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

秦吉弥¹⁾, 野津厚²⁾, 中村晋³⁾, 一井康二⁴⁾, 酒井久和⁵⁾, 丸山喜久⁶⁾

1) 正会員 日本工営(株)中央研究所, 主任研究員 博(工)

e-mail : hata-ys@n-koei.jp

2) 正会員 (独)港湾空港技術研究所地震動研究チーム, チームリーダー 博(工)

e-mail : nozu@pari.go.jp

3) 正会員 日本大学工学部土木工学科, 教授 工博

e-mail : s-nak@civil.ce.nihon-u.ac.jp

4) 正会員 広島大学大学院工学研究院, 准教授 博(工)

e-mail : ichiikoji@hiroshima-u.ac.jp

5) 正会員 広島工業大学工学部建築工学科, 准教授 博(工)

e-mail : h-sakai@cc.it-hiroshima.ac.jp

6) 正会員 千葉大学大学院工学研究科, 准教授 博(工)

e-mail : ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

要 約

2011年東北地方太平洋沖地震では、茨城県北浦にかかる鹿行大橋で落橋が発生した。被害原因の究明を図る上で、当該地点における地震動を明らかにすることが必要である。そこで、本研究では、橋梁の東岸・西岸等において余震観測を実施し、得られた記録についてフーリエ振幅・位相特性に着目した解析を行った。その結果、橋梁から10kmほど北のJMA 鉾田での本震記録を橋梁に作用した地震動と見なすことが可能と考えられる。

キーワード：地震動, 余震観測, サイト特性, 鹿行大橋, 2011年東北地方太平洋沖地震

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(M_w 9.0)の際、茨城県北浦にかかる鹿行大橋では、3径間分の上下部構造が失われる甚大な被害が発生した¹⁾。被害原因の究明を図る上で、当該地点における地震動を明らかにすることが必要である。そこで本研究では、まず、橋梁の東岸・西岸、本震記録は得られていないが最寄りの強震観測点であるSK-net北浦の計3地点において余震観測を実施した。次に、得られた記録に関して、フーリエ振幅・位相特性に着目した解析を行い、橋梁における本震時の地震動の推定を行った。

2. 橋梁周辺の本震記録

図1は、橋梁周辺に存在する強震観測点の分布と、観測点で得られた本震記録(最大速度値(3成分合成)、計測震度、SI値(水平2成分平均))を示したものである。本震記録が得られていない観測点ではそれらの数値を示していない。橋梁に比較的近い首都圏強震動総合ネットワークSK-net²⁾の観測点(SK-net北浦など)では、本震の波形データが残されていない。また、橋梁から10km程度以上離れたところでは本震記録が得られているが、場所毎の違いが大きい。例えば、K-NET鉾田とJMA鉾田ではSI値が1.6倍程度異なっている。これらの情報だけでは、本震時に橋梁に作用した地震動を推定することは困難である。

3. 鹿行大橋での余震観測

そこで本研究では、橋梁に作用した地震動の推定に資することを目的として、図2に示すように、橋梁の東岸および西岸の2地点において短期間の余震観測を行った。地震計は、加速度計(一体型微動探査兼地震計機器³⁾)を採用し、サンプリング周波数は100Hzとした。観測方向は、NS、EW、UDの3成分であり、観測期間は、震災復旧工事の休工期等に配慮して、2011年12月23-25日および2011年12月29日-2012年1月2日とした。さらに本研究では、図2の枠内に示すように、最寄りの強震観測点であるSK-net北浦(の極近傍)においても地震計を設置し、余震観測を行った。これは、SK-net(茨城県)による観測記録は公開までに一定の期間を要すること、公開が一定の規模を有する地震の記録に限られていることを考慮し、上述した短期間の観測で、橋梁東岸・西岸と比較可能な記録を得ることを目的として実施したものである。観測条件は、橋梁東岸・西岸での余震観測条件と同様である。その結果、以下に示す4地震を3観測点(橋梁東岸・西岸、SK-net北浦サイト)で同時に得ることができた。

- ・EQ-1 : 2011/12/23 23:44 茨城県南部の地震 (Mj4.2)
- ・EQ-2 : 2011/12/25 12:36 茨城県沖の地震 (Mj4.1)
- ・EQ-3 : 2011/12/31 08:11 茨城県北部の地震 (Mj4.5)
- ・EQ-4 : 2012/01/01 14:27 鳥島近海の地震 (Mj7.0)

4. 観測記録の分析

図3に上記4地震による水平2成分合成のフーリエスペクトルの比率(橋梁東岸・西岸/SK-net北浦サイト)を示す。図3に示すように、SK-net北浦サイトに対して橋梁東岸および西岸ともに、フーリエスペクトルの比率は概ね1.0付近で推移しており、地震間の違いも極めて小さい。従って、3観測点(橋梁東岸・西岸、SK-net北浦サイト)におけるサイト特性はほぼ共通であると考えられる。ここまでの検討から、SK-net北浦と鹿行大橋では本震時の地震動はほぼ共通と考えられるが、SK-net北浦自体の本震時の地震動が不明である。そこで、以下においては、本震記録の得られている周辺観測点の中に、SK-net北浦とサイト特性が共通と見なすことの出来る地点が存在しないか検討を行う。それには、SK-net北浦で豊富に得られている本震前の中小地震観測記録を利用する。図4にSK-net北浦とその周辺の強震観測点におけるサイト増幅特性(フーリエ振幅の地震基盤～地表までの増幅率)を示す。これらの評価手順は以下のと

図1 鹿行大橋周辺の強震観測点分布

図2 余震観測点 (枠内はSK-net北浦サイトでの観測状況)

図3 SK-net北浦サイトとのフーリエスペクトルの比率

図4 サイト増幅特性の比較

おりである。まず、本震後の地盤非線形性の継続に配慮して、SK-net北浦とK-NET鉾田で同時に得られた本震前の中小地震観測記録(地震数33・マグニチュード4.5～7.0・PGV=1.0～5.8cm/s)を対象に、両地点の距離の違いによる補正⁴⁾⁵⁾を考慮した水平2成分合成のフーリエスペクトルの比率(SK-net北浦/K-NET鉾田)を計算した。次に、この比率をK-NET鉾田における既存のサイト増幅特性⁶⁾に掛け合わせることでSK-net北浦におけるサイト増幅特性を評価⁷⁾した。文献6)で評価されていないSK-net潮来、JMA鹿嶋、JMA鉾田のサイト増幅特性についても、本震前の観測記録に基づき同様の方法を用いて評価⁷⁾した。図4より、SK-net北浦とJMA鉾田のサイト増幅特性が比較的類似していることが確認できる。図5は、JMA鉾田での本震記録の速度波形(観測波)と、観測波のフーリエ振幅特性を用いて、フーリエ位相特性のみ茨城沖の地震(2008/05/08 01:45 M_w 6.7)のフーリエ位相特性⁸⁾に置き換えた合成速度波形(置換波：赤線)を水平2成分について比較したものである。一方、図5には、同じ茨城沖の地震によるSK-net北浦でのフーリエ位相特性を利用した合成速度波形(置換波：青線)も同時に示している。図5に示すとおり、観測波と2種類の置換波が共に良い一致を示している。このように、フーリエ振幅のみならずフーリエ位相の観点からも、SK-net北浦とJMA鉾田のサイト特性には共通性が見られる。さらに、両地点への影響が大きかったと考えられる茨城沖のサブイベント⁸⁾から両地点への距離も概ね同等であることを考慮すると、JMA鉾田で観測されている本震時の地震動をSK-net北浦、さらには鹿行大橋における本震時の地震動と見なすことが可能であると考えられる。なお、一般に地震動を推定しようとする地点と、その周辺の観測記録が得られている地点の間でサイト特性が類似していない場合、サイト特性を補正して地震動を推定する方法(例えば、サイト特性置換手法⁹⁾)も提案されているが、サイト特性置換手法に内在する推定誤差⁹⁾と比較して、図4に示すSK-net北浦とJMA鉾田のサイト増幅特性の差は十分に小さいと判断される。さらに、このサイト増幅特性の差が応答スペクトルに及ぼす影響は非常に小さいことも確認済みである。

図5 SK-net北浦とJMA鉾田におけるサイト位相特性の類似性の評価

5. まとめ

本研究では、2011東北地方太平洋沖地震における鹿行大橋での地震動を推定するため、橋梁の東岸・西岸等で余震観測を行い、得られた記録についてフーリエ振幅・位相特性に着目した解析を行った。その結果、橋梁から10kmほど北のJMA鉾田での本震観測記録を橋梁に作用した地震動と見なすことが可能と考えられる。なお、JMA鉾田での地震動は周辺の本震観測記録と比較して極端に大きなものではないことから(図1参照)、鹿行大橋の被害は、局所的な地震動の増幅によるものではないと考えられる。また、JMA鉾田の本震観測記録は、地表面で得られたものであるため、鹿行大橋における動的解析などに利用する場合には、適切な地盤モデル・解析手法により工学的基盤の地震動を別途計算する必要がある。

謝 辞

防災科研、気象庁、茨城県、国総研の地震観測記録を使用しました。記して謝意を表します。本研究は、(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(京都大学防災研究所教授))の活動の一環として実施したものです。

参考文献

- 1) たとえば, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人土木研究所: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報, 国総研資料No.646・土研資料No.4202, 2011年, pp.377-462.
- 2) 鷹野澄, 瀨瀬一起, 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, 防災科学技術研究所資料, No.264, 2005年, pp.119-122.
- 3) 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年.
- 4) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *BSSA*, Vol.73, 1983, pp.1865-1894.
- 5) 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, 2002年, pp.15-24.
- 6) 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, 2007年, pp.215-234.
- 7) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), 2007年, pp.336-341.
- 8) 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, 2012年, pp.21-40.
- 9) 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, *BSSA*, Vol.101, No.2, 2011, pp.688-700.

(受理: 2012年 2月29日)

(掲載決定: 2012年 6月 8日)

Ground Motion Evaluation at the Rokko Bridge for the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

HATA Yoshiya ¹⁾, NOZU Atsushi ²⁾, NAKAMURA Susumu ³⁾, ICHII Koji ⁴⁾,
SAKAI Hisakazu ⁵⁾ and MARUYAMA Yoshihisa ⁶⁾

1) Member, Senior Researcher, R&D Center, Nippon Koei Co., Ltd, Dr. Eng.

2) Member, Head of Engineering Seismology Division, Port and Airport Research Institute, Dr. Eng.

3) Member, Professor, Faculty of Civil Eng., Nihon University, Dr. Eng.

4) Member, Associate Professor, Graduate School of Eng., Hiroshima University, Dr. Eng.

5) Member, Associate Professor, Faculty of Eng., Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

6) Member, Associate Professor, Graduate School of Eng., Chiba University, Dr. Eng.

ABSTRACT

During the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Rokko Bridge, Ibaraki Prefecture, Japan, suffered significant damage including loss of two piers and three spans. In this study, to evaluate ground motions at the damage site, temporary aftershock observation was conducted at the site. The evaluated site amplification and phase effects between the damage site and JMA Hokota site are very similar. It indicates that the observed ground motions at JMA Hokota site during the 2011 main shock can be regarded as the ground motion at the damage site.

Key Words: Ground motion, Aftershock observation, Site effects, Rokko Bridge,

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake