

# 宮城県・鳴瀬川流域周辺の強震観測点における 常時微動H/Vスペクトルとサイト増幅特性

秦 吉弥\*・一井康二\*\*・酒井久和\*\*\*・野津 厚\*\*\*\*

## Microtremor H/V Spectrum Ratio and Site Amplification Factor at Seismic Observation Stations around the Naruse River basin, Miyagi Prefecture

Yoshiya HATA, Koji ICHII, Hisakazu SAKAI and Atsushi NOZU

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan, earthquake caused serious damage to engineering structures, not only due to tsunamis but also due to strong ground motions. The serious damage of Naruse River dike due to the 2011 main shock is reported. In this study, we carried out the microtremor measurement, and calculated microtremor H/V spectral ratio in 13 seismic observation stations around the Naruse River basin. Furthermore, we computed site amplification factors in the seismic observation stations based on the temporary aftershock observation records. The calculated H/V spectral ratio and site amplification factors will contribute to the strong motion estimation of the damaged Naruse River basin and clarification of damage mechanisms in the future study.

**Keywords:** The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, seismic observation station, microtremor measurement, site amplification factor

### 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、津波による被害だけでなく、名取川、鳴瀬川、江合川、吉田川などでは、地震動に起因した河川堤防の被害が数多く報告されている<sup>1),2),3),4)</sup>。これらの河川堤防は、1978年宮城県沖地震でも甚大な被害を受けた履歴を有している<sup>5)</sup>。さらに、鳴瀬川堤防に関しては、2003年宮城県北部の地震でも被災が報告されており<sup>6),7)</sup>、今後の河川堤防の耐震性検討などのためにも、既往の大規模地震(1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震、2011年東北地方太平洋沖地震)における鳴瀬川流域での地震動を推定することは極めて重要<sup>8)</sup>である。

そこで本稿では、地震動の推定を行う際の基礎的検討として、鳴瀬川流域周辺の既存強震観測点における地盤震動特性を評価した結果について述べる。具体的には、強震観測点において常時微動計測を実施し、H/Vスペクトルを算定した。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震以前の中小地震観測記録や臨時の余震観測記録などに基

づいて強震観測点におけるサイト増幅特性を評価した。

### 2. 強震観測点の整理

Figure 1に鳴瀬川流域周辺における既存強震観測点の分布を示す。対象とした既存強震観測点は、(独)防災科学技術研究所強震観測ネットワーク(K-NET)<sup>9)</sup>、(独)防災科学技術研究所基盤強震観測網(KiK-net)<sup>10)</sup>、気象庁計測震度観測点(JMA)<sup>11)</sup>、国土交通省国土技術政策総合研究所地震計ネットワーク(NILIM)<sup>12)</sup>、宮城県震度情報ネットワークシステム(MIDORI)<sup>13)</sup>である。

Figure 1には、2011年東北地方太平洋沖地震における強震観測記録(最大加速度PGA、計測震度(震度階))についても示している。なお、旧・JMA鹿島台は、2003年宮城県北部の地震による臨時の余震観測点であるため、2011年東北地方太平洋沖地震での本震観測記録は得られていない。Figure 1に示すように、比較的近傍であるにも関わらず地震動の大きさが異なっており、一様な距離減衰とはなっていないことから、各観測点でのサイト特性

\* 日本工営(株) 中央研究所 地盤耐震グループ

\*\* 広島大学 大学院工学研究科 社会環境空間部門

\*\*\* 広島工業大学 工学部建築工学科

\*\*\*\* (独)港湾空港技術研究所 地震動研究チーム

の影響などが示唆される。よって、鳴瀬川流域における地震動の評価のためには、周辺の観測点で得られた本震記録を転用するだけでは信頼性に乏しく、まず、当該地点におけるサイト特性を適切に評価する必要性が読み取れる。

### 3. H/Vスペクトルの評価

本検討では、強震観測地点の極近傍において常時微動計測を実施した。Photograph 1にK-NET石巻での常時微動計測状況を示す。計測日は2011年10月22日～11月5日であり、計測機器は白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器<sup>14)</sup>を採用した。計測方向は、水平2成分と鉛直成分の計3成分であり、H/Vスペクトルの計算では、水平2成分の平均をとった。計測時間は、1計測点あたり11分間とし、サンプリング周波数は100Hzとした。雑振動が大きい場合には、時間帯や実施日を変えて再度計測を行った。

Figure 2に常時微動計測結果(常時微動H/Vスペクトル)を示す。常時微動H/Vスペクトルの計算処理方法は、既往の方法<sup>15)</sup>を採用した。具体的には、微動の加速度時刻歴に対して、まず0.1Hzのハイパスフィルターを施し、163.84秒の区間を3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のパーセンウィンドウで平滑化したのちに、H/Vスペクトルを算出し、平均をとった。評価振動数範囲としては、使用した微動計測器の性能などを考慮して0.2～10Hzとした。

Figure 2に示すとおり、観測点毎に常時微動H/Vスペクトルの特性がまちまちであり、特にJMA涌谷とNILIM涌谷、旧・JMA鹿島台とMIDORI鹿島台などでは、比較的近傍の位置関係にあるにも関わらず(Figure 1参照)、常時微動H/Vスペクトルの特性が異なっている。これは、比較的近距离間においても地盤震動特性(サイト特性)が変化していることを示唆しており、鳴瀬川流域においてもサイト特性が場所毎に変化している可能性が高い。

### 4. サイト増幅特性の評価

Figure 3に鳴瀬川流域周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)を示す。K-NET古川、KiK-net田尻、K-NET石巻については、スペクトルインバージョンに基づく既往のサイト増幅特性<sup>16)</sup>を採用した。

また、JMA古川、JMA涌谷、旧・JMA鹿島台のサイト増幅特性は、以下の4条件を全て満足する地震<sup>17)</sup>(①2011年東北地方太平洋沖地震の本震前までに発生した地震、②Mj4.0以上Mj7.0未満の地震、③深さ60km以下の地震、

④K-NET古川・JMA古川・JMA涌谷・旧JMA鹿島台において全て記録が得られている地震)による観測記録を対象に、K-NET古川と対象地点の距離の違いによる補正<sup>18),19)</sup>を考慮したフーリエスペクトルの比率(対象地点/K-NET古川)を計算し、この比率をK-NET古川における既存のサイト増幅特性<sup>16)</sup>に掛け合わせることでサイト増幅特性を評価<sup>20)</sup>した。

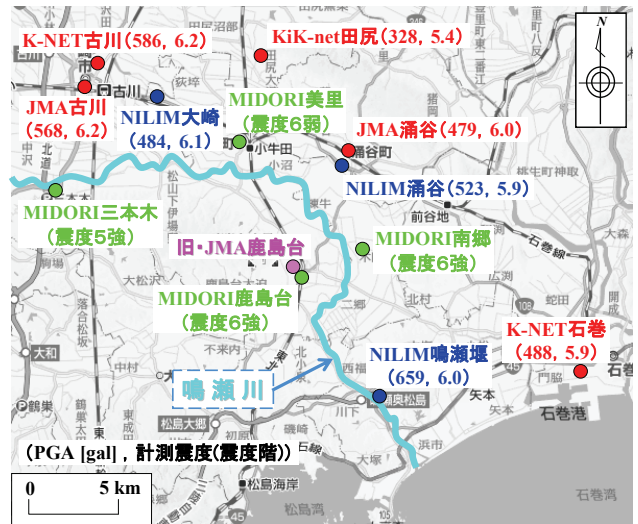


Figure 1 The distribution of the interest observation stations.



Photograph 1 The condition of the microtremor measurement.



Photograph 2 The execution condition of the temporary aftershock observation.

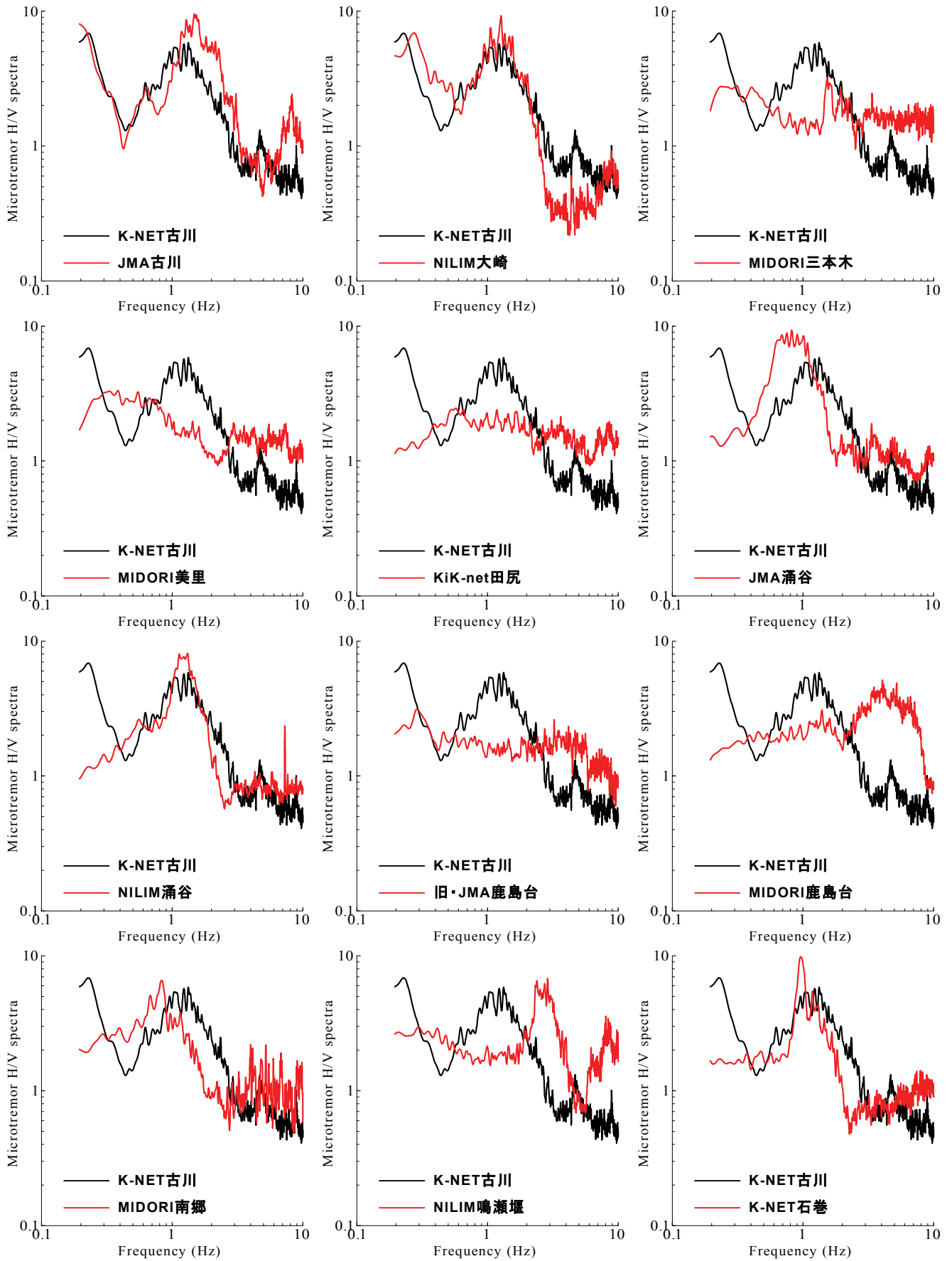


Figure 2 The comparison of the microtremor H/V spectral ratio.

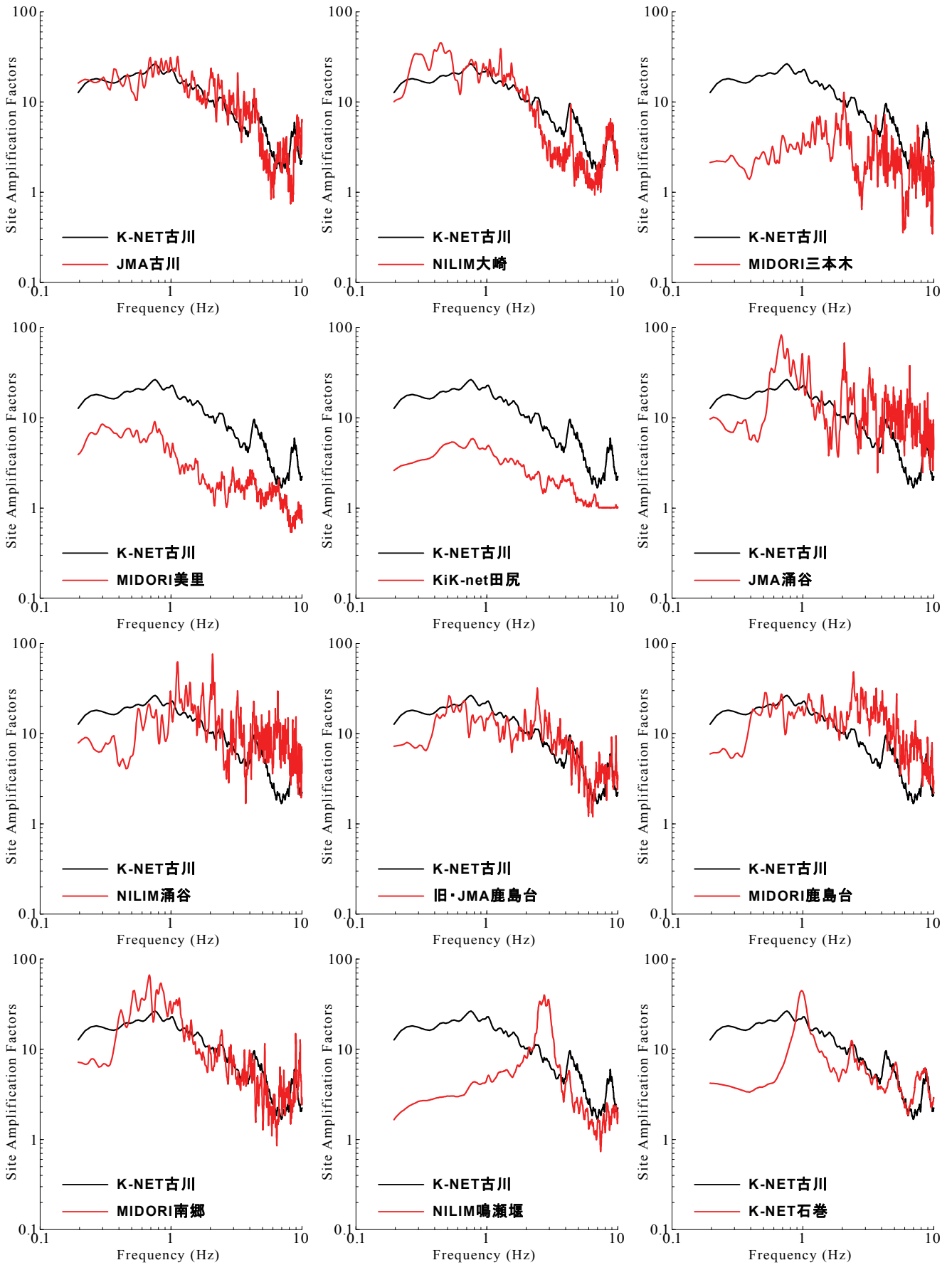


Figure 3 The comparison of the site amplification factors.

**Table 1** The list of aftershock observation records

## (a) NILIM stations

発生年月日	発生時刻	発生地域	気象庁マグニチュードMj
2011/10/26	02:08	福島県沖	Mj5.0
2011/10/27	07:50	宮城県沖	Mj3.8
2011/10/28	11:06	宮城県沖	Mj3.9

## (b) MIDORI stations

発生年月日	発生時刻	発生地域	気象庁マグニチュードMj
2011/10/29	15:24	宮城県沖	Mj4.9
2011/10/31	08:08	宮城県沖	Mj4.5
2011/11/02	10:43	岩手県沖	Mj4.3

**Table 2** The combination of the interest station and the reference station.

対象観測点	基準点
NILIM大崎	K-NET古川
MIDORI三本木	K-NET古川
MIDORI美里	K-NET古川
NILIM涌谷	K-NET古川
MIDORI鹿島台	K-NET石巻
MIDORI南郷	K-NET石巻
NILIM鳴瀬堰	K-NET石巻

一方で、NILIM観測点(NILIM大崎、NILIM涌谷、NILIM鳴瀬堰)およびMIDORI観測点(MIDORI三本木、MIDORI美里、MIDORI鹿島台、MIDORI南郷)については、対象観測点の近傍において一体型微動探査兼地震計機器<sup>14)</sup>を設置し、臨時の余震観測(Photograph 2はMIDORI鹿島台での一例)を実施することで、得られた観測記録(Table 1参照)に基づいてサイト増幅特性を評価した。具体的には、基準点と対象観測点(Table 2参照)で同時に得られた余震観測記録(Table 1参照)を対象に基準点と対象観測点の距離の違いによる補正<sup>18),19)</sup>を考慮したフーリエスペクトルの比率(対象観測点/基準点)を計算し、この比率を基準点における既存のサイト増幅特性<sup>16)</sup>に掛け合わせることでサイト増幅特性を評価<sup>20)</sup>した。

Figure 3に示すとおり、鳴瀬川流域では観測点毎にサイト増幅特性が異なっており、鳴瀬川流域における強震動評価には、対象地点毎のサイト特性を考慮する必要性が高いことを示唆している。一方で、常時微動H/Vスペクトル(Figure 2参照)とサイト増幅特性(Figure 3参照)を比較すると、ピーク周波数やスペクトル形状などが良い一

致を示しており、地盤震動特性(サイト特性)を評価する上での常時微動計測の有効性が確認できる。

## 5. まとめ

本研究では、鳴瀬川流域周辺の既存強震観測点における常時微動H/Vスペクトルおよびサイト増幅特性を評価した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 鳴瀬川流域周辺では、比較的近距离においても観測点毎に常時微動 H/V スペクトルやサイト増幅特性が異なっており、鳴瀬川流域においてもサイト特性が対象地点毎に異なっている可能性が高い。
- 2) 常時微動 H/V スペクトルとサイト増幅特性のピーク周波数やスペクトル形状などが比較的良い一致を示しており、サイト特性を評価する方法の一つとして常時微動計測の実施が有効である。
- 3) 鳴瀬川流域における強震動評価を行う際には、余震観測記録や常時微動計測結果などを組み合わせることによって、対象地点毎のサイト特性を適切に考慮する必要がある。

今後は、鳴瀬川流域において余震観測や常時微動計測などを実施していく予定である。

## 謝辞

本研究では、気象庁および(独)防災科学技術研究所K-NET、KiK-netによる地震観測波形データを使用させていただきました。また、常時微動計測および臨時余震観測の実施に際して、宮城県大崎市民、美里町民、涌谷町民、東松島市民の皆様にお世話になりました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 安田進, 東畑郁生: 河川堤防の被害, 第7章, 土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書, 2011.
- 2) 飛田哲男, 甲斐誠士: 宮城県北部の港湾と河川施設の被災状況速報, 地盤工学会誌, Vol.59, No.6, Ser.No.641, pp.36-39, 2011.
- 3) 吉田望, 國生剛治, 規矩大義, 山口晶, 千葉克己, 高橋一雄: 2011年東北地方太平洋沖地震による宮城県中部地域の地盤被害, 地盤工学会誌, Vol.59, No.7, Ser.No.642, pp.42-45, 2011.
- 4) 山川優樹, 東瀬康孝, 渦岡良介, 石丸真, 京谷孝史,

- 加藤準治, 高橋一雄: 東北地方太平洋沖地震 宮城県北部第一次調査報告(A1, A2 グループ), 地盤工学会誌, Vol.59, No.8, Ser.No.643, pp.32-35, 2011.
- 5) 建設省土木研究所地震防災部・振動研究室: 1978 年宮城県沖地震被害調査概報, 土木研究所資料, 第1422号, 1978.
  - 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 平成15年7月26日宮城県北部地震被害に係わる現地調査報告書, 国土技術政策総合研究所資料, No.133, 2003.
  - 7) (社)地盤工学会: 2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害調査報告書, 2003年三陸南地震および宮城県北部地震災害調査委員会, 2003.
  - 8) 野津厚, 一井康二: 性能設計の発展型としてのEvidence-Based Design の提案とその実現に向けた課題, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.3073-3080, 2010.
  - 9) Kinoshita, S.: Kyoshin-net (K-NET), *Seismological Research Letters*, Vol.69, pp.309-332, 1998.
  - 10) Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara and Y. Okada: New strong-motion observation network: KiK-net, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, No.329, 2000.
  - 11) Nishimae, Y.: Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, 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, pp.90-96, 2004.
  - 13) 宮城県消防課: 宮城県総合防災情報システム「MIDORI」, 平成18年消防防災年報, 2006.
  - 14) 先名重樹, 安達繁樹, 安藤浩, 荒木恒彦, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 地球惑星連合大会2006予稿集(CD-ROM), S111-P002, 2006.
  - 15) Hata, Y., Nakamura, S., Nozu, A., Shibao, S., Murakami, Y. and Ichii, K.: Microtremor H/V spectrum ratio and site amplification factor in the seismic observation stations for 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, *Bulletin of the Graduate School of Engineering, Hiroshima University*, Vol.59, No.1, 2010.
  - 16) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.2, pp.215-234, 2007.
  - 17) 秦吉弥, 野津厚, 一井康二: 横浜市金沢区における地盤震動特性の評価, 第8回日本地震工学会大会-2011梗概集, Vol.8, pp.498-499, 2011.
  - 18) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, Vol.73, pp.1865-1894, 1983.
  - 19) 佐藤智美, 巽誉樹: 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, Vol.556, pp.15-24, 2002.
  - 20) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), 国土交通省港湾局監修, pp.336-341, 2007.