晶, 古川愛子, 一井康二, 常田賢一, 湊文博, 吉川登代子: 高密度常時微動計測に基づく長野県白馬村神城地区における地盤震動特性の評価, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4, pp.1-984-992, 2016.

(2016. 9. 1 受付)

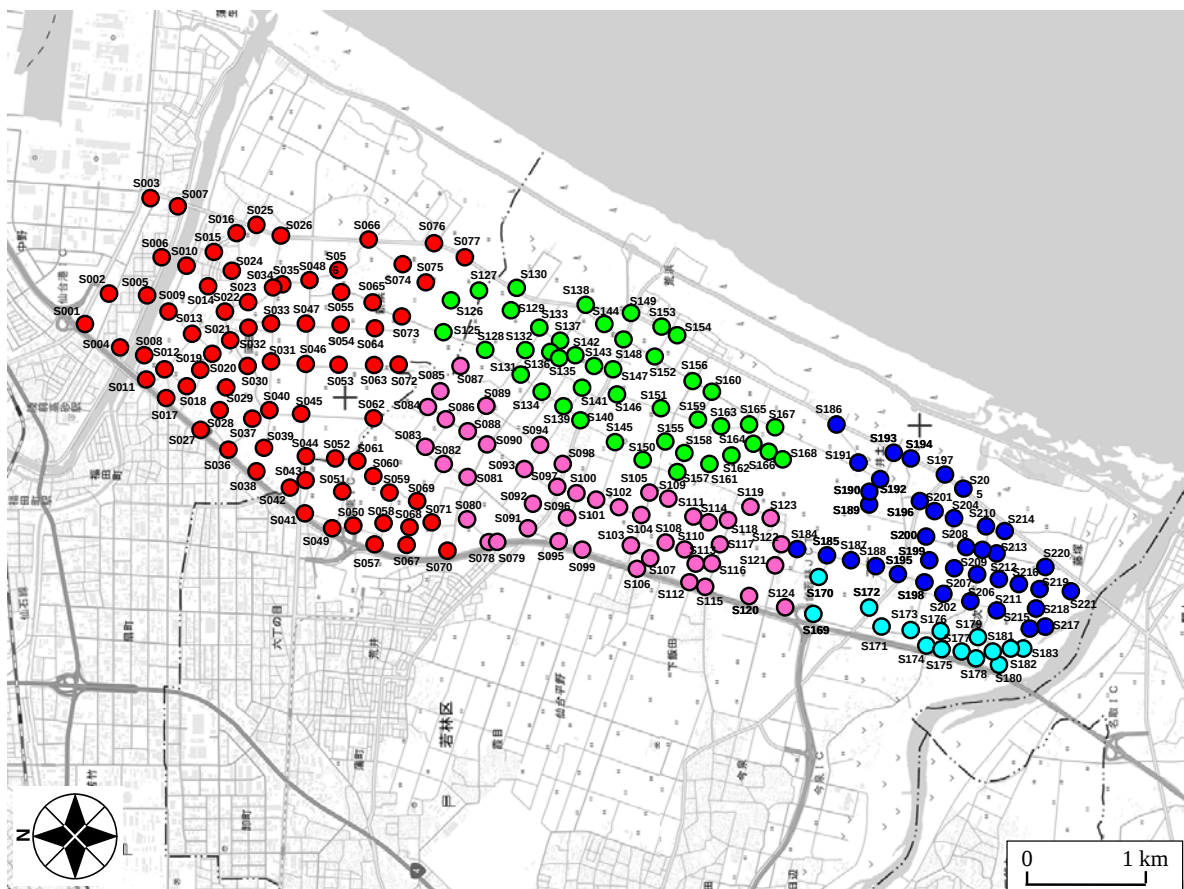
PRELIMINARY STUDY ON DOMINANT FREQUENCY COMPONENT OF STRONG MOTION FOR THE DIFFICULT TIME FOR EVACUATION IN TSUNAMI ATTACK AREAS DURING THE 2011 TOHOKU EARTHQUAKE

Fumihiro MINATO, Yoshiya HATA, Akira FUJIKI, Masayuki YAMADA, Yasuko KUWATA, Maki KOYAMA, Tadayoshi NAKASHIMA and Ken-ichi TOKIDA

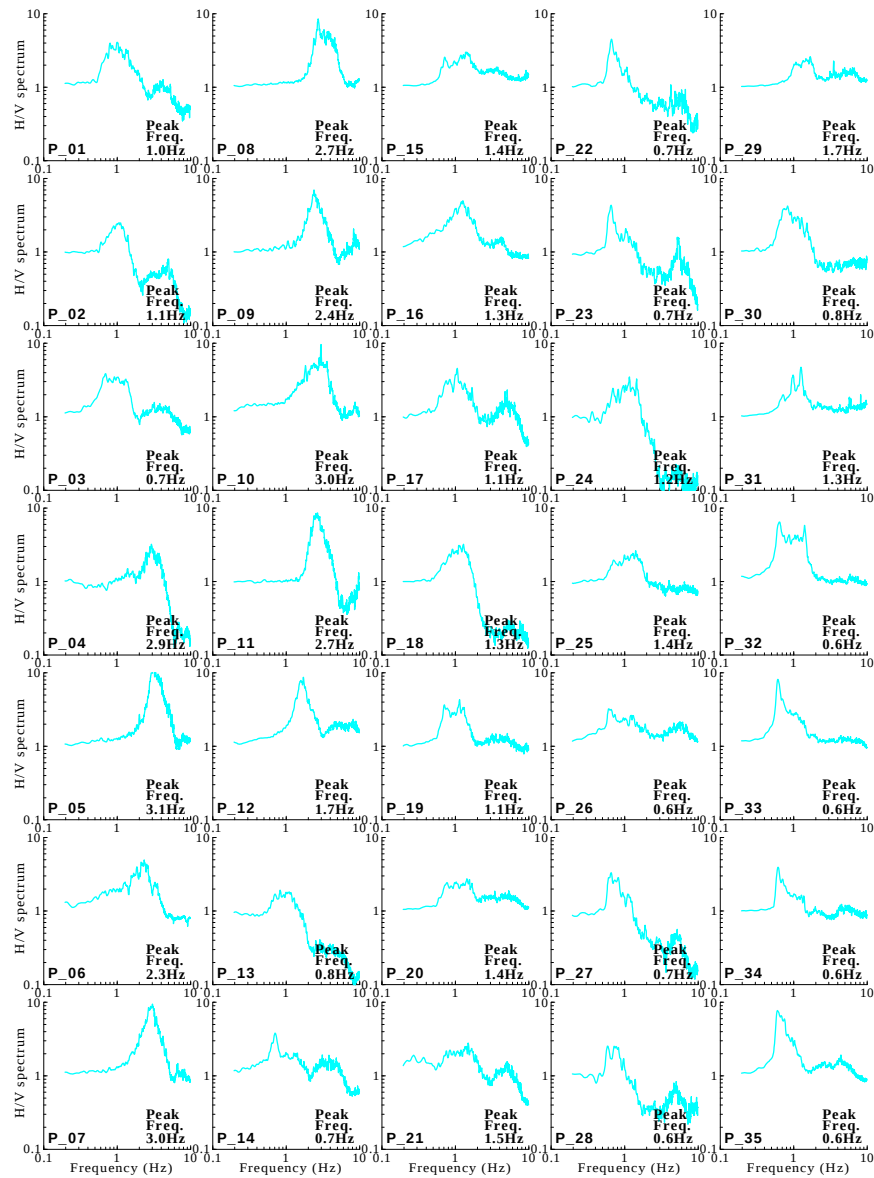
Time histories of instantaneous instrumental seismic intensity based on the observed waveforms in tsunami attack areas, Ishinomaki City and Sendai City, Japan, during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake are calculated to investigate the dominant frequency components of the ground motion for the difficult time for tsunami evacuation. It was found that the difficult time are mainly influenced by the intermediate frequency range (0.3-2Hz). Furthermore, we carried out ground-shaking zoning in the tsunami attack areas based on the intermediate frequency range considering characteristics of microtremor H/V spectra with high dense spatial location. The obtained findings are useful in tsunami disaster prevention due to a future subduction-zone earthquake.



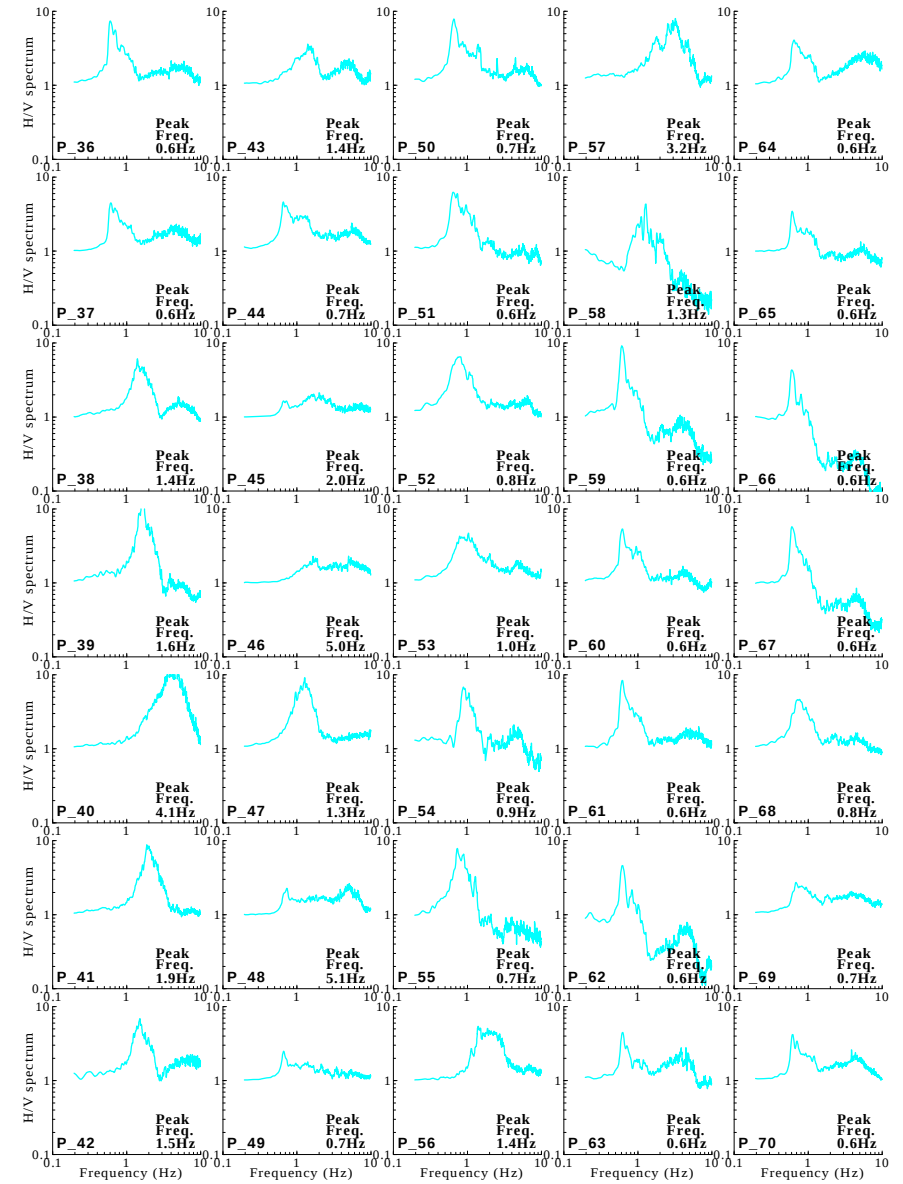
付録図-1 常時微動計測地点の位置情報と番号一覧（石巻市街地）



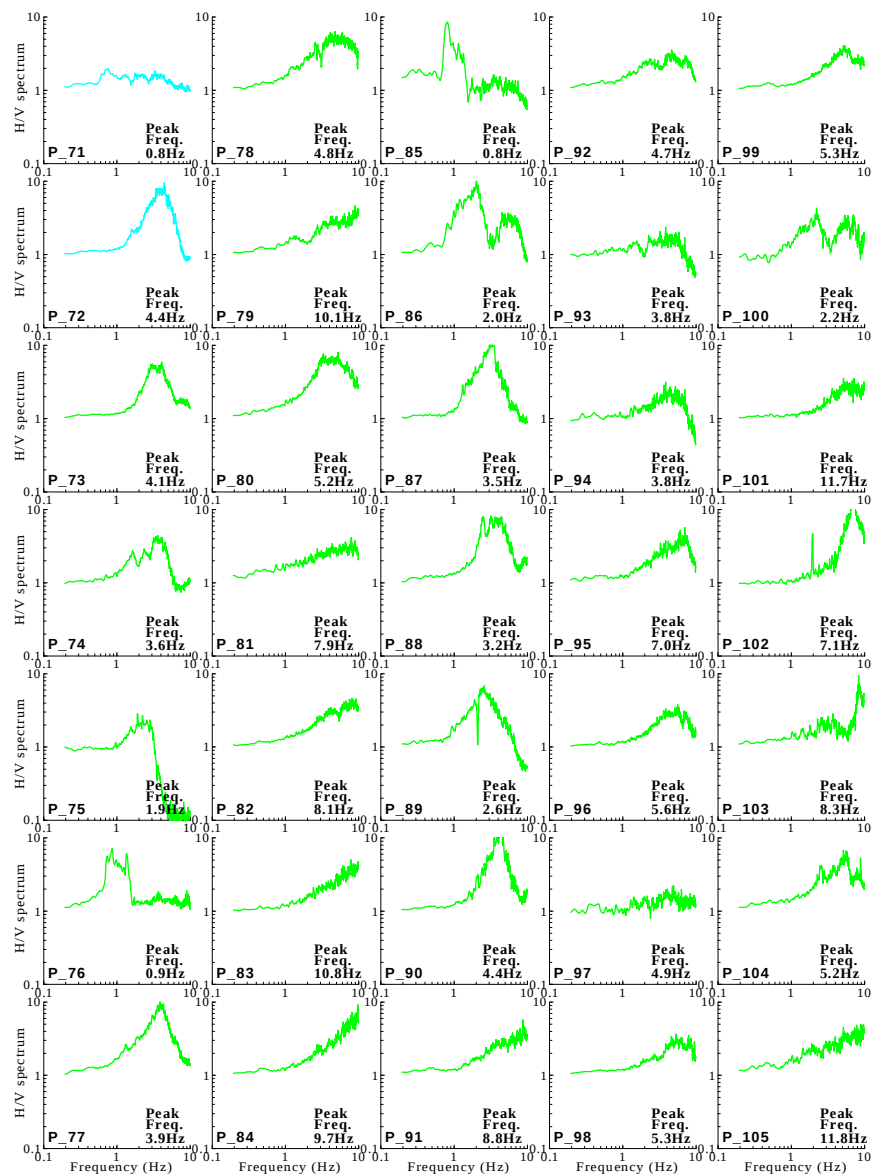
付録図-2 常時微動計測地点の位置情報と番号一覧（石巻市沿岸部）



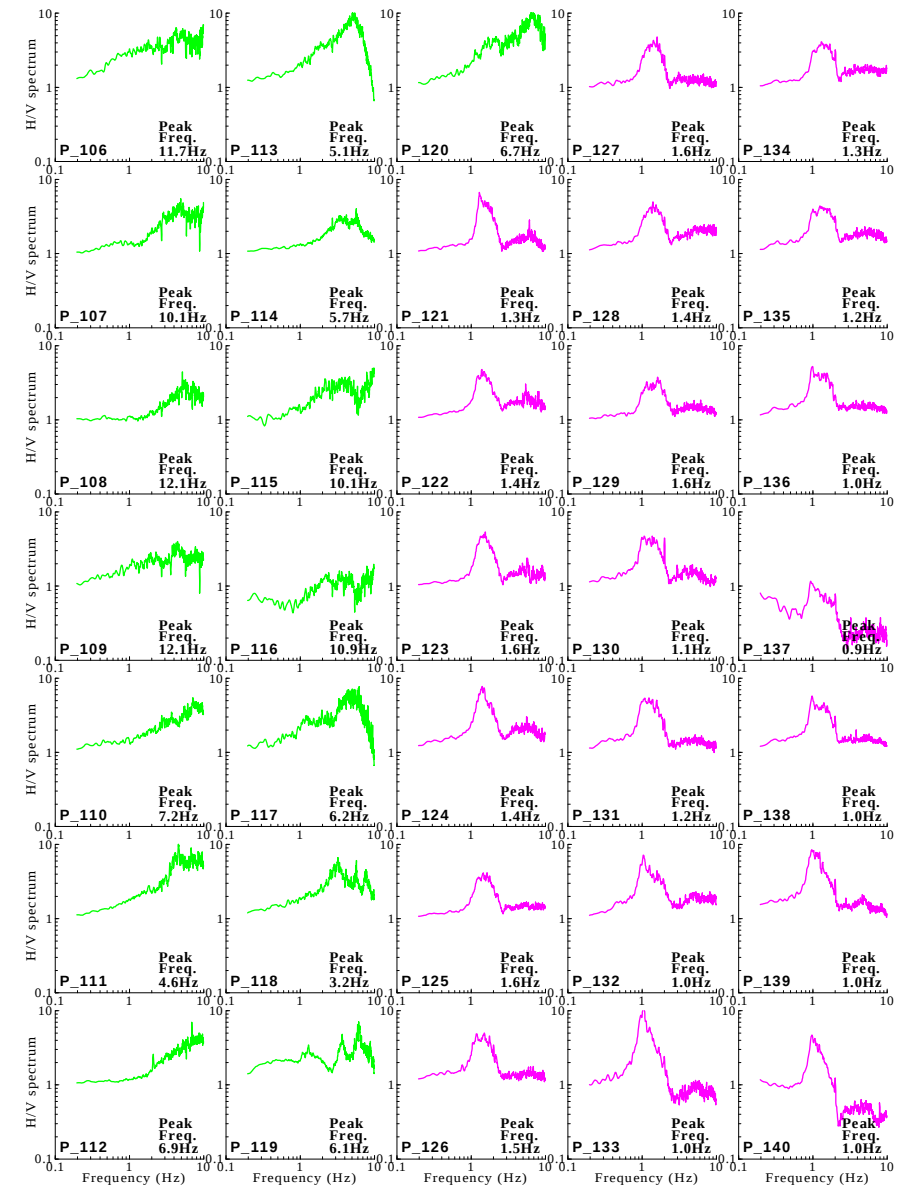
付録図-3 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_01～35）



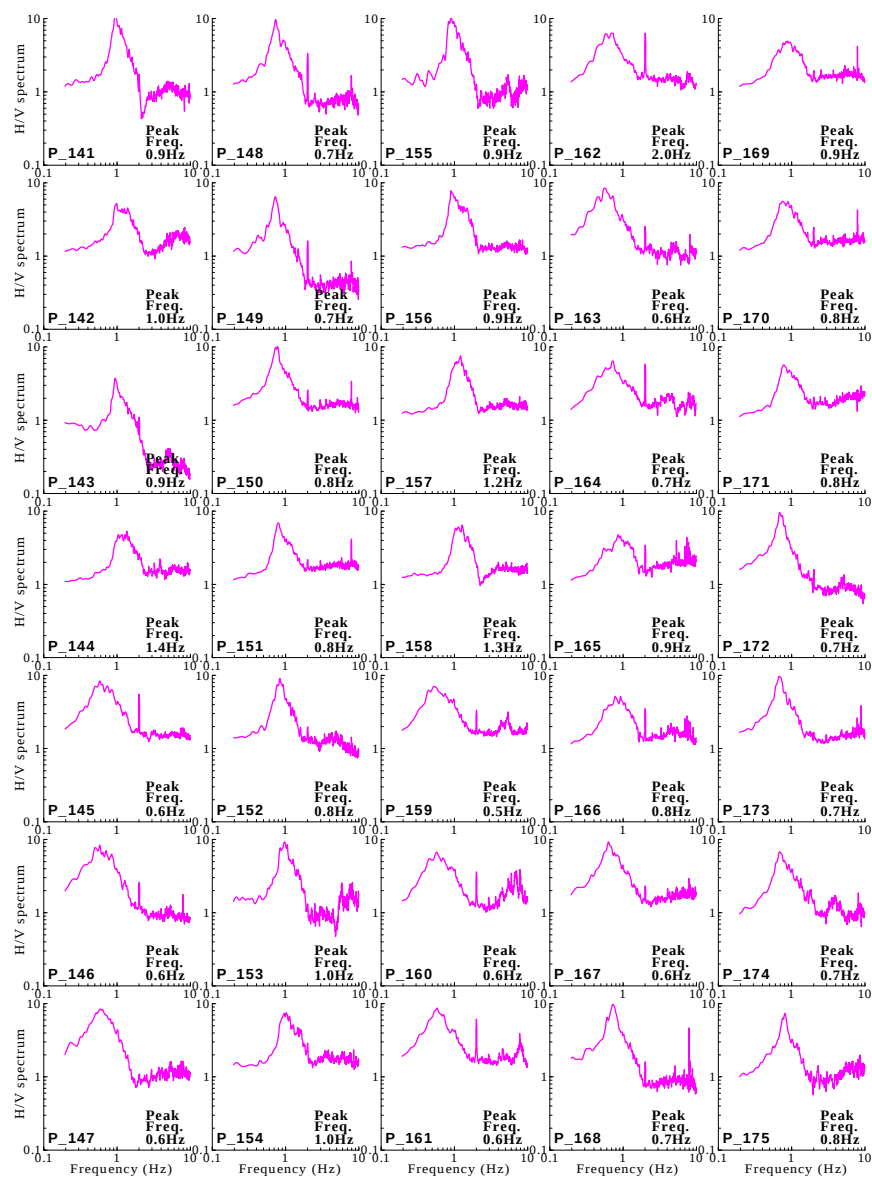
付録図-4 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_36～70）



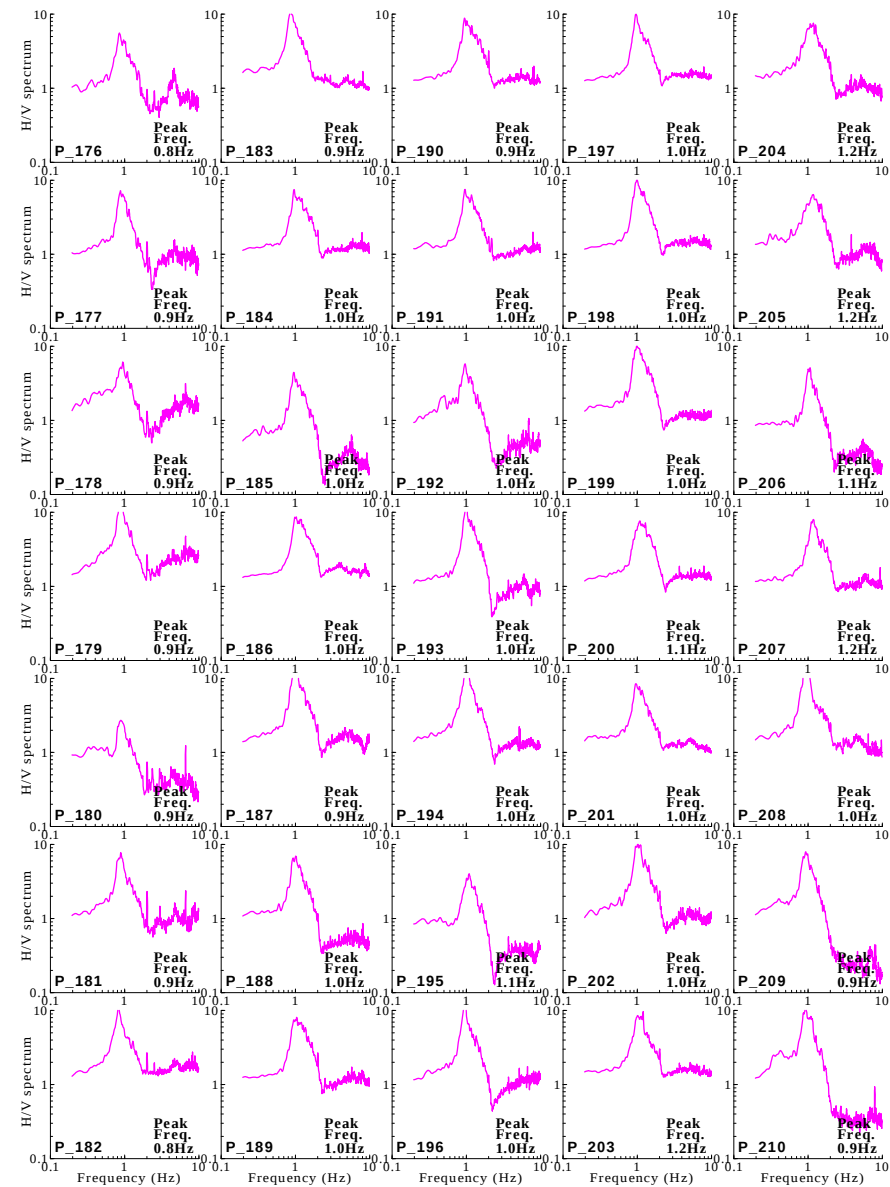
付録図-5 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_71～105）



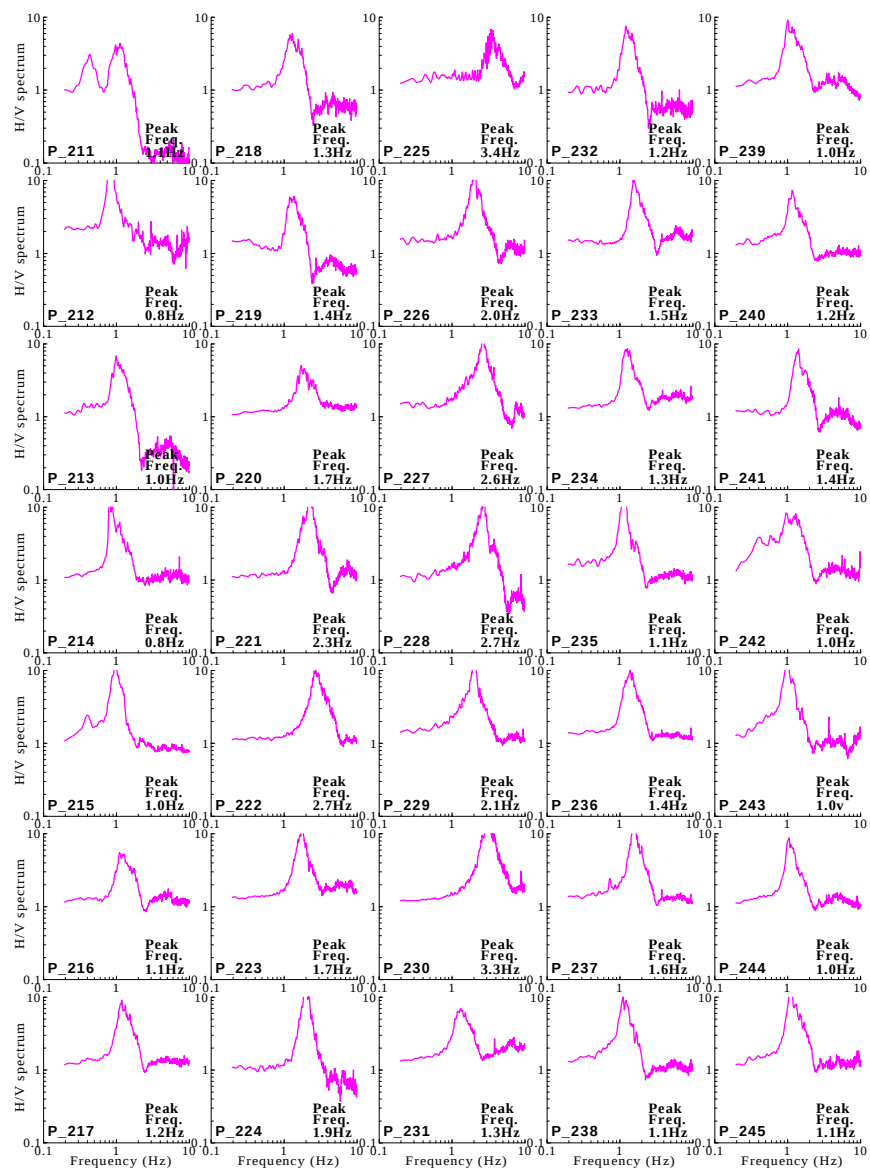
付録図-6 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_106～140）



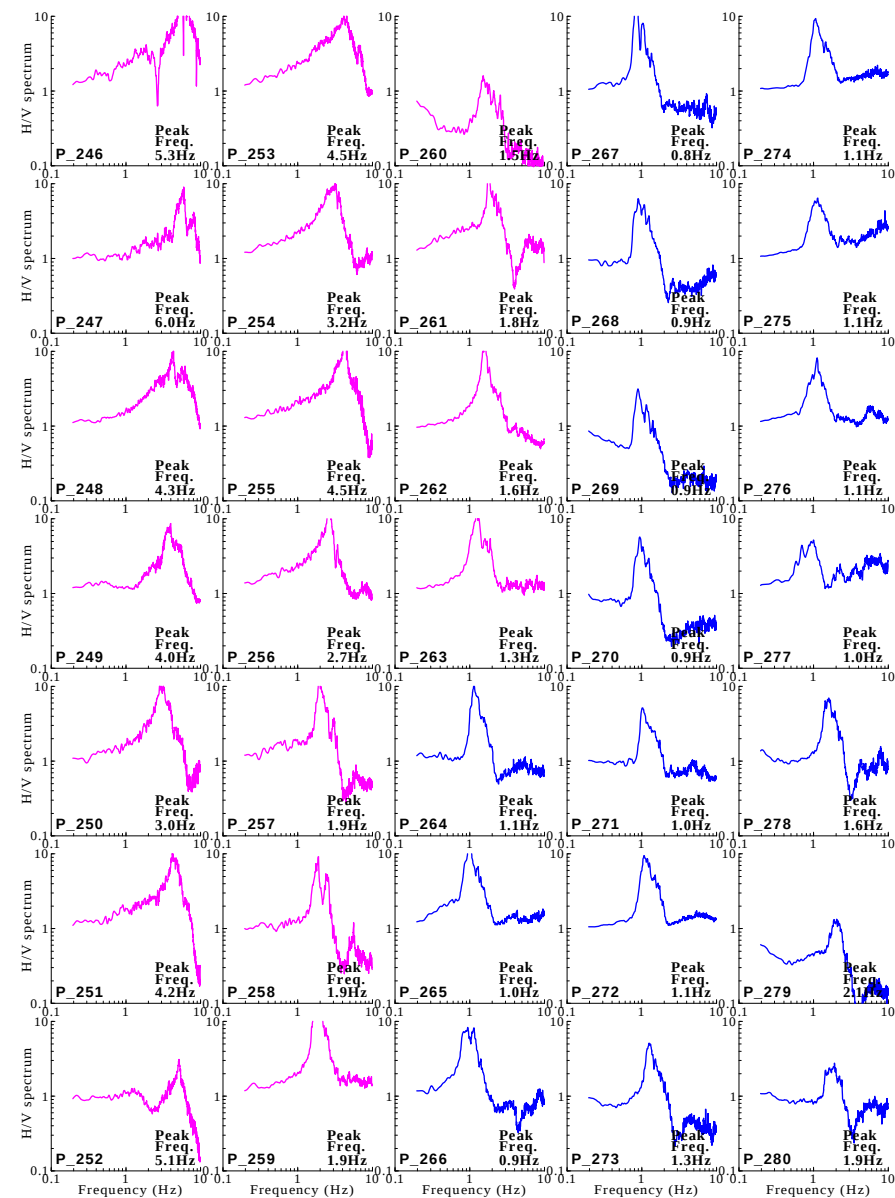
付録図-7 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_141～175）



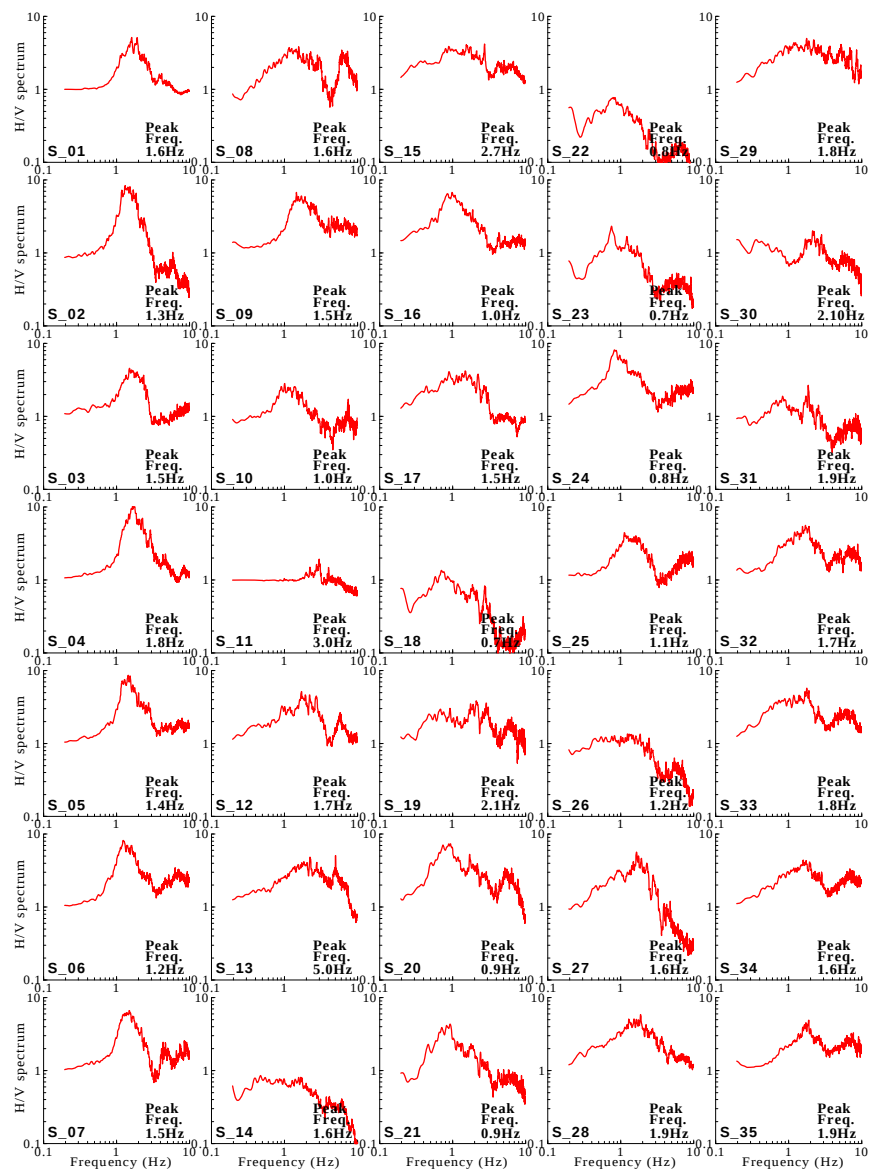
付録図-8 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_176～210）



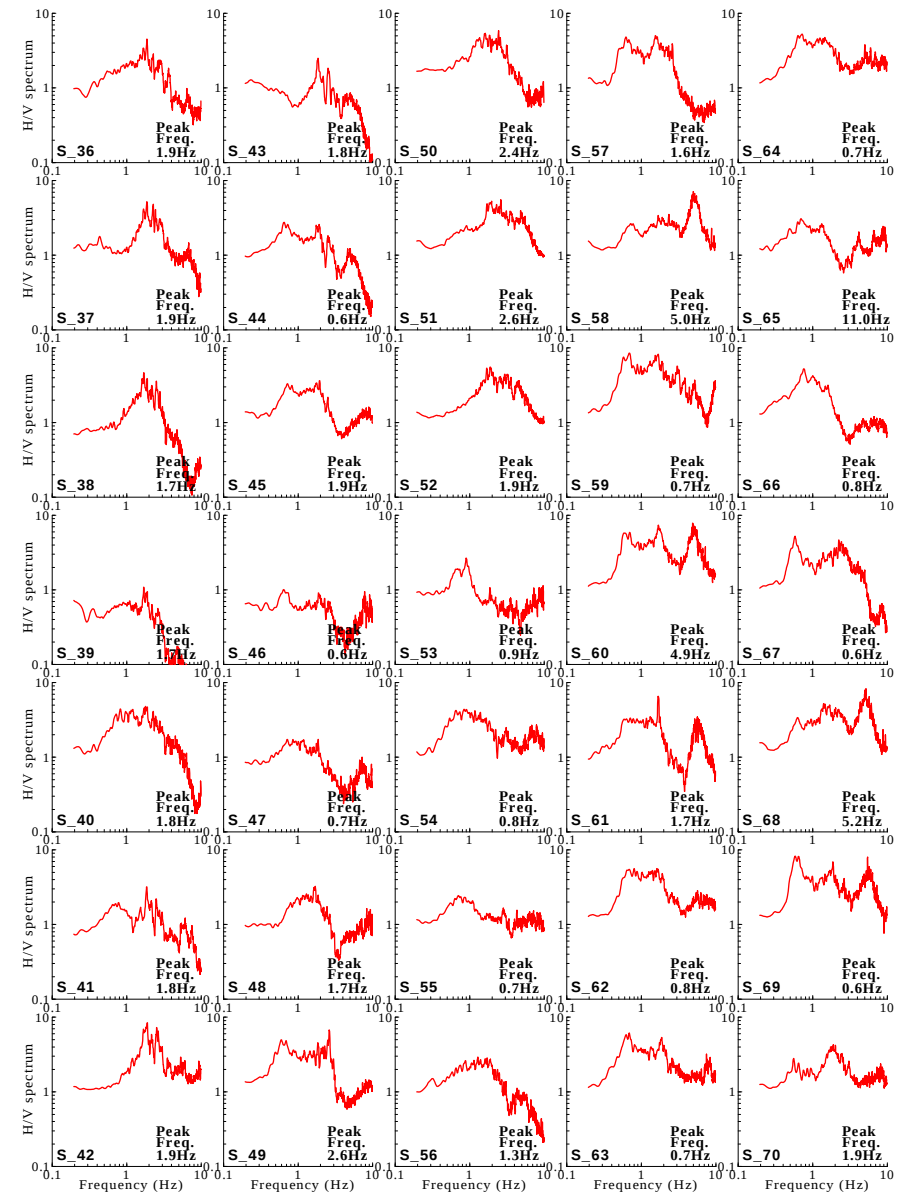
付録図-9 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_211～245）



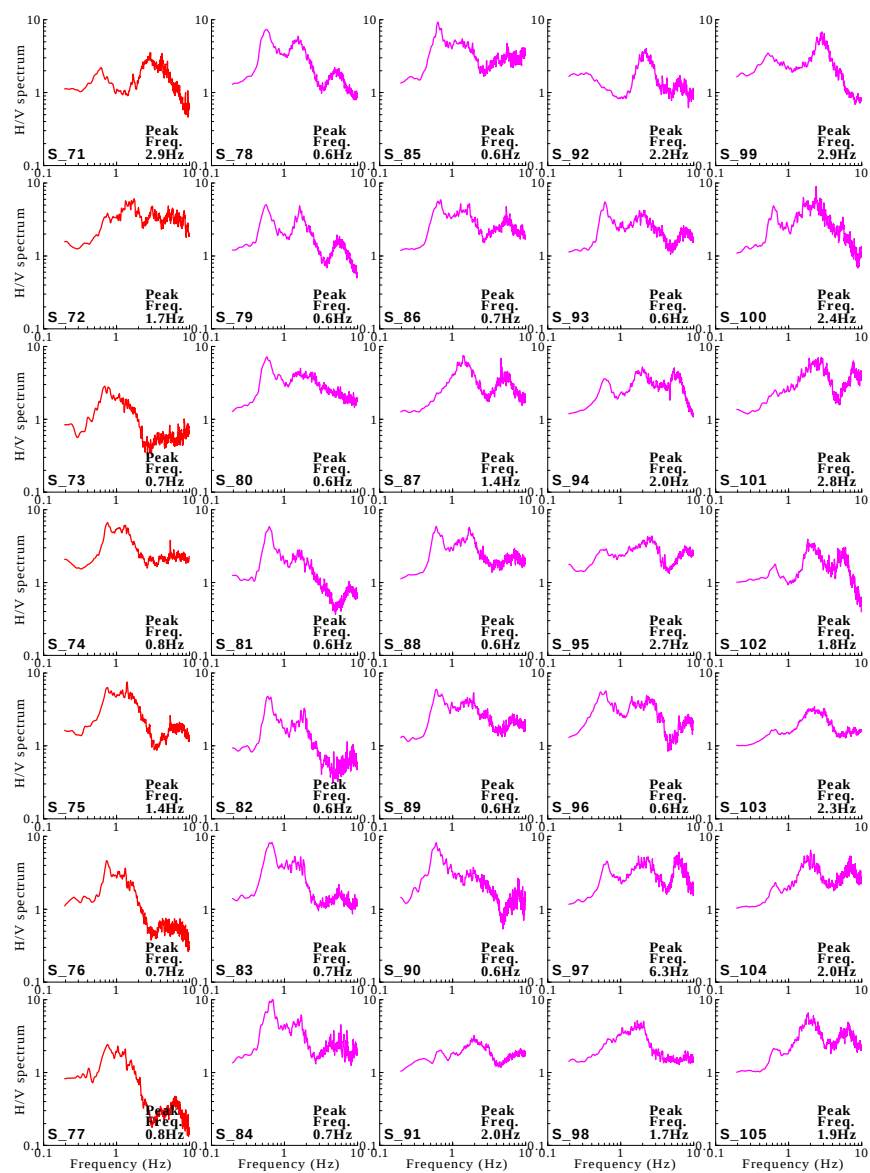
付録図-10 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：P_246～280）



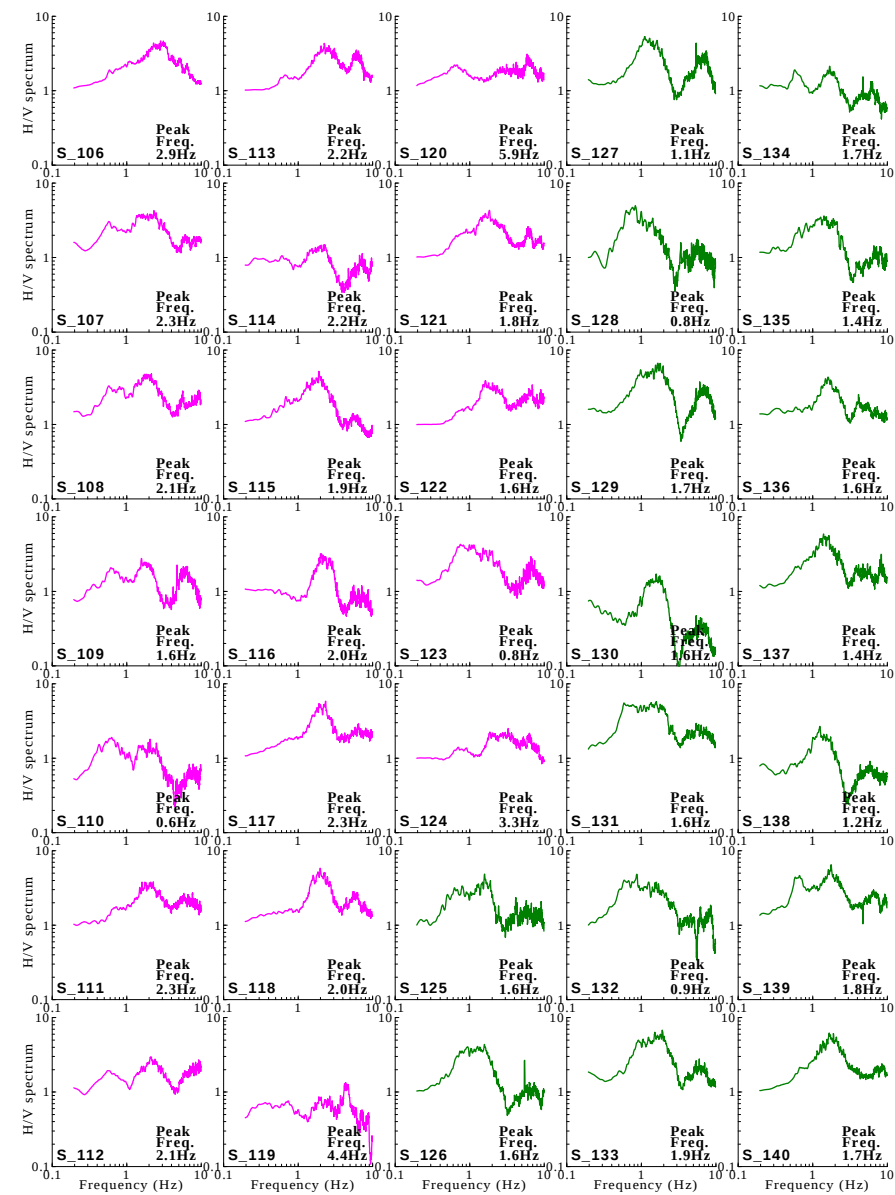
付録図-11 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：S_01～35）



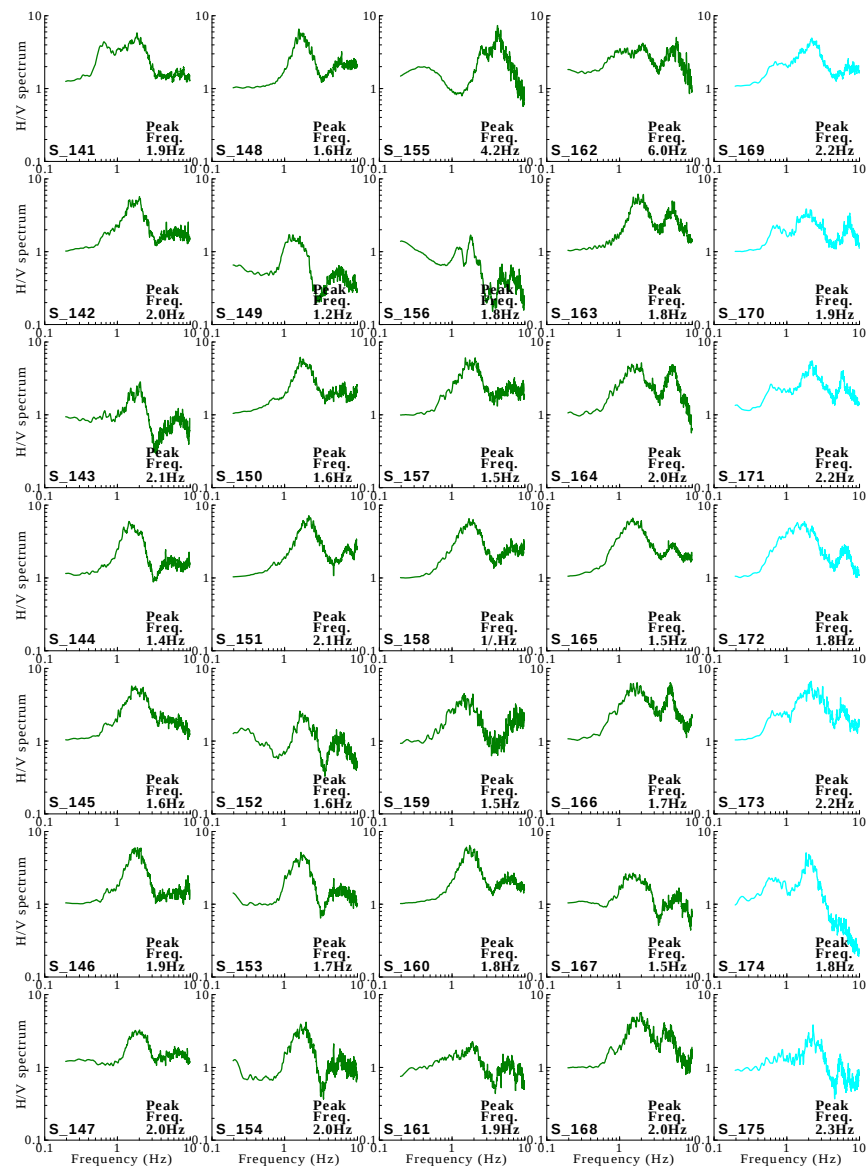
付録図-12 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：S_36～70）



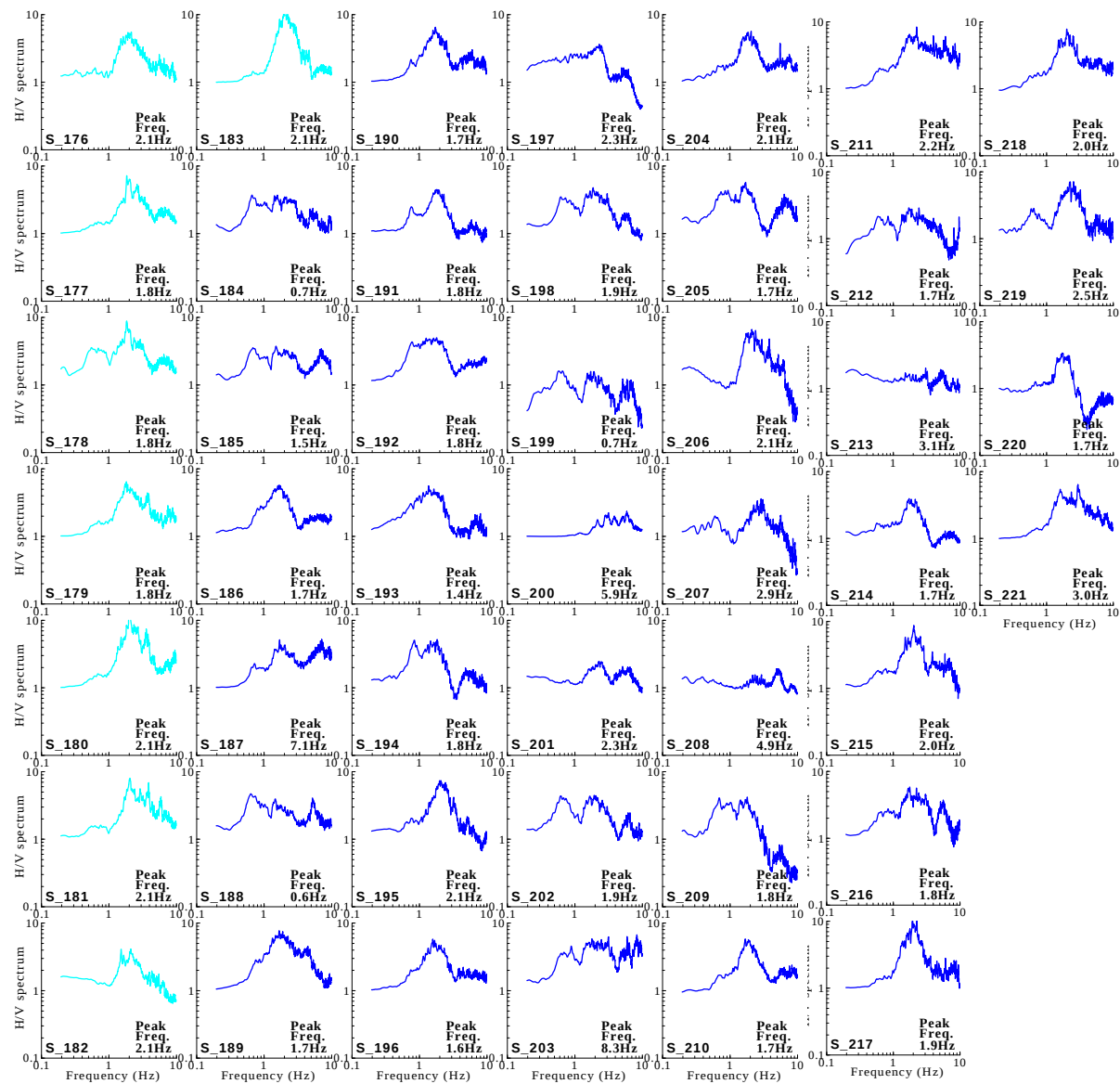
付録図-13 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：S_71～105）



付録図-14 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：S_106～140）



付録図-15 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：S_141～175）



付録図-16 常時微動H/Vスペクトルの一覧（石巻市街地：S_176～221）