

平成28年熊本地震の余震観測に基づく サイト増幅特性の分析

中尾 吉宏¹・片岡 正次郎²

¹非会員 工修 国土技術政策総合研究所道路地震防災研究室 主任研究官（〒305-0804 つくば市旭1）

²正会員 工博 国土技術政策総合研究所道路地震防災研究室 室長（〒305-0804 つくば市旭1）

1. はじめに

平成28年熊本地震では、4月14日21時26分頃、熊本県熊本地方でM6.5の地震が発生した。これに続き、4月16日1時25分頃に同地方でM7.3の地震（以下、本震とする。）が発生し、それぞれの地震で最大震度7が観測された¹⁾。これらの地震で生じた強い地震動により、土木施設に多くの被害が発生するとともに、斜面崩壊などの多くの地盤災害も発生した²⁾。

道路橋については、橋の診断や復旧方法等の技術的助言を道路管理者に提供することや、これまでに実施してきた耐震対策や技術基準等を検証することを目的として、地震発生後直後から被害状況等の調査が進められてきた²⁾。そうした調査の結果や、既往の強震観測施設により得られた強震記録^{2), 3), 4)}を分析することにより、道路橋の耐震設計で考慮されている設計地震動等の検証が行われた⁵⁾。こうした検証は、強震記録には実際に観測された事実としての重みがあること、また、地震により生じた道路橋被害は経験上の事実としての重みがあることを踏まえて行われたものであると考えられるが、被害が生じた道路橋近傍のサイト増幅特性について、理解を深めるための分析を進めることにも意義がある。現に、被災橋梁もしくはその近傍において臨時地震観測を行い、得られた観測記録に基づいてサイト増幅特性等を評価する取り組みがなされている⁶⁾。

本稿では、熊本地震で被害が生じた熊本県道28号の大切畑大橋及び熊本県道熊本高森線の扇の坂橋の近傍で余震観測を行い、余震観測により得られた強震記録や、周辺地域の既存の強震観測施設で得られた強震記録を分析することで、これら道路橋の近傍におけるサイト増幅特性について検討した結果を報告する。

2. 対象橋梁地点における余震観測

(1) 強震計の設置

大切畑大橋及び扇の坂橋の位置を図-1に示す。また、これらの対象橋梁地点で余震観測を行った強震計の設置位置を、図-2に示す。大切畑大橋では、A1及びA2橋台と谷部のP3橋脚の近傍の計3箇所で、扇の坂橋では、A1及びA2橋台と谷部のP1橋脚の近傍の計3箇所で余震観測を行った。強震計は、写真-1に示すように、各所にコンクリート台座（約70cm×70cm）を設置した上で、アンカーで固定設置した。

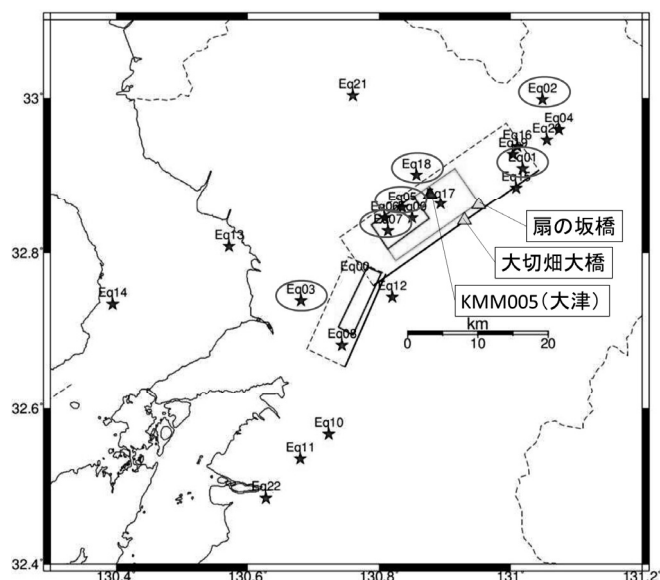
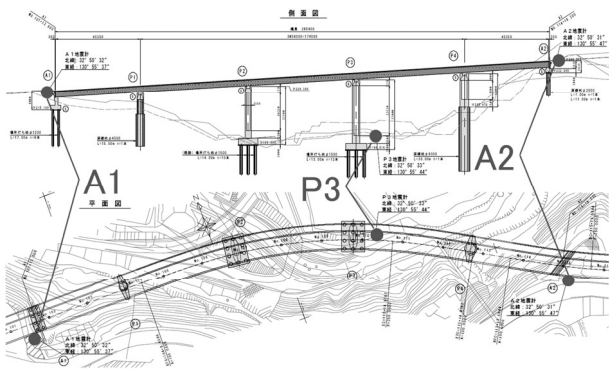
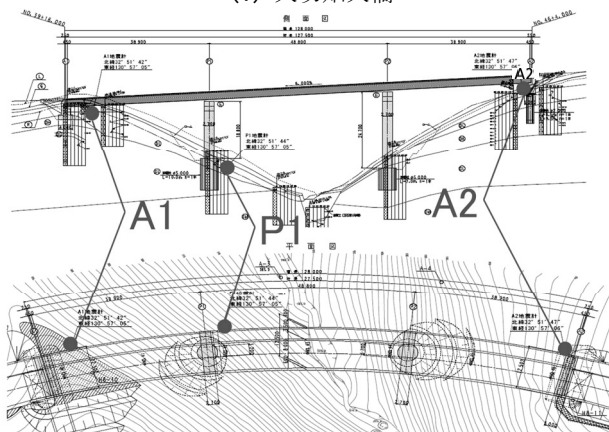


図-1 大切畑大橋及び扇の坂橋の位置



(1) 大切畑大橋



(2) 扇の坂橋

図-2 強震計の設置位置

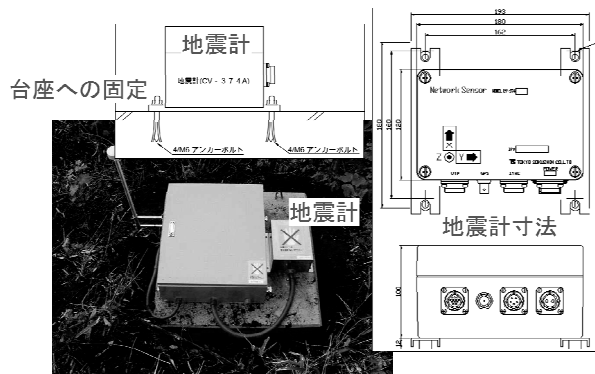


写真-1 強震計と台座

(2) 余震記録の取得状況

余震観測は、平成28年11月中旬から平成29年2月中旬まで行い、合計22地震の余震記録が得られた。記録が得られた余震は、気象庁マグニチュードMjが2.1～3.9で、震源深さ15km以浅の地震である。本検討では、余震記録が得られた22地震のうち、対象橋梁地点の複数の観測点で同一の地震により余震記録が得られており、サイト増幅特性の検討で基準観測点とするK-NET³⁾のKMM005（大津）でも余震記録が得られている表-1の地震の観測記録を用いた。ここで、平成28年11月18日の地震では大切畑大橋のP3地点で、また、平成28年11月29日の地震では扇の坂橋のA1地点で余震記録が得られていないが、それ以外の地震は全地点で余震記録が得られている。図-1に対象橋梁地点と余震記録を取得した地震の震

央を示しており、検討対象に用いた地震に赤丸を付している。また、図には、本震の震源断層⁸⁾も示している。検討対象とする地震は、震源近傍で発生したものである。

表-1 余震観測により得られた強震記録

地震ID	地震発生日時	震央 (deg.)		震源深さ (km)	Mj
		緯度	経度		
Eq.1	平成28年11月18日 9:15	32.910	131.018	8	2.8
Eq.2	平成28年11月22日 10:15	32.998	131.048	8	3.2
Eq.3	平成28年11月23日 20:10	32.738	130.680	13	3.6
Eq.5	平成28年11月29日 2:33	32.858	130.835	14	2.9
Eq.7	平成28年12月2日 6:19	32.828	130.813	8	3.6
Eq.18	平成29年1月11日 19:11	32.902	130.857	9	3.4

※1 地震の諸元は、気象庁の震度データベース⁷⁾に基づいて整理。

3. 対象橋梁地点のサイト増幅特性

(1) 観測された余震記録

大切畑大橋及び扇の坂橋の周辺に設置した強震計と、KMM005（大津）において得られた余震記録のフーリエスペクトル F_{obs} を、震源距離 10km 相当に補正⁹⁾ ¹⁰⁾したフーリエスペクトル F_{10km} を図-3～8に示す。図には、対象橋梁地点及び KMM005 で得られた余震記録の F_{10km} を、それぞれ、赤色及び青色で示している。 F_{10km} は、観測記録の NS 成分と EW 成分のフーリエスペクトルの値を二乗和平均し、幅 0.05Hz の Parzen ウィンドウで平滑化している。また、図-3～8 には、表-1 に示した地震のうち、Eq.2、Eq.7 及び Eq.18 に対する F_{10km} を事例として示している。

図-3～8 から、 F_{10km} は振動数が低くなるにつれて減少する傾向があるが、低い振動数で減少が止まる。これは、低い振動数の地震動成分が小さいために、観測上の限界が現れたものであると考えられる。 F_{10km} の減少が止まる振動数は、地震によって異なるが、多くの場合 0.5Hz 程度以下となっており、結果の解釈に留意が必要である。

また、図-3～8 には、対象橋梁地点と KMM005 の F_{10km} のフーリエスペクトル比（対処橋梁地点 / KMM005）を示しており、列毎に整理した地震（Eq.2、Eq.7及びEq.18）に対するフーリエスペクトル比が赤色で、表-1に示したそれ以外の余震に対するフーリエスペクトル比が灰色で、また、表-1の全地震に対するフーリエスペクトル比の対数平均を黒色で示している。図から、フーリエスペクトル比が卓越する振動数は、同一地点でも地震毎にばらつきがあるが、例えば、大切畑大橋のA1地点では1.5～4Hz程度で、扇の坂橋のA2地点では5Hz付近と8Hz付近が卓越しており、地点毎に異なる傾向があることが確認できる。また、同じ地点で求めたフーリエスペクトル比でも、その大きさには地震毎のばらつきがあり、その上限が下限に対して10倍以上異なるケースも確認できる。

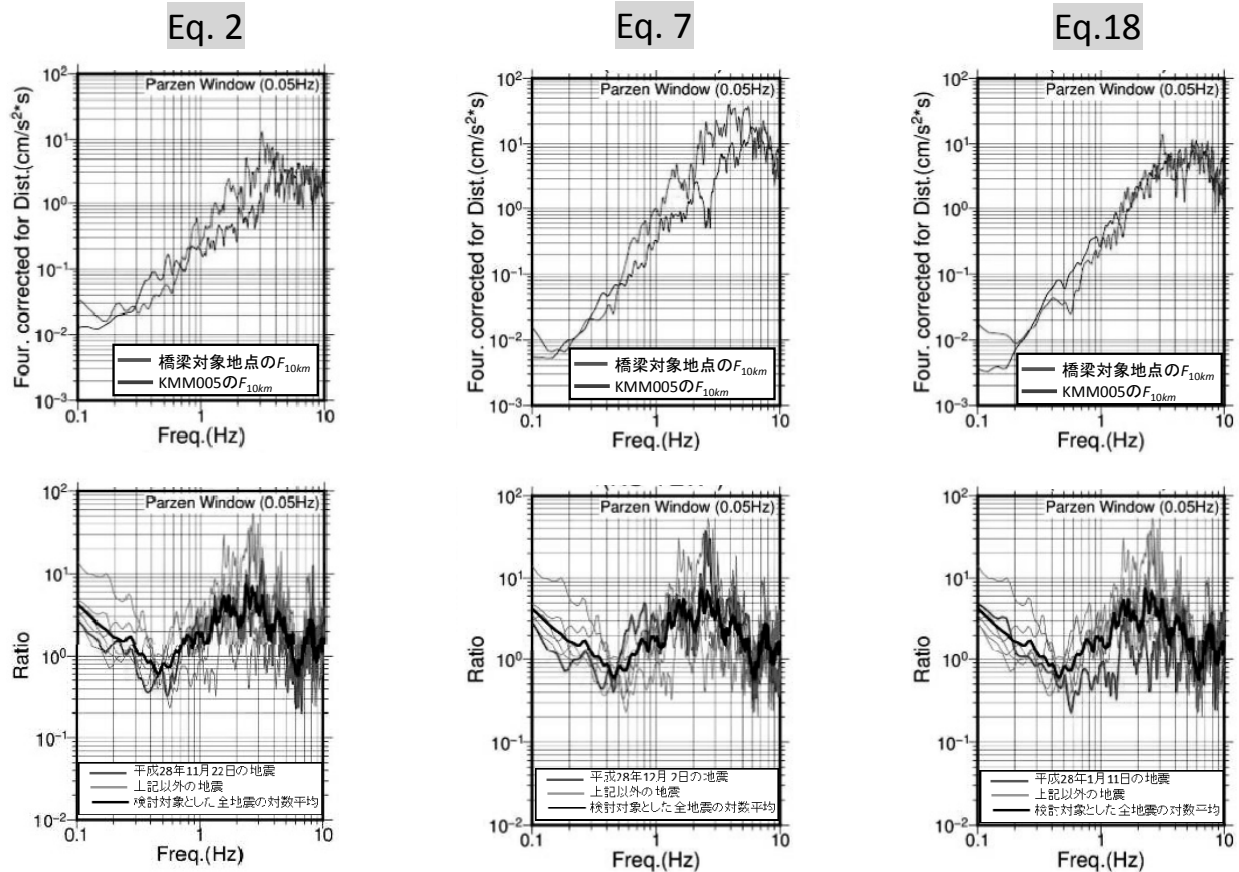


図-3 大切畑大橋 A1 地点の余震記録

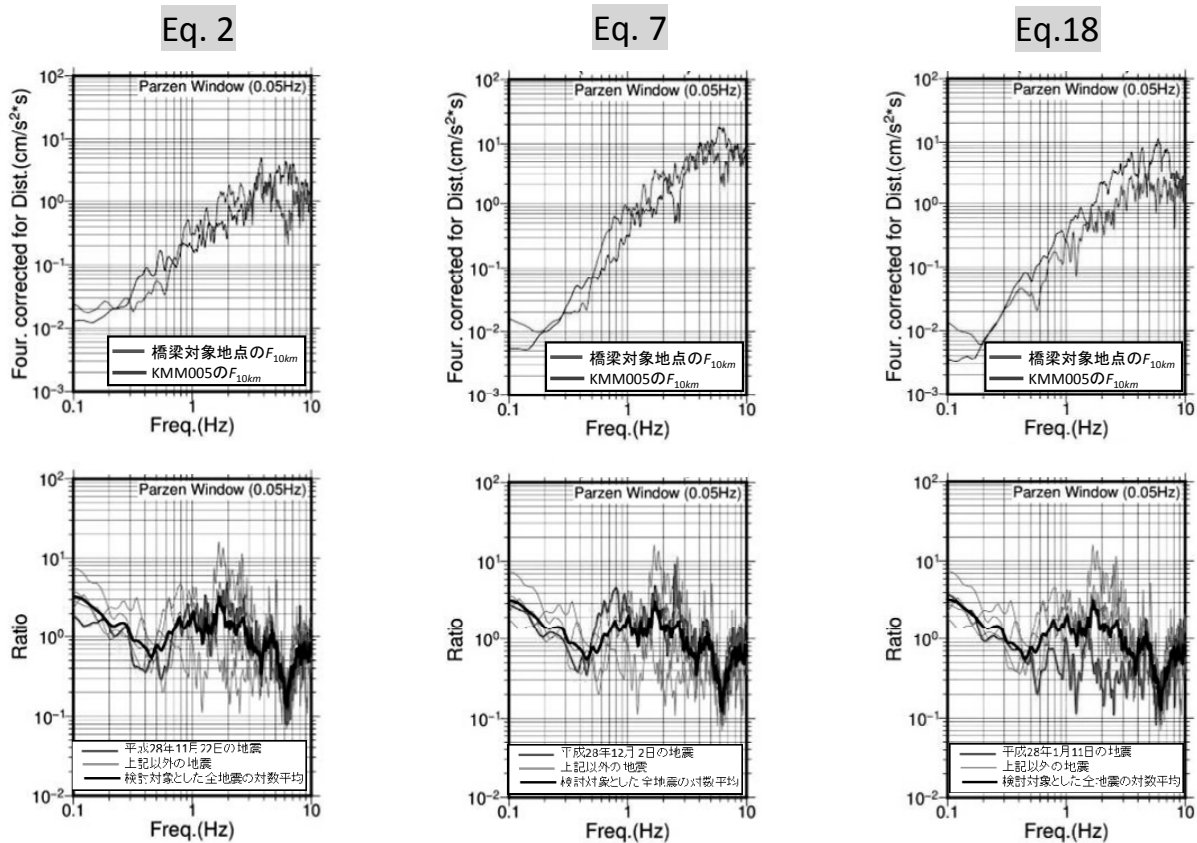


図-4 大切畑大橋 P3 地点の余震記録

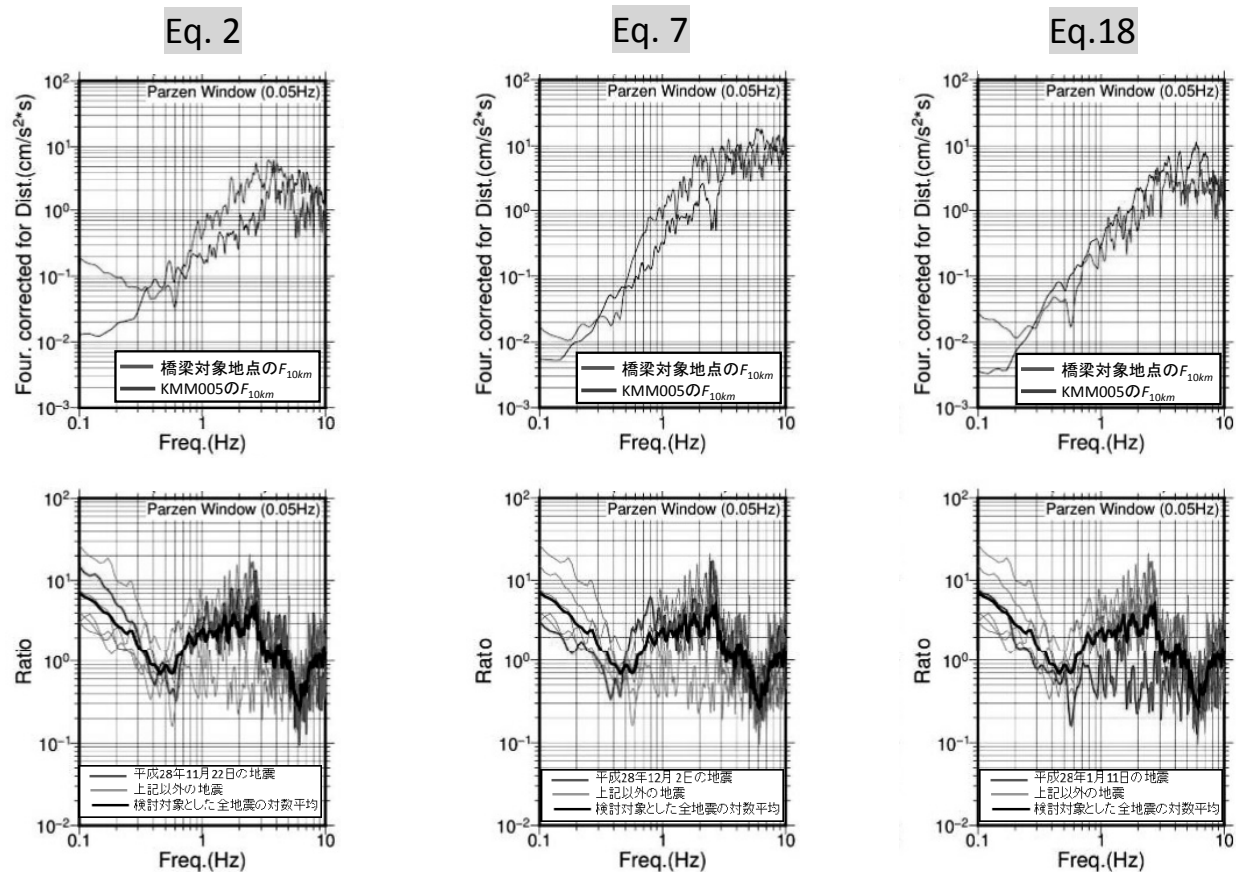


図-5 大切畑大橋 A2 地点の余震記録

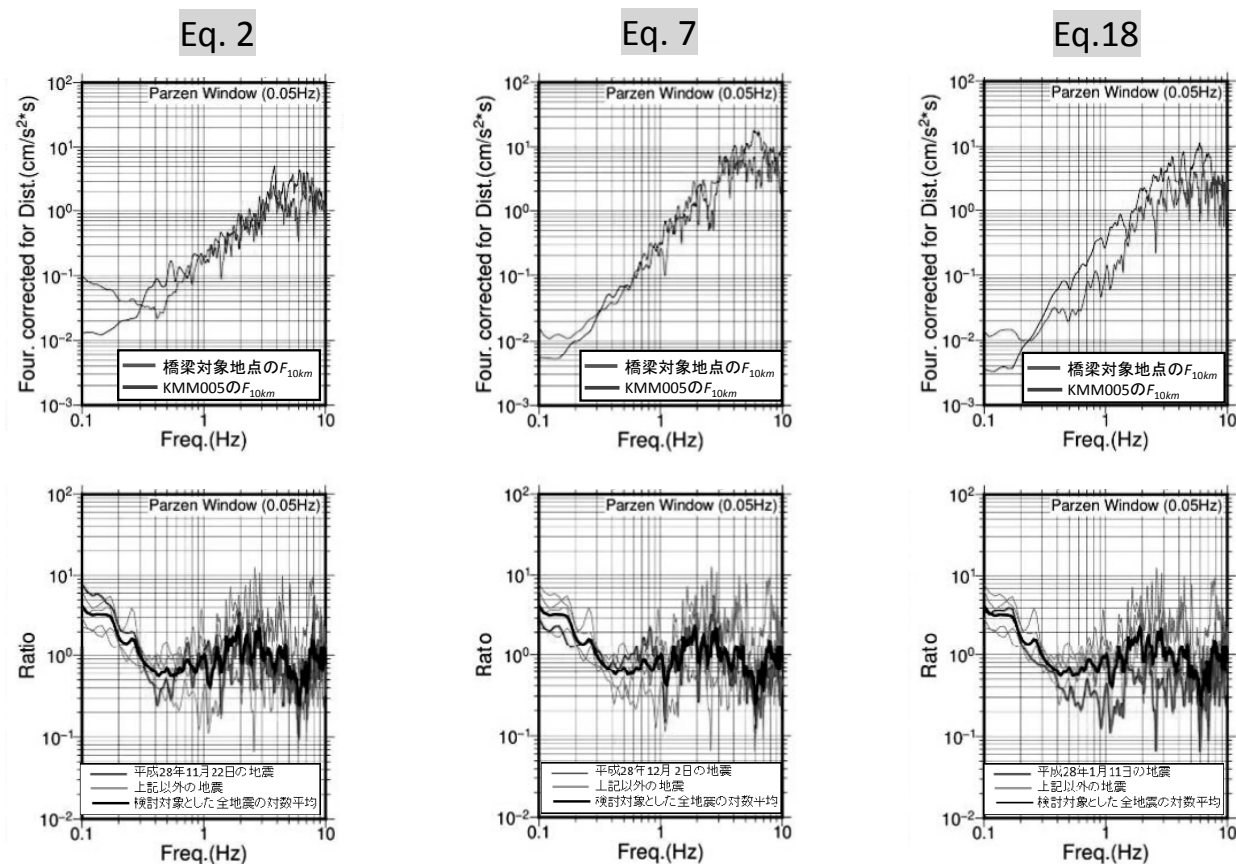
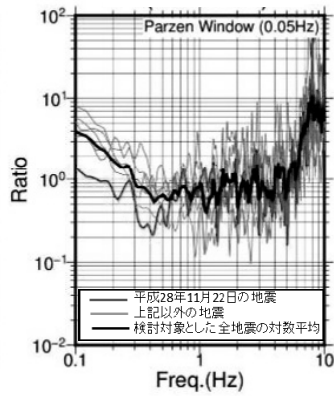
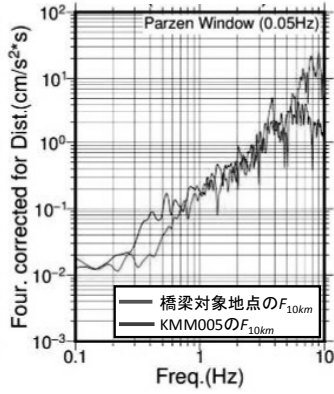
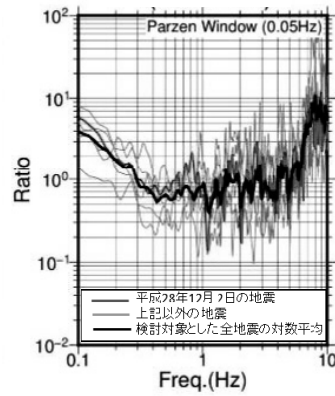
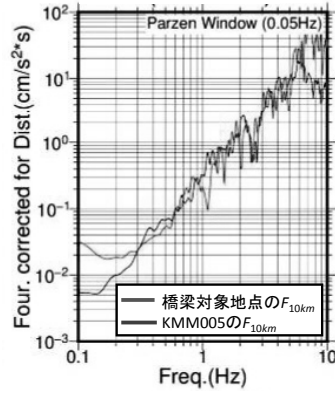


図-6 扇の坂橋 A1 地点の余震記録

Eq. 2



Eq. 7



Eq.18

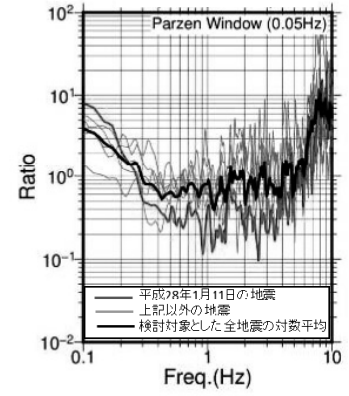
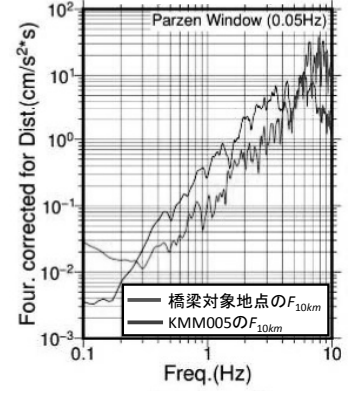
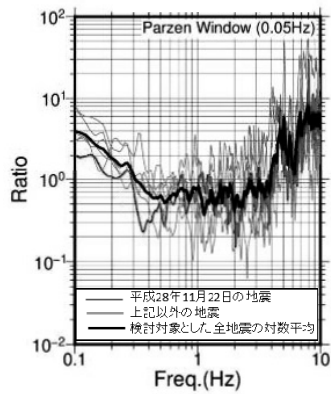
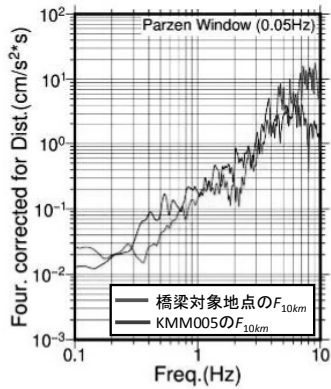
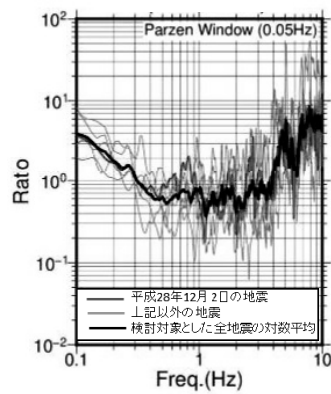
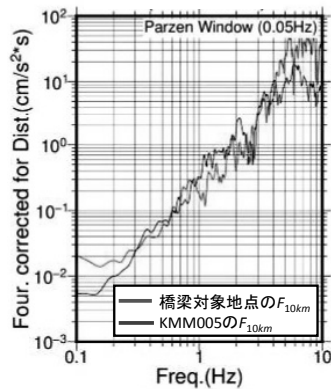


図-7 扇の坂橋 P1 地点の余震記録

Eq. 2



Eq. 7



Eq.18

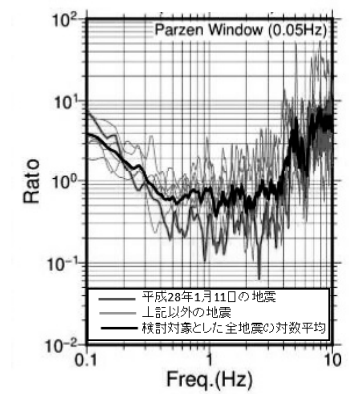
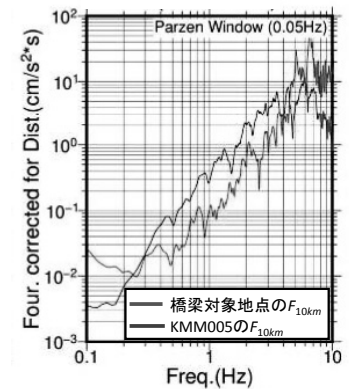


図-8 扇の坂橋 A2 地点の余震記録

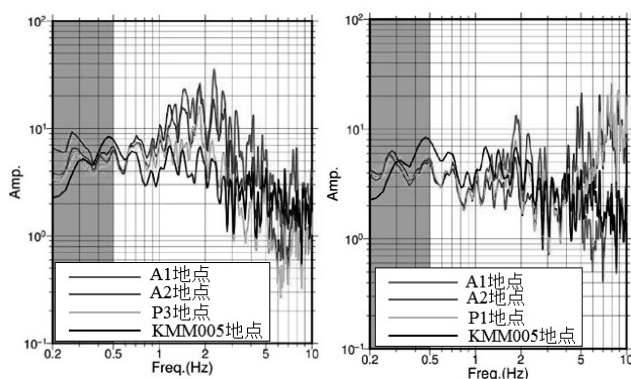
(2) 対象橋梁地点のサイト増幅特性

野津・長尾 (2005)¹¹⁾は、スペクトルインバージョンにより全国の港湾観測点やK-NET等の観測点におけるサイト増幅特性を検討し、KMM005における地震基盤～地表の地盤増幅を評価している。KMM005に対する対象橋梁地点の地震基盤～地表の地盤増幅の相対的な比率を表した図-3～8のフーリエスペクトル比に、野津・長尾 (2005) が求めたKMM005の地盤増幅を掛け合わせることで、対象橋梁地点における地震基盤～地表のサイト増幅特性を評価した。結果を図-9に示す。なお、KMM005に対する対象橋梁地点の地震基盤～地表の地盤増幅の相対的な比率を表すフーリエスペクトル比としては、検討対象の全地震に対して求めたフーリエスペクトル比の対数平均を用いた。野津・長尾 (2005) は、0.2～10Hzを対象としてKMM005における地震基盤～地表の地盤増幅を評価しているものの、既述の通り、本検討で求めたフーリエスペクトル比が有意なのは、0.5Hz程度以上の振動数であり、図-9には0.5Hz以下の帯域に灰色ハッチを付している。

図-9から、大切畑大橋では、地点毎 (A1, A2, P3) の地盤増幅が卓越する振動数が似通っており、1～3Hz程度で卓越した地盤増幅が確認できる。また、地盤増幅の大きさにはA1, A2>P3の関係がある。図-2(1)より、P3は谷部であるにもかかわらず橋台部 (A1及びA2) と地盤増幅の卓越する振動数が似通っている。また、橋台部の方が谷部に比べ地盤増幅が大きい。

一方、扇の坂橋では、A2地点で5Hz程度以上、P1地点で6Hz程度以上の比較的高い振動数で地盤増幅が卓越するのに対し、A1地点では2Hz程度で地盤増幅が卓越する。即ち、図-2(2)より、地盤増幅の卓越する振動数が2つの橋台部 (A1及びA2) で異なること、また、P1地点は谷部にあってA2地点 (橋台部) よりA1地点 (橋台部) に近いにもかかわらず、地盤増幅の卓越振動数がA2地点に近い。

また、大切畑大橋と扇の坂橋におけるサイト増幅を比較すると、1～3Hz程度では大切畑大橋 (A1及びA2) の方が大きい、5Hz程度以上では扇の坂橋 (A2及びP1) の方が大きく、サイト増幅特性に違いが認められる。



(1) 大切畑大橋

(2) 扇の坂橋

図-9 サイト増幅特性

4. まとめ

本検討では、大切畑大橋及び扇の坂橋で余震観測を行い、その結果等に基づき、これらの地点のサイト増幅特性について分析を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 大切畑大橋では、橋台部と谷部 (橋脚部) において地盤増幅の大きい振動数が似通っており、橋台部が谷部に比べ地盤増幅が大きい。
- 2) 扇の坂橋は、大切畑大橋とは異なり、2つの橋台部で地盤増幅の大きい振動数に差異があり、谷部 (橋脚部) で地盤増幅の大きい振動数が両橋台のうち相対的に遠い方と似通ったものとなっている。

謝辞

本検討では、国立開発研究法人防災科学技術研究所K-NETの観測記録を利用させて頂いた。また、野津・長尾 (2005) がK-NETのKMM005 (大津) におけるサイト増幅特性を検討した結果を利用させて頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 気象庁：地震・火山月報(防災編)，平成28年4月
- 2) 国土技術政策総合研究所：平成28年 (2016年) 熊本地震土木施設被害調査報告，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/ttn/ttn0967.htm>，平成29年3月
- 3) 防災科学技術研究所：「強震観測網K-NET，KiK-net」，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 4) 気象庁ウェブサイト：<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>
- 5) 社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会：熊本地震による道路構造物の被災等を踏まえた対応，<http://www.mlit.go.jp/common/001156217.pdf>，平成28年9月
- 6) 秦吉弥，矢部正明，葛西昭，松崎裕，高橋良和，秋山充良：臨時地震観測に基づく2016年熊本地震の強震動の作用によって被災した橋梁地点でのサイト増幅特性の評価，第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム，pp.127-137，平成28年7月
- 7) 気象庁：震度データベース，<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>
- 8) 佐藤智美：経験的グリーン関数法に基づく熊本地震の強震動生成域の推定，日本地震学会講演予稿集，S21-P02，2016。
- 9) Boore,D.M.,Stochastic Simulation of High Frequency Ground Motion Based on Seismological Model of Radiated Spectra, Bull. of Seism. Soc. of Am., Vol.73, pp.1865-1894, 1983.
- 10) 加藤研一：K-NET強震記録に基づく1997年鹿児島県北西部地震群の震源・伝播経路・地盤増幅特性評価，日本建築学会構造系論文集 66(543)，pp.61-68, 2001
- 11) 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 第7巻，第2号 (特集号)，pp.215-234, 2007