

# 2011年東北地方太平洋沖地震による被災地点周辺の 既存強震観測点におけるサイト増幅特性の評価

秦 吉弥\*・一井康二\*\*

## Evaluation of Site Amplification Factor at Permanent Observation Stations for Ground Motion around Serious Damage Site due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Yoshiya HATA and Koji ICHII

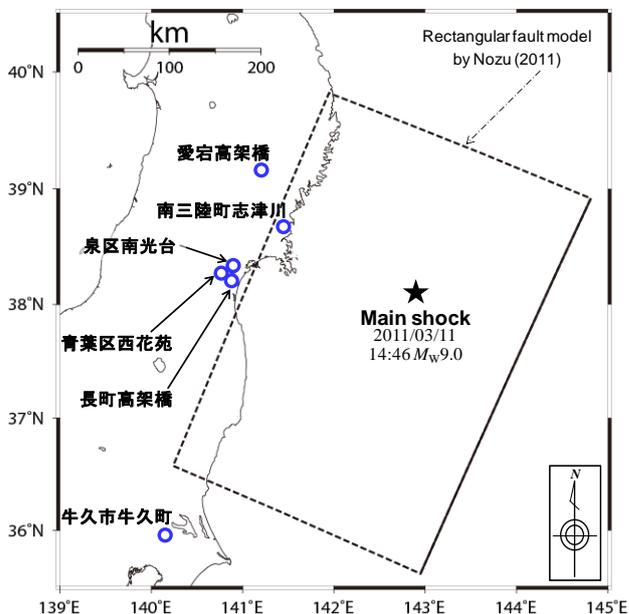
The 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan, earthquake caused serious damage to engineering structures, not only due to tsunamis but also due to strong ground motions. The serious damage of bridge, slope and embankment due to the 2011 main shock is reported. In this study, we computed site amplification factors at seismic observation stations around the damage sites based on the moderate earthquake observation records. The calculated site amplification factors will contribute to the strong motion estimation of the damaged sites and clarification of damage mechanisms in the future study.

**Keywords:** The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, seismic observation station, site effect

### 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、地震動に起因した土木構造物の被害が数多く報告されている。Figure 1は、本稿において取り扱う被災地点の分布を示す。南三陸町志津川<sup>1),2)</sup>では、水尻川や八幡川の橋梁において強震動および(もしくは)津波による被災が報告されている(Photograph 1(a)参照)。東北新幹線愛宕高架橋<sup>3),4)</sup>では、2003年三陸南地震による被災橋梁が2011年東北地方太平洋沖地震によっても損傷するなどの被害が報告されている(Photograph 1(b)参照)。仙台市泉区南光台<sup>5)</sup>では、宅地造成地盤の地すべりに伴う深刻な被害が報告されている(Photograph 1(c)参照)。仙台市青葉区西花苑<sup>6)</sup>では、自然斜面における地すべりの再活動による深刻な被害が報告されている(Photograph 1(d)参照)。東北新幹線長町高架橋<sup>6)</sup>では、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動による広範囲にわたる被災が報告されている(Photograph 1(e)参照)。茨城県牛久市牛久町<sup>7)</sup>では、JR常磐線の牛久駅～佐貫駅間における鉄道盛土の被災により運行再開に大きな影響を及ぼしたことが報告されている(Photograph 1(f)参照)。これらの被災地点における本震時における地震動を推定することは、今後の土木構造物の耐震性検討などのためにも非常に重要<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、2011年東北地方太平洋沖地震以前の中小地震観測記録などに基づいて、対象被災地点(Figure 1参照)周辺の既存強震観測点におけるサイト増幅特性を評価した。



**Figure 1** The distribution for sites of interest in this study.

(a. Shizugawa, Minami Sanriku Town, b. Odaki Viaduct of Tohoku Shinkansen, c. Nankodai, Izumi Ward, Sendai City, d. Seikaen, Aoba Ward, Sendai City, e. Nagamachi Viaduct of Tohoku Shinkansen and f. Ushiku Town, Ushiku City)

\* 日本工営(株) 中央研究所 地盤耐震グループ

\*\* 広島大学 大学院工学研究院 社会環境空間部門



(a) Shizugawa, Minami Sanriku Town<sup>2)</sup>



(d) Seikaen, Aoba Ward, Sendai City<sup>5)</sup>



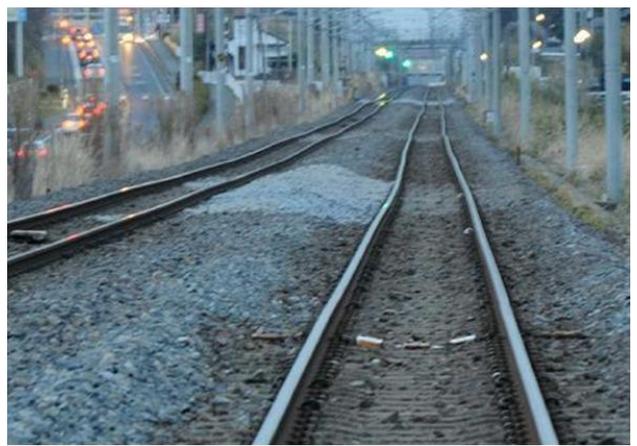
(b) Odaki Viaduct of Tohoku Shinkansen<sup>4)</sup>



(e) Nagamachi Viaduct of Tohoku Shinkansen<sup>6)</sup>



(c) Nankodai, Izumi Ward, Sendai City<sup>5)</sup>



(f) Ushiku Town, Ushiku City (15 March, 2011)

**Photograph 1** The damage condition at sites of interest due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

## 2. 強震観測記録の整理

### 2.1 概要

Figure 2に対象被災地点(Figure 1参照)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>9)</sup>、気象庁計測震度観測点(JMA)<sup>10)</sup>、国土交通省地震計ネットワーク(MLIT)<sup>11)</sup>、NEXCO東日本による地震観測システム、東北工業大学アレー強震観測システム(Small-Titan)<sup>12),13)</sup>、JR東日本による地震観測警報システム、首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)<sup>14)</sup>、岩手県および宮城県による震度情報ネットワークシステムである。Figure 2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, SI値<sup>15)</sup>、気象庁計測震度<sup>10)</sup>)についても同時に示している。

### 2.2 南三陸町志津川

Figure 2(a)に示すように、南三陸町志津川周辺では、(旧・現)JMA志津川、K-NET歌津、KiK-net志津川があり、K-NET歌津およびKiK-net志津川では2011年東北地方太平洋沖地震による本震記録が残されている。一方で、旧・JMA志津川(南三陸町防災対策庁舎)では、津波による被災の影響で本震時における波形データが記録されておらず、計測震度の値のみが公開されている<sup>16)</sup>。そのため、現在では、南三陸町仮庁舎において地震観測が2012年6月28日12時より開始されている(現・JMA志津川参照)。

### 2.3 愛宕高架橋

Figure 2(b)に示すように、愛宕高架橋周辺では、奥州市江刺支所、K-NET水沢、JMA水沢、水沢I.C.が存在している。江刺支所とK-NET水沢は愛宕高架橋からほぼ等距離にあるにも関わらず、2011年東北地方太平洋沖地震による観測地震動の指標値が両観測点では大きく異なっており、サイト特性の影響が示唆される。

### 2.4 泉区南光台

Figure 2(c)に示すように、泉区南光台周辺では、Small-Titan南光台東小学校および自治体観測点(泉区将監、青葉区雨宮)が存在している。泉区南光台近傍のSmall-Titan南光台東小学校における本震記録に対して、北方の泉区将監は類似しているが、南方の青葉区雨宮は差異が大きくなっている。

### 2.5 青葉区西花苑

Figure 2(d)に示すように、青葉区西花苑周辺では、Small-Titan栗生小学校、青葉区落合、仙台宮城I.C.、仙台西国道維持出張所の計4つの地震観測点が存在している。青葉区西花苑からの距離は概ね類似しているが、仙台宮

城I.C.と仙台西国道維持出張所(震度計)の観測地震動の差異<sup>17)</sup>など、比較的近接している観測点間でも本震時の地震動特性が大きく異なっていることが読み取れる。

### 2.6 長町高架橋

Figure 2(e)に示すように、長町高架橋周辺では、JR新長町SSP、Small-Titan二ツ沢、Small-Titan東長町小学校、仙山河川国道事務所が存在している。Small-Titan東長町小学校と仙山河川国道事務所は、両観測点間の距離が短く、本震観測記録の特性も類似している。一方で、JR新長町SSPや西方のSmall-Titan二ツ沢に対しては、観測地震動の指標値が大きく異なっている。

### 2.7 牛久市牛久町

Figure 2(f)に示すように、牛久市牛久町周辺では、首都圏強震動総合ネットワークによる3観測点(SK-net牛久、SK-net藤代、SK-net竜ヶ崎)が存在しており、SK-net藤代での本震観測記録が他観測点と比較して、非常に大きな指標値を示している。

### 2.8 総括

以上、上述したとおり、比較的近傍の観測点同士であるにも関わらず観測地震動の特性が大きく異なる場合があり、更に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の影響などが示唆される。よって、対象被災地点(Figure 1参照)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<sup>18)</sup>するだけでは信頼性に乏しく、まず、対象被災地点におけるサイト特性を適切に評価する必要性が示唆される。

## 3. サイト増幅特性の評価

### 3.1 概要

Figure 3に対象被災地点(Figure 1参照)周辺の既存強震観測点における水平方向のサイト増幅特性(地震基盤～地表)を示す。さらに、Figure 4には、南三陸町志津川および牛久市牛久町周辺の既存強震観測点における延長方向のサイト増幅特性(地震基盤～地表)を示す。なお、K-NET歌津、KiK-net志津川、K-NET水沢におけるサイト増幅特性(水平方向)については、スペクトルインバージョンに基づく既存のサイト増幅特性<sup>19)</sup>を採用した。

### 3.2 南三陸町志津川

Figure 3(a)は、(旧・現)JMA志津川、K-NET歌津、KiK-net志津川における水平方向のサイト増幅特性を比較したものである。旧・JMA志津川におけるサイト増幅特性は、まず、旧・JMA志津川とKiK-net志津川で同時に得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、両地点の距離の違いによる補正<sup>20),21)</sup>を考慮したフーリエスペクトル(0.05Hz



(a) Shizugawa, Minami Sanriku Town



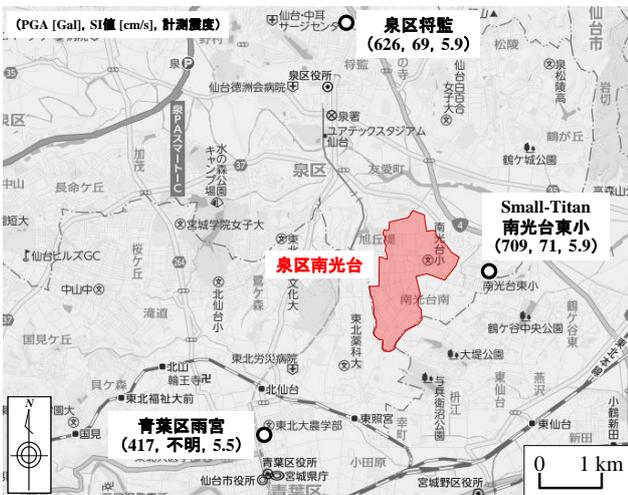
(d) Seikaen, Aoba Ward, Sendai City



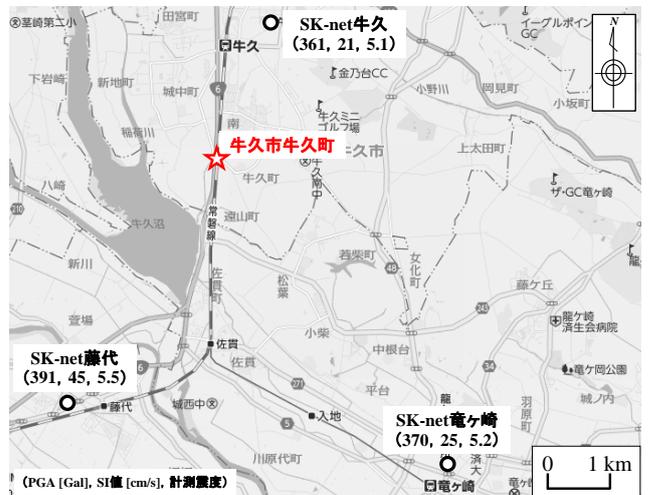
(b) Odaki Viaduct of Tohoku Shinkansen



(e) Nagamachi Viaduct of Tohoku Shinkansen

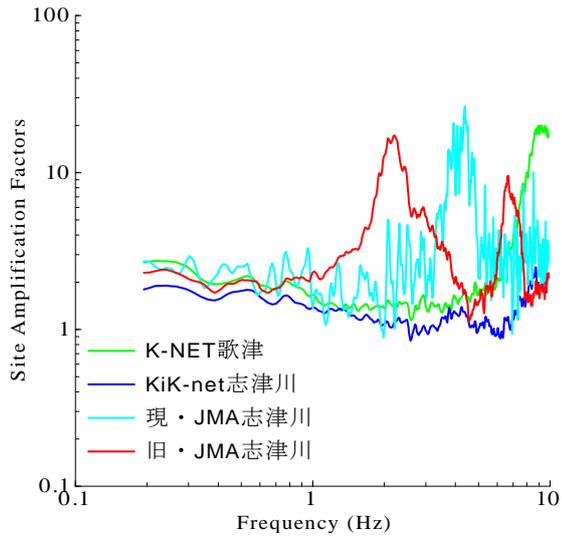


(c) Nankodai, Izumi Ward, Sendai City

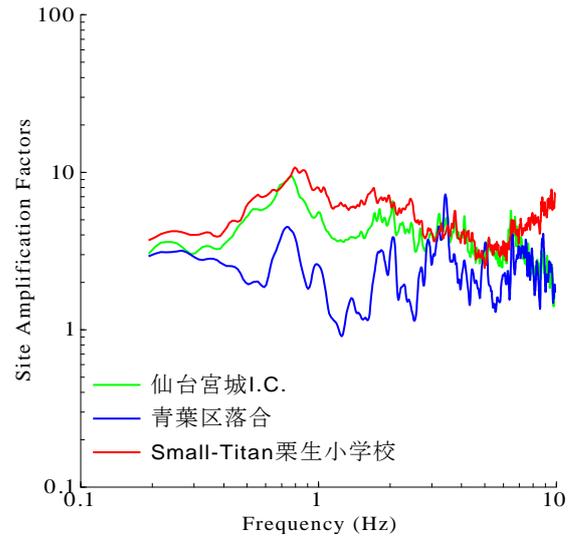


(f) Ushiku Town, Ushiku City

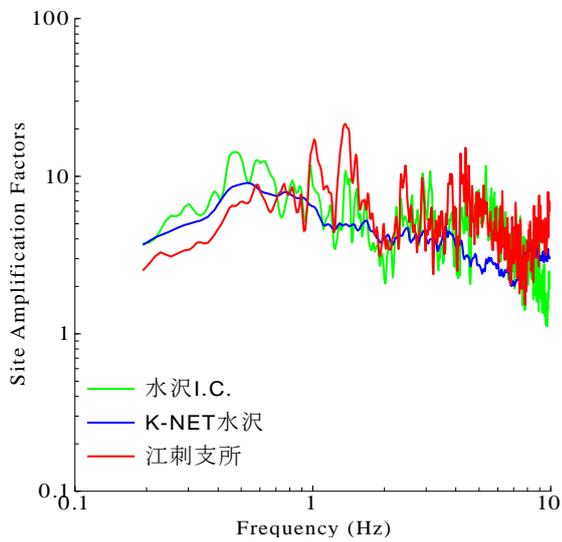
Figure 2 The distribution for observed ground motion records at permanent stations around sites of interest.



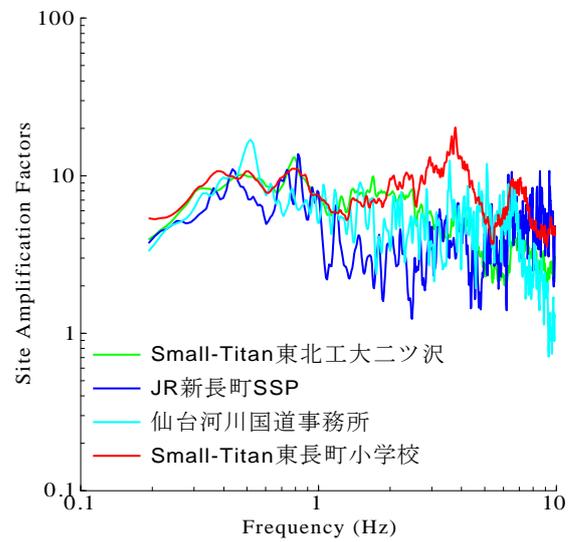
(a) Shizugawa, Minami Sanriku Town



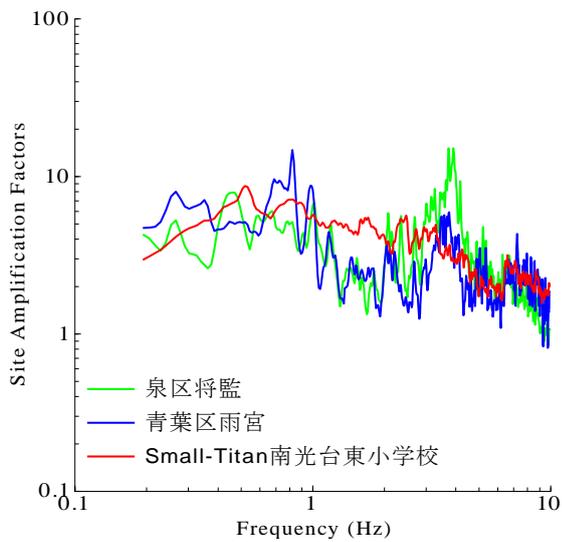
(d) Seikaen, Aoba Ward, Sendai City



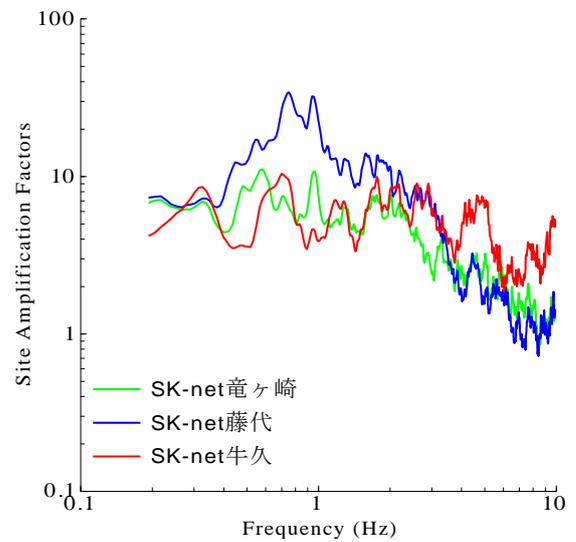
(b) Odaki Viaduct of Tohoku Shinkansen



(e) Nagamachi Viaduct of Tohoku Shinkansen



(c) Nankodai, Izumi Ward, Sendai City



(f) Ushiku Town, Ushiku City

**Figure 3** The comparison of site amplification factor in horizontal direction (from seismic bedrock to ground surface).

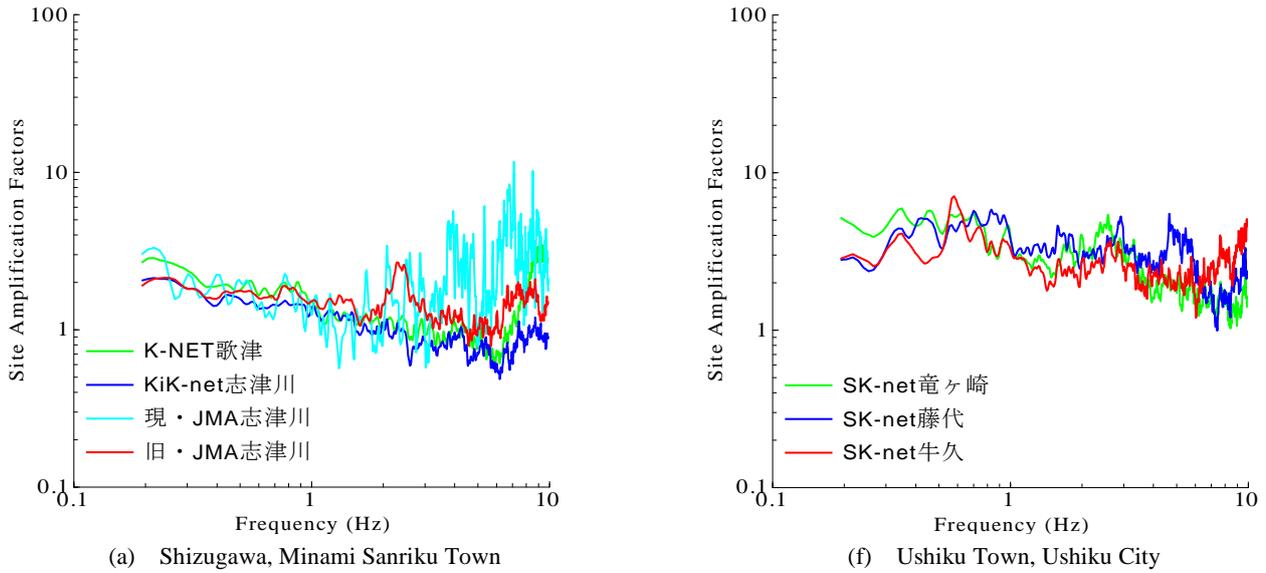


Figure 4 The comparison of site amplification factor in vertical direction (from seismic bedrock to ground surface).

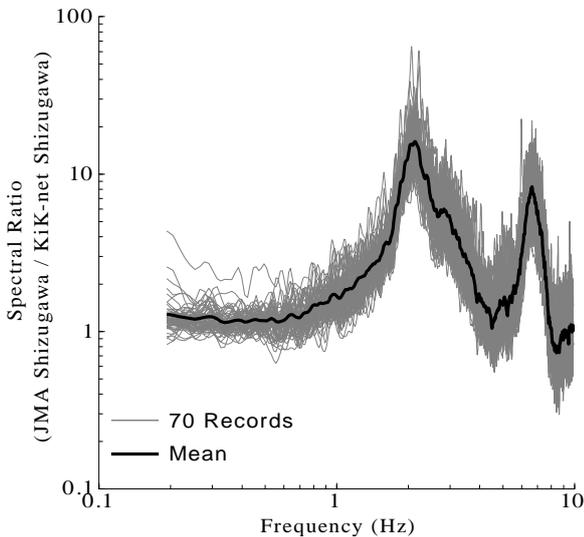


Figure 5 Spectral ratio between previous JMA Shizugawa and KiK-net Shizugawa based on seismic observation records.

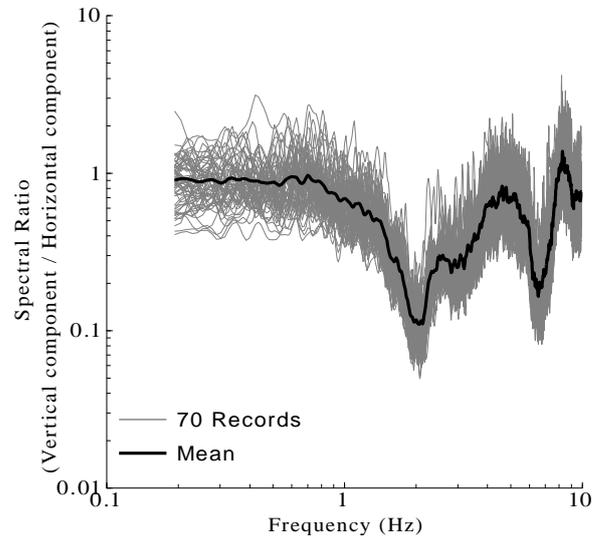


Figure 6 Spectral ratio between horizontal component and vertical component at previous JMA Shizugawa.

のParzen Window考慮)の比率(旧・JMA志津川/KiK-net志津川)を計算し(Figure 5参照), この比率(平均値)をKiK-net志津川における既存のサイト増幅特性<sup>19)</sup>に掛け合わせることで評価<sup>22)</sup>した. なお, 距離の違いによる補正としては, 幾何減衰に関する補正と非弾性減衰<sup>20)</sup>に関する補正を行い, 非弾性減衰を表す $Q$ 値は, 佐藤・巽<sup>21)</sup>による東日本での推定値(海溝型地震もしくは内陸部)を適用した. 現・JMA志津川におけるサイト増幅特性については, 本震後の中小地震観測記録を対象に同様の方法を用いて評価した. Figure 3(a)に示すとおり, 旧・JMA志津川のサイト増幅特性(水平方向)は, 2Hzおよび7Hz付近に明瞭なピーク周波数を有しており, 他観測点でのサイト増幅特性との差異が顕著に表れている.

Figure 4(a)は, (旧・現)JMA志津川, K-NET歌津, KiK-net志津川における鉛直方向のサイト増幅特性を比較したものである. 旧・JMA志津川におけるサイト増幅特性(鉛直方向)は, まず, 旧・JMA志津川での本震前の中小地震観測記録を対象に, フーリエスペクトル(0.05HzのParzen Window考慮)の比率(鉛直方向/水平方向)を計算し(Figure 6参照), この比率(平均値)を旧・JMA志津川における水平方向のサイト増幅特性(Figure 3(a)参照)に掛け合わせることで評価<sup>23)</sup>した. 現・JMA志津川におけるサイト増幅特性については, 本震後の中小地震観測記録を対象に同様の方法を用いて評価した. Figure 4(a)に示すとおり, 旧・JMA志津川のサイト増幅特性(鉛直方向)については, 水平方向で確認された非常に大きな差異

(Figure 3(a)参照)と比較して、他観測点との差異がそれほど大きくなっていない。

### 3.3 愛宕高架橋

Figure 3(b)は、水沢I.C., K-NET水沢, 江刺支所におけるサイト増幅特性(水平方向)を比較したものである。水沢I.C.および江刺支所におけるサイト増幅特性は、K-NET水沢で同時に得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、スペクトル比に基づく方法<sup>22)</sup>を用いて算定した。Figure 3(b)に示すとおり、愛宕高架橋に比較的近い江刺支所では、1Hz付近の周波数帯域におけるサイト増幅特性の卓越が顕著に表れている。

### 3.4 泉区南光台

Figure 3(c)は、泉区将監, 青葉区雨宮, Small-Titan南光台東小学校におけるサイト増幅特性(水平方向)を比較したものである。3観測点におけるサイト増幅特性は、K-NET仙台で同時に得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、スペクトル比に基づく方法<sup>22)</sup>を用いて算定した。Figure 3(c)に示すとおり、泉区南光台近傍にあるSmall-Titan南光台東小学校では、1Hz付近の周波数帯域におけるサイト増幅特性が他観測点(泉区将監および青葉区雨宮)よりも大きくなっている。

### 3.5 青葉区西花苑

Figure 3(d)は、仙台宮城I.C., 青葉区落合, Small-Titan栗生小学校におけるサイト増幅特性(水平方向)を比較したものである。3観測点におけるサイト増幅特性は、K-NET仙台で同時に得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、スペクトル比に基づく方法<sup>22)</sup>を用いて算定した。Figure 3(d)に示すとおり、青葉区西花苑に最も近い青葉区落合の地震観測点では、1Hz付近の周波数帯域におけるサイト増幅特性が他観測点(仙台宮城I.C.およびSmall-Titan栗生小学校)のものを下回っているのが読み取れる。

### 3.6 長町高架橋

Figure 3(e)は、JR新長町SSP, Small-Titan二ツ沢, Small-Titan東長町小学校, 仙台河川国道事務所におけるサイト増幅特性(水平方向)を比較したものである。4観測点におけるサイト増幅特性は、K-NET仙台で同時に得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、スペクトル比に基づく方法<sup>22)</sup>を用いて算定した。Figure 3(e)に示すとおり、長町高架橋(東北新幹線)の南部に近いSmall-Titan東長町小学校におけるサイト増幅特性は、他地点のサイト増幅特性を概ね包絡しているのが読み取れる。一方で、長町高架橋(東北新幹線)の北部に相当するJR新長町SSPのサイト増幅特性は、1Hz付近の周波数帯域におけるサイト増幅特性が他観測点のものよりも小さくなっているのが読み取れる。

### 3.7 牛久市牛久町

Figure 3(f)は、SK-net牛久, SK-net藤代, SK-net竜ヶ崎におけるサイト増幅特性(水平方向)を比較したものである。3観測点におけるサイト増幅特性は、K-NET取手で同時に得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、スペクトル比に基づく方法<sup>22)</sup>を用いて算定した。Figure 3(f)に示すとおり、SK-net藤代では、建造物の地震被災に大きな影響を及ぼすやや短周期帯域<sup>24)</sup>において非常に大きなサイト増幅特性を示している。

Figure 4(f)は、SK-net牛久, SK-net藤代, SK-net竜ヶ崎におけるサイト増幅特性(鉛直方向)を比較したものである。3観測点におけるサイト増幅特性は、各観測点で得られた本震前の中小地震観測記録を対象に、フーリエスペクトルの比率(鉛直方向/水平方向)を計算し、この比率を各観測点における水平方向のサイト増幅特性(Figure 3(f)参照)に掛け合わせるによって評価<sup>23)</sup>した。Figure 4(f)とFigure 3(f)を比較すると、水平方向に比べて鉛直方向では、各観測点間のサイト増幅特性の差異が非常に小さくなっているのが読み取れる。

### 3.8 総括

以上、上述したとおり、対象被災地点周辺では強震観測点毎にサイト増幅特性が異なっており、この傾向は、鉛直方向よりも水平方向のサイト増幅特性の比較においてより顕著に表れている。これは、対象被災地点において臨時の余震観測を実施し、得られた記録に基づいた強震波形計算(サイト特性置換手法<sup>25,26)</sup>, スーパーアスペリティモデル<sup>27)</sup>, 疑似点震源モデル<sup>28)</sup>などによる強震動評価)の実施が必要不可欠であることを示唆している。

## 4. まとめ

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震による被災地点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)を評価した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 対象被災地点周辺では、比較的近距离においても観測点毎にサイト増幅特性が異なっているため、対象被災地点におけるサイト増幅特性についても、周辺観測点と比較して異なる特徴を示す可能性が高い。
- 2) 対象被災地点における本震時の強震動評価を実施する際には、対象被災地点において臨時の余震観測を実施し、得られた記録に基づいて対象被災地点でのサイト増幅特性を予め算定しておく必要がある。

今後は、対象被災地点において臨時の余震観測を実施していく予定である。

## 謝辞

本研究では、(独)防災科学技術研究所K-NET/KiK-net, 気象庁JMA, 国土交通省MLIT, NEXCO東日本(株), 東北工業大学Small-Titan, JR東日本(株), 東京大学地震研究所SK-net(茨城県), 地方自治体(岩手県および宮城県)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。本研究の遂行にあたり、(公社)土木学会地震工学委員会東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会(委員長:幸左賢二九州工業大学教授)の委員の皆様、および(公社)土木学会地震工学委員会リスク評価に基づく道路構造物・ネットワークの耐震設計に関する合同委員会(委員長:澤田純男・多々納裕一(京都大学防災研究所教授))の委員の皆様には、有益なご意見をいただきました。また、科学研究費補助金・基盤研究B「ダイナミック地すべり現象学の新展開(代表:釜井俊孝(京都大学防災研究所教授))」の一部を使用しました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 川島一彦, 西岡勉, 高橋良和, 秋山充良, 渡邊学歩, 古賀裕久, 松崎裕: 橋梁の被害調査, 第9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) 宮城県気仙沼土木事務所: 東日本大震災一公共土木施設の被害・応急復旧状況一, 平成23年9月, 2011.
- 3) 高橋良和: 新幹線の被害(主に岩手県内の被害を中心として), 2011年東北地方太平洋沖地震被害調査, 平成23年4月, 2011.
- 4) 岩城一郎: 東日本大震災コンクリート委員会・構造工学委員会合同調査団一次調査報告(速報版), 平成23年4月, 2011.
- 5) 釜井俊孝: 2011年東北地方太平洋沖地震によって発生した造成地盤の地すべり(第2報), 2011年東北地方太平洋沖地震災害調査報告(2011年6月30日公開版), 京都大学防災研究所斜面災害研究センター, 2011.
- 6) 秋山充良: 東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況と今後の課題, 第4回CAESAR講演会, 平成23年8月, 2011.
- 7) 東日本旅客鉄道株式会社: 水戸支社管内被害状況, 平成23年3月19日公開資料(速報), 2011.
- 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, 日本地震工学会, pp.3073-3080, 2010.
- 9) Aoi, S., Kunugi, T. and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiK-net, *Jour. Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Kamiyama, M., Matsukawa, T. and Anazawa, M.: Strong ground motions observed by Small-Titan during the 2011 Great East Japan Earthquake, *Joint Conference Proc. of 9th International Conference on Urban Earthquake Eng. / 4th Asia Conference on Earthquake Eng.* (CD-ROM), 10p., Tokyo, Japan, 2012.
- 14) 鷹野澄, 瀧瀬一起, 工藤一嘉, 古村孝志, 山中佳子, ト部卓, 土井恵治: 首都圏強震動総合ネットワークSK-net, 記念シンポジウム「日本の強震観測50年」一歴史と展望一講演集, 防災科学技術研究所資料, No.264, pp.119-122, 2005.
- 15) Housner, G. W.: Intensity of earthquake ground shaking near the causative fault. *Proc. of 3rd World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, pp.94-115, 1965.
- 16) 気象庁: 加速度データ(95型震度計波形データ), (一財)気象業務支援センター(DVD-ROM), 2012.
- 17) 秦吉弥, 釜井俊孝, 王功輝, 野津厚: 仙台・折立団地における地盤震動特性の評価, 第32回地震工学研究発表会講演論文集(CD-ROM), 土木学会, pdfNo.2-339, 2012.
- 18) 秦吉弥, 野津厚, 中村晋, 一井康二, 酒井久和, 丸山喜久: 2011年東北地方太平洋沖地震で被災した橋梁での余震観測と地震動の推定, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.3, pp.49-52, 2012.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) (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.
- 23) 秦吉弥, 一井康二, 村田晶, 野津厚, 宮島昌克: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した線状構造物における地震動の推定とその応用—2007年能登半島地震での道路被災を例に—, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, pp.799-815, 2010.
- 24) 川瀬博: 震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能—1995年兵庫県南部地震での震災帯の成因に学ぶ—, 第10回日本地震工学シンポジウムパネルディスカッション資料集, pp.29-34, 1998.
- 25) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: A practical method to estimate strong ground motions after an earthquake, based on site amplification and phase characteristics, *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, Vol.101, No.2, pp.688-700, 2011.
- 26) Hata, Y., Nozu, A., Nakamura, S., Takahashi, Y. and Goto, H.: Strong motion estimation at the elevated bridges of the Tohoku Shinkansen damaged by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake based on extended site effects substitution method, *Proc. of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, pp.418-429, Tokyo, Japan, 2012.
- 27) 野津厚: 2011年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.2, pp.21-40, 2012.
- 28) 野津厚: 強震動を対象とした海溝型巨大地震の震源モデルをより単純化する試み, 地震, 第2輯, pp.45-67, 2012.

平成25年1月10日 受理