

余震観測による益城町役場地点のサイト増幅特性の分析

片岡 正次郎¹・石井 洋輔²

¹正会員 博（工） 国土交通省国土技術政策総合研究所道路地震防災研究室（〒305-0804 つくば市旭1）

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

1. はじめに

平成28年熊本地震の際、益城町役場に設置された震度計では震度7が2回観測された。図-1に示すとおり、最大前震（M6.5）および本震（M7.3）時に得られた震度7の地震動はいずれも、構造物に影響の強いとされる周期1秒程度が卓越するものであった。この地震動は役場建物内で観測されており、その影響を検討するため、国土技術政策総合研究所（以下、国総研）では、既設震度計の近傍と建物の振動の影響が少ない屋外に1台ずつ計2台の臨時地震計を設置し、余震観測を実施した。

また、当該地点の地盤震動特性が地震動に及ぼす影響を明らかにするため、益城町役場の敷地内（屋外に設置した臨時地震計の近傍）でボーリング調査とPS検層を実施した。

本稿では、ボーリング調査結果とPS検層データをもとに作成した地盤モデルを用いて、地下約50mから地表までの伝達関数を計算し、余震記録から求めたサイト増幅特性と比較した結果を報告する。

2. 余震観測

余震観測のため、(株)近計システム製の速度型地震センサ(KVS-300)と稠密地震観測用データロガー(EDR-X7000)を2016年6月6日から2017年11月9日の約17ヶ月間設置した。観測状況を写真-1に示す。建屋の短軸方向とセンサの向きを一致させ、24時間連続観測を行った。既設震度計は役場建物の床に直接固定されており、その近傍に設置した臨時地震計で得られた余震記録は、既設震度計で得られた余震記録とよく一致することが確認されている¹⁾。

屋外の臨時地震計は通行止め中のロータリーの中

央島付近に設置した。屋内の臨時地震計から北東方向に32m、役場建物からは13m程度離れている。2つの地震計で2016年6月18日および22日に観測された地震動の加速度応答スペクトルを図-2に示す。比較すると、加速度応答スペクトルのピークには明らかに違いがあることから、建物内で観測された記録は建物の振動の影響が加わったものと考えられている²⁾。

また、建物内で得られた余震記録には周期約0.5秒に卓越したピークが見られる一方で、本震の地震動（図-1）のピークは約1秒である。これは、本震時のきわめて強い地震動による地盤の塑性化が影響したものと考えられる。

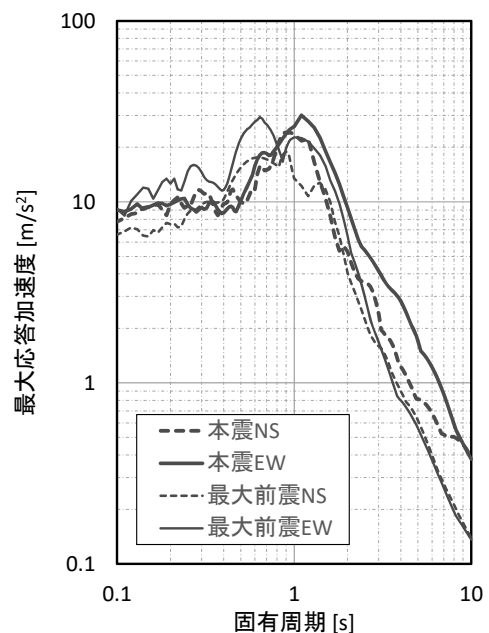


図-1 益城町役場の震度計により平成28年熊本地震の最大前震・本震時に観測された地震動の加速度応答スペクトル（減衰定数0.05）



写真-1 役場建物内と屋外での余震観測状況
(上：役場建物内，下：屋外)

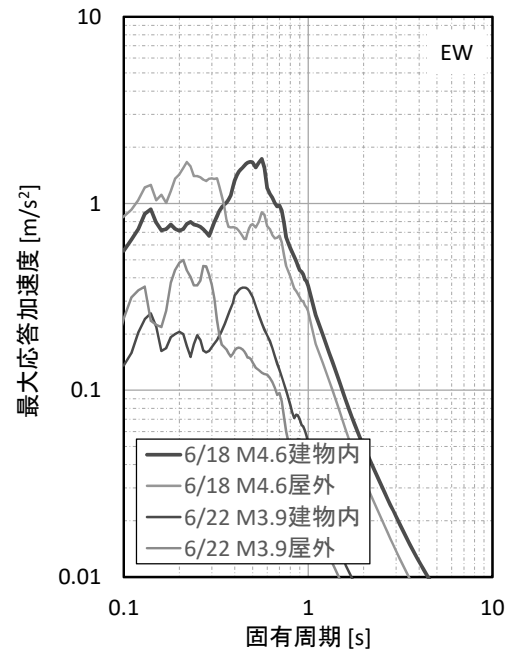


図-2 建物内外で得られた余震記録の加速度応答スペクトル（減衰定数 0.05）の比較²⁾

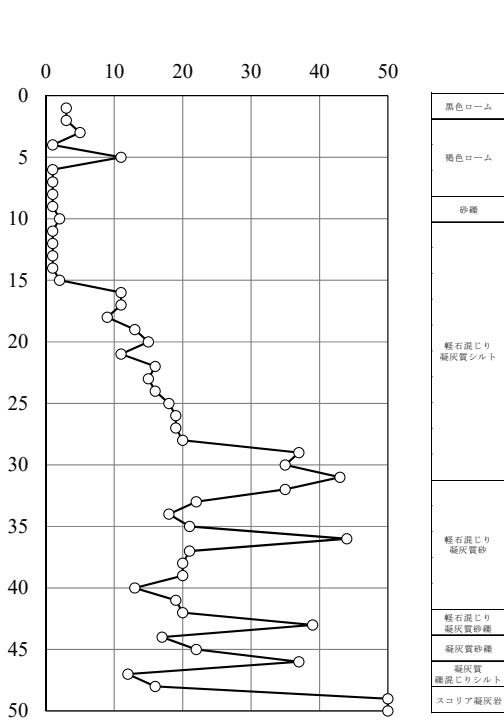


図-3 N値の分布

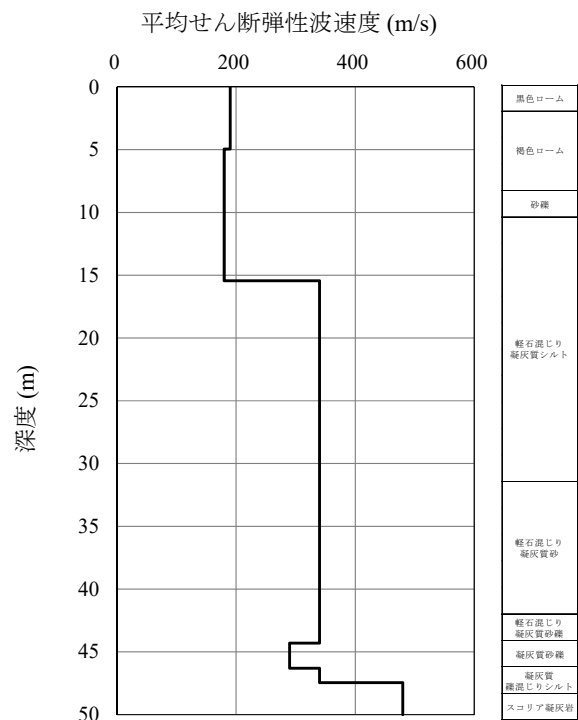


図-4 S波速度検層の結果

3. 表層地盤の調査と伝達関数の算出

屋外の余震観測点から北に約5mの地点でボーリング調査とPS検層（ダウンホール法）を実施した。結果の一部を図-3，図-4に示す。

当該地点は阿蘇火砕流堆積物で構成される台地にあたり，表層15mまで続くローム層等のS波速度はN

値に比して大きいのが特徴である。また，地下50m付近にはスコリアを主体とする火山碎屑岩が現れている。

これらの結果をもとに，表-1の地盤モデルを作成し，表層50mの地盤の伝達関数を算出した結果を図-5に示す。伝達関数は，2～4Hz付近と9Hzに2倍程度の増幅を示している。

表-1 伝達関数の算出に用いた地盤モデル

土 質	分割前 の層厚(m)	上面深度 (m)	下面深度 (m)	単位重量 ρ (t/m ³)	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)
表土	0.70	0.00	0.70	1.50	190.00	380.00
シルト	1.30	0.70	2.00	1.55	190.00	750.00
シルト	2.95	2.00	4.95	1.55	190.00	750.00
砂礫	1.10	4.95	6.05	1.90	180.00	1350.00
シルト	9.95	6.05	16.00	1.75	180.00	1350.00
細砂	21.05	16.00	37.05	1.95	350.00	1500.00
砂礫	7.25	37.05	44.30	2.10	360.00	1540.00
砂礫	2.00	44.30	46.30	2.10	290.00	1660.00
シルト	2.70	46.30	49.00	1.75	340.00	1680.00
砂礫		49.00		2.10	550.00	1920.00

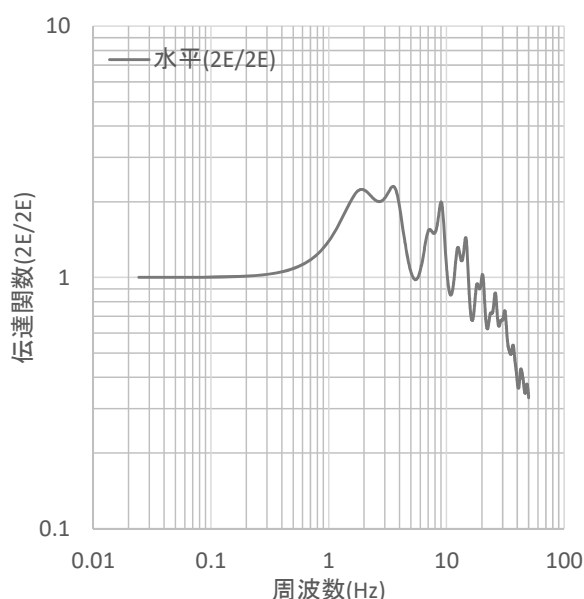


図-5 地盤調査結果に基づく伝達関数

4. 余震観測点のサイト増幅特性

サイト増幅特性は地震基盤から地表までの地震動増幅特性に相当し、ここではKiK-net³⁾の強震観測点KMMH16（益城）で観測された記録を用いて次の手順で求めた。

まず、KMMH16の地表と地中（GL-252m）で得られた記録のフーリエ振幅スペクトル比を算出し、KMMH16の地表のサイト増幅特性⁴⁾をこのスペクトル比で除することにより、KMMH16の地中のサイト増幅特性を推定した。次に、余震により得られた臨時地震計の記録とKMMH16の地中記録のフーリエ振幅スペクトル比を算出し、KMMH16の地中のサイト増幅特性に乗じることにより、余震観測点のサイト増幅特性を推定した。

表-2 サイト増幅特性の算出に用いた地震動が観測された余震のリスト

#	地震発震日時		緯度 (°)	経度 (°)	深さ (Km)	気象庁 マグニチュード
1	2016/6/6	16:47:06	32.982	131.108	10.1	3.8
2	2016/6/7	2:48:16	32.528	130.587	6.8	3.6
3	2016/6/18	20:46:55	32.691	130.707	10.1	4.6
4	2016/6/20	6:39:05	32.690	130.809	6.7	3.3
5	2016/6/21	17:45:23	32.700	130.602	10.0	3.5
6	2016/6/22	5:38:37	32.693	130.711	10.8	3.9
7	2016/6/29	7:50:29	32.586	130.653	12.8	3.6
8	2016/6/29	23:14:28	32.829	130.894	8.1	3.9
9	2016/7/3	16:51:35	32.829	130.791	14.6	3.8
10	2016/7/7	20:18:32	33.053	131.111	11.0	3.8
11	2016/7/9	18:05:19	32.735	130.603	12.0	4.5

この手順によるサイト増幅特性の算出に用いた地震動は、表-2に示す11地震で得られたものである。建物内と屋外それぞれについて得られたサイト増幅特性を表層50mの地盤の伝達関数と比較して図-6に示す。

サイト増幅特性は深い地盤の影響も含んでおり、周波数によっては20倍を超える大きな増幅率を示している。表層50mの地盤による地震動増幅は前述の通り2倍程度であり比較的小さい。ただし、2Hz、3.5Hz、9Hz付記員には、屋外の余震観測点のサイト増幅特性と伝達関数に共通したピークが見られることがわかる。一方、既設震度計の近傍に位置する建物内の余震観測点のサイト増幅特性には3.5Hzや9Hzのピークが見られない。

建物内と屋外に設置した臨時地震計の距離は前述の通り32m程度であり、その間の地盤構造の変化も影響すると見られるが、2地点の揺れやすさの違いは、建物の振動の影響が大きいと考えられる。

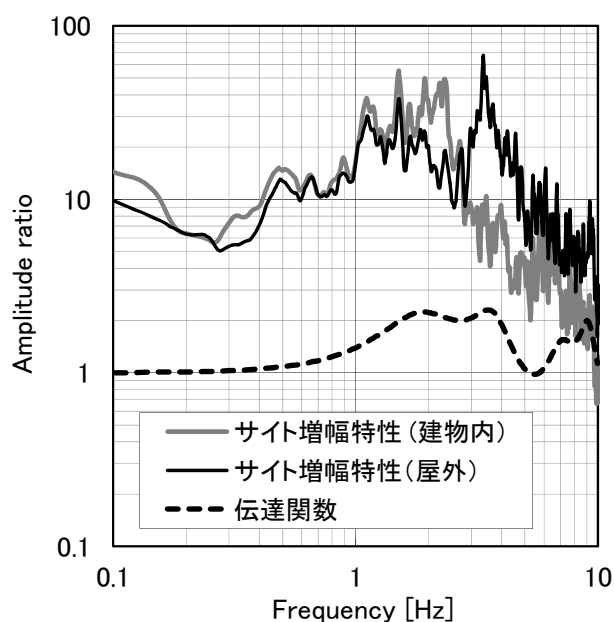


図-6 サイト増幅特性と伝達関数の比較

5. まとめ

益城町役場の敷地で実施したボーリング調査およびPS検層データを用いて地表から地下約50mまでの伝達関数を計算した。得られた伝達関数を余震記録から求めたサイト増幅特性と比較した結果、サイト増幅特性は深い地盤の影響により大きな増幅率を示

し、2Hz, 3.5Hz, 9Hz付近には屋外の余震観測点のサイト増幅特性と伝達関数に共通したピークが見られることが明らかとなった。一方、既設震度計の近傍に位置する建物内の余震観測点は異なるサイト増幅特性を有しており、建物の振動が影響していると考えられる。

謝辞：余震観測に際し、益城町役場の関係者にご協力いただいた。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所の基盤強震観測網KiK-netで得られた強震記録および野津・長尾によるサイト増幅特性を使用した。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 石井洋輔，片岡正次郎，羽田浩二，山田雅行：余震観測調査に基づく益城町役場の地震観測記録の検証，土木学会第73回年次学術講演会概要集，2018（予定）。
- 2) 片岡正次郎：地震の影響，基礎工，Vol.46，No.4，pp. 58-61，2018.
- 3) （研）防災科学技術研究所ウェブサイト：強震観測網（K-NET，KiK-net），<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 4) 野津厚，長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料，No. 1112，2005.