

## 2007年能登半島地震の震源付近の地震観測点における地盤増幅特性

西川 隼人<sup>1</sup>, 宮島 昌克<sup>2</sup>

Hayato NISHIKAWA<sup>1</sup> and Masakatsu MIYAJIMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 舞鶴工業高等専門学校

<sup>2</sup> 金沢大学理工研究域

2007年能登半島地震で震度6強を記録した輪島市門前町、K-NET穴水などの震源付近に位置する地震観測点の地盤増幅特性を評価した。地盤増幅特性は地震基盤相当の地盤に対する相対的なものであり、最大地動加速度、計測震度、加速度応答スペクトルを対象に二段階回帰分析の手法を用いて求めた。震度6強を記録した4観測点の地盤増幅特性の特徴を見ると、最大地動加速度の地盤増幅度は平均値と大きな違いが見られなかったが、計測震度の地盤増幅度は平均値よりも有意に大きかった。また、加速度応答スペクトルのサイト特性では構造物被害と相関が高いとされる周期1秒付近に明瞭なピークが見られた。

キーワード：2007年能登半島地震，気象庁，K-NET，KiK-net，地盤増幅特性

### 1. はじめに

これまで2007年能登半島地震を対象に地震観測点のサイト特性(振動数あるいは周期領域の地盤増幅特性)が評価されてきた(例えば1~5)が、計測震度などの地震動指標の地盤増幅度の評価はほとんど行われていない。また、既往研究の多くは防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netや携帯型地震計による地震波形を用いたものであり、気象庁や自治体観測点の地震波形を用いた研究は少ない。石川県の自治体観測点の中で震度6強を記録した輪島市門前町と七尾市田鶴浜町は気象庁が本震後に設置した地震計で地震波形が収集されており、能登半島地震の余震などで気象庁観測点の地震波形と同じフォーマットのデータが得られる環境にある。能登半島地震では輪島市門前町と七尾市田鶴浜町の地震観測点周辺では木造家屋などに大きな被害が出ており、特に輪島市門前町の観測点周辺では住家の全壊率が10%を超える甚大な被害が生じた<sup>6)</sup>。このような地震被害の要因を調べる上でも、これらの地震観測点の地盤増幅特性を評価することは重要である。

そこで本研究では2007年能登半島地震を対象に震源付近に位置するK-NET、KiK-net観測点の他に気象庁観測点と2つの自治体観測点に設置された地震観測点を対象に地震動指標の地盤増幅度と加速度応答スペクトルのサイト特性を評価する。地盤増幅度の評価対象とする地震動指標は計測震度と最大地動加速度である。地震動指標の地盤増幅度とサイト特性は地震基盤相当の地盤に設置されている地震観測点を基準とした相対的なものとし、二段階回帰分析<sup>7)</sup>の手法を用いて評価する。回帰分析によって得られた地盤増幅度、サイト特性のうち、能登半島地震で震度6強、6弱の揺れを記録した地震観測点を対象に、地盤増幅度、サイト特性の特徴を調べる。

### 2. 解析対象地震と観測点

本研究では能登半島地震で震度6強、6弱の揺れを記録

した地震観測点の地盤増幅度、サイト特性を取り上げ、その特徴を考察する。図-1に震度6強、6弱の地震観測点と本震の震央の位置を、表-1に地震観測点の情報を示す。表-1に示す断層最短距離は能登半島地震のものであり、国土地理院の断層モデル<sup>8)</sup>に基づき計算した値である。

対象観測点の中で輪島市門前町と七尾市田鶴浜町の観測点は地震計の設置環境悪化を理由に、能登半島地震発生後に気象庁によって設置されたものである。輪島市門前町の地震観測点は以前設置された観測点と同じく門前支所内にあり、地震計の位置はほとんど変わっていないことから、地盤特性にほとんど違いがないものと考えられる。七尾市田鶴浜町の観測点は以前、観測点があった田鶴浜町支所から南東に200mほど離れた地点にある。図-2に元の観測点付近で計測した常時微動の水平・鉛直スペクトル比(H/Vスペクトル)を示す。輪島市門前町では周期0.8秒付近、七尾市田鶴浜町は1~2秒付近にピークが見られる。新井<sup>9)</sup>は田鶴浜町での微動測定の際に臨時観測点付近でも測定を行っており、その地点の微動H/Vスペクトルでも周期1~2秒付近にピークが見られる。このことから、田鶴浜町も既存観測点と臨時観測点で地盤特性に大きな違いがないものと推測される。

地震動指標の地盤増幅度、サイト特性の評価の際に対象とした地震は西川他<sup>10)</sup>と同じものであり、能登半島地震やその余震の他に1997年~2009年にかけて北陸地方などで発生した地震を含む45の地震である。表-2に解析対象地震の諸元を示す。対象とした地震の気象庁マグニチュードは4.1~6.9、震源深さは0~21kmである。解析の対象とした地震観測点は西川他<sup>10)</sup>が対象としたK-NET 79点、KiK-net 61点に石川県内の気象庁観測点12点を加えた計152点である。対象とする地震観測点では45の対象地震のうち、5つ以上の地震で記録が得られている。対象とした地震観測記録は、断層最短距離あるいは震源距離が200km以内だった2575の記録である。なお、対象とした観測記録には最大地動加速度が200cm/s<sup>2</sup>を超える大振幅のものがいくつか含まれている。このような大振幅が記録された観測点では地盤増幅度やサイト特性に地盤の非線形化の影響が含まれ

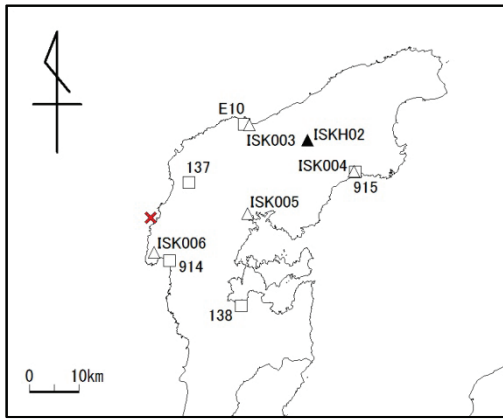


図-1 震度6強、6弱の地震観測点と本震震央 (□気象庁, △K-NET, ▲KiK-net, ×震央)

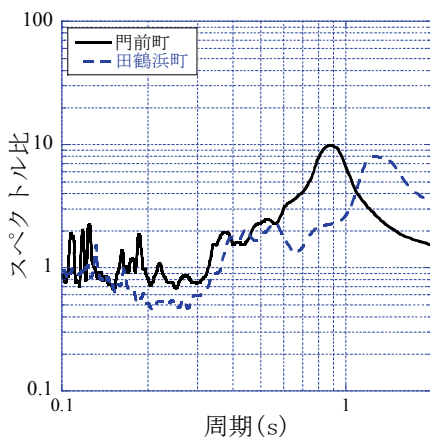


図-2 輪島市門前町, 七尾市田鶴浜町の微動H/Vスペクトル

ている可能性があるが、データ数が少なく影響が小さいと  
考え、そのまま解析に用いた。

### 3. 解析手法

加速度応答スペクトルを対象に振動数、または周期領域の地盤増幅特性であるサイト特性を求める。また、最大地動加速度と計測震度を対象に地盤増幅度を求める。サイト特性と地盤増幅度はこれまでの著者らの手法<sup>11)</sup>と同じく、地震動指標が震源特性に関する項、距離減衰に関する項(内部減衰と幾何減衰)と地盤増幅特性に関する項の和で表されるとし、各項を二段階回帰分析<sup>7)</sup>の1段階目の手法によって評価した。最大地動加速度と計測震度は式[1]、応答スペクトルに対しては式[2]を用いた。

$$A_{ij} = S_i^k - \log_{10} R_{ij} + b^k R_{ij} + g_j^k \quad [1]$$

$$\log_{10} S_{ajj}(T) = S_i(T) - \log_{10} R_{ij} + b(T) R_{ij} + g_j(T) \quad [2]$$

$A_{ij}$  は  $i$  番目の地震における  $j$  番目の観測点の最大地動加速度  $PGA$  の常用対数  $\log_{10} PGA$  か計測震度  $I$  である。また、 $S_{ajj}(T)$  は周期  $T$  の加速度応答スペクトル(減衰定数5%)で

表-1 震度6強、6弱を記録した地震観測点の情報

観測網	観測点コード	観測点名	緯度(°)	経度(°)	断層最短距離(km)	計測震度
気象庁	137	輪島市門前町走出	37.2839	136.7717	3.2	6.4
	138	七尾市田鶴浜町	37.0594	136.8924	26.9	6.2
	914	志賀町富来領家町	37.1417	136.7283	15.2	5.6
	915	能登町宇出津	37.3033	137.1533	35.0	5.6
	E10	輪島市鳳至町	37.3900	136.8983	16.0	6.1
K-NET	ISK003	輪島	37.3889	136.9113	17.1	5.5
	ISK004	能都	37.3050	137.1500	34.4	5.6
	ISK005	穴水	37.2277	136.9069	15.0	6.3
	ISK006	富来	37.1572	136.6927	9.3	5.9
KiK-net	ISKH02	柳田	37.3614	137.0443	28.7	5.5

表-2 地震の諸元

	地震発生日時	発生地域	$M_{JMA}$	緯度(°)	経度(°)	震源深さ(km)
1	1997年12月19日22:07:55.1	石川県西方沖	4.5	36.3150	136.2233	13
2	1998年11月16日08:08:33.6	能登半島沖	4.8	37.6733	137.4150	12
3	1999年11月7日03:34:1.6	福井県沖	5.0	36.0583	135.7933	15
4	2000年3月24日23:00:21.5	福井県嶺北	4.2	35.9067	136.7533	9
5	2000年6月5日09:54:41.2	福井県嶺南	4.9	35.7200	136.1100	9
6	2000年6月7日06:16:43.2	石川県西方沖	6.2	36.8250	135.5617	21
7	2000年6月22日20:36:27.5	石川県西方沖	4.6	36.8317	135.5383	18
8	2001年6月13日02:51:58.9	石川県西方沖	4.5	36.8233	135.5967	20
9	2002年8月18日09:01:1.8	福井県嶺北	4.7	36.1283	136.1767	11
10	2002年11月17日13:47:53.9	石川県加賀地方	4.7	36.3017	136.6733	8
11	2004年10月5日08:33:51.4	福井県嶺北	4.8	35.9333	136.3767	12
12	2005年6月20日14:04:28.0	岐阜県美濃中西部	4.6	35.7567	136.8550	9
13	2005年6月20日21:38:24.8	岐阜県美濃中西部	4.3	35.7583	136.8567	9
14	2006年1月1日22:56:54.4	福井県嶺北	4.1	35.9117	136.7550	10
15	2006年2月16日23:10:45.4	岐阜県美濃中西部	4.4	35.6883	136.4217	14
16	2006年2月18日16:21:10.6	岐阜県美濃中西部	4.1	35.6883	136.4183	13
17	2007年1月22日02:16:7.8	岐阜県美濃中西部	4.5	35.7333	136.3367	13
18	2007年3月25日09:41:57.9	能登半島沖	6.9	37.2200	136.6850	11
19	2007年3月25日09:56:31.0	石川県能登地方	4.7	37.2283	136.7233	10
20	2007年3月25日15:43:30.5	石川県能登地方	4.5	37.2933	136.7717	9
21	2007年3月25日18:11:45.1	石川県能登地方	5.3	37.3033	136.8383	13
22	2007年3月26日02:14:54.2	能登半島沖	4.2	37.1567	136.6683	12
23	2007年3月26日07:16:36.4	能登半島沖	5.3	37.1667	136.4883	0
24	2007年3月26日14:46:34.6	能登半島沖	4.8	37.1650	136.5517	9
25	2007年3月26日18:02:52.5	能登半島沖	4.6	37.2750	136.7000	6
26	2007年3月28日08:08:14.5	石川県能登地方	4.9	37.2217	136.7083	13
27	2007年3月28日10:51:2.6	能登半島沖	4.6	37.1750	136.6117	10
28	2007年3月28日13:05:31.0	能登半島沖	4.7	37.2817	136.6817	7
29	2007年3月31日08:09:46.9	石川県能登地方	4.4	37.2333	136.7583	13
30	2007年4月2日02:51:44.3	能登半島沖	4.2	37.2100	136.6883	12
31	2007年4月6日15:18:17.7	石川県能登地方	4.3	37.2667	136.7900	12
32	2007年4月6日21:42:10.7	石川県西方沖	4.7	37.0950	136.4250	7
33	2007年4月11日22:11:57.5	石川県西方沖	4.3	37.0733	136.4267	8
34	2007年4月28日09:27:24.6	岐阜県美濃中西部	4.6	35.7283	136.6250	10
35	2007年5月2日20:44:38.2	石川県能登地方	4.7	37.3300	136.7617	7
36	2007年5月11日02:12:27.2	石川県西方沖	4.5	37.1183	136.3117	11
37	2007年6月11日03:45:13.8	能登半島沖	5.0	37.2433	136.6533	7
38	2007年6月22日03:34:14.3	石川県西方沖	4.6	36.8767	136.6667	8
39	2007年7月9日16:00:34.2	石川県能登地方	4.2	37.3233	136.7567	10
40	2007年8月31日23:36:57.2	若狭湾	4.4	35.9150	135.6967	16
41	2007年12月21日14:22:54.5	福井県嶺北	4.5	35.9383	136.3483	7
42	2007年12月21日16:01:8.6	福井県嶺北	4.2	35.9383	136.3483	7
43	2008年1月26日04:33:25.3	石川県能登地方	4.8	37.3183	136.7733	11
44	2008年3月17日07:00:53.9	石川県西方沖	4.5	37.0683	136.2100	7
45	2009年2月18日06:47:7.0	岐阜県美濃中西部	5.2	35.6617	136.3133	9

ある。 $S_{ajj}(T)$  は地震観測波形の全区間を対象に、周期0.1~2秒の区間を対数軸で20等分し、21個計算した。 $S_{ajj}(T)$  は水平2成分をベクトル合成したものを、 $PGA$  は水平2成分のうち大きい方の値を用いた。式[1]の上添え字  $k$  は対象とする地震動指標を区別するためのもので、 $\log_{10} PGA$  の場合は  $A$ 、計測震度では  $I$  である。 $S_i^k$  は  $i$  番目の地震の震源特性を表わす係数(震源係数)、 $R_{ij}$  は  $i$  番目の地震における  $j$  番目の観測点の断層最短距離(km)である。能登半島

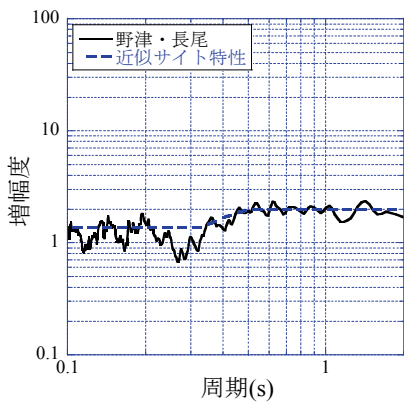


図-3 GIF022のサイト特性

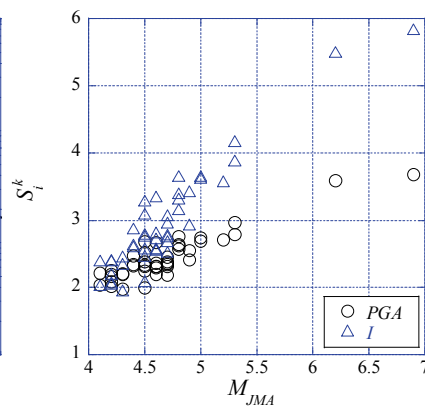


図-4  $M_{JMA}$  と  $S_i^k$

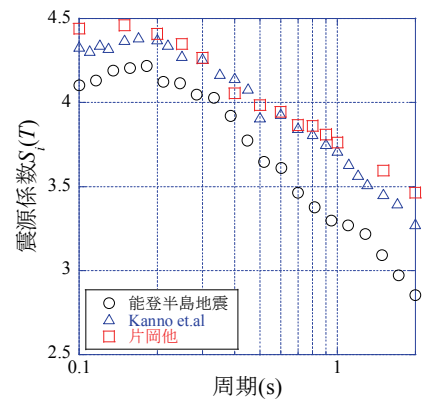


図-5 能登半島地震の  $S_i(T)$

地震における断層最短距離  $R_{ij}$  は国土地理院の断層モデル<sup>8)</sup>に基づく計算値である。その他の地震については地震の規模が小さいので、震源断層を点震源とみなし、 $R_{ij}$ として震源距離を用いる。 $b^k$ は距離減衰に関する係数(距離係数)、 $g_j^k$ は  $j$  番目の観測点の地盤係数である。式[2]では係数を周期  $T$  ごとに評価する。 $S_i(T)$  と  $b(T)$  はそれぞれ震源特性と距離減衰に関する係数であり、それぞれ震源係数、距離係数、 $g_j(T)$  をサイト係数と呼ぶこととする。 $PGA$  の地盤増幅度  $F^d$  は  $10^{g_j^d}$ 、 $I$  の地盤増幅度  $F^I$  は  $10^{g_j^I}$ 、サイト特性は  $10^{g_j(T)}$  で定義される。

式[1]、[2]を求める際に  $S_i^k$  と  $g_j^k$  あるいは  $S_i(T)$  と  $g_j(T)$  の間にあるトレードオフの関係を避けるために、基準となる観測点を定め、その  $g_j^k$  や  $g_j(T)$  を拘束条件として与え、回帰分析を実施した。本論文では K-NET 上石津(GIF022)を基準観測点とした。この観測点は図-3 に示す野津・長尾<sup>12)</sup>のサイト特性(地震基盤を基準とする相対的サイト特性)から分かるように周期による増幅度の変動が小さく、その値も小さいことから、基準観測点として適していると考えられる。

式[2]の係数を求める際に、野津・長尾<sup>12)</sup>のサイト特性を近似したサイト特性(図-3の破線)をGIF022のサイト特性として与え、拘束条件とする。また、式[1]の係数を求める際、GIF022の  $g_j^d$  と  $g_j^I$  を0とした。この時にGIF022の地震基盤面における  $PGA$ 、 $I$  を求めるために次の計算を行う。地表波形をフーリエ変換したものを図-3の近似サイト特性で除して、逆フーリエ変換し、得られた波形から  $PGA$ 、 $I$  を計算した。得られた  $PGA$ 、 $I$  が地震基盤面相当の層での値となる。以上の拘束条件を与え、回帰分析により得られる各観測点の地盤係数とサイト係数はGIF022を基準とした相対的な値となる。

## 4. 解析結果

### (1) 震源係数と距離係数

ここでは、式[1]、[2]を対象に回帰分析によって得られた震源特性と距離減衰に関する係数および観測値と式[1]、[2]による予測値の標準誤差について述べる。まず、観測値と回帰分析による予測値の標準誤差は  $PGA$  を対象とした場合は0.223、 $I$  では0.435であった。また、 $S_{ij}(T)$  では対

象周期で大体0.2~0.25の範囲にあり、これらの値は安中他<sup>13)、14)</sup>やShabestari and Yamazaki<sup>15)</sup>と同じ程度であった。図-4に解析対象とした45地震の気象庁マグニチュード  $M_{JMA}$  と震源係数  $S_i^k$  の対応を示す。同図を見ると、少しばらつきはあるものの、最大地動加速度  $PGA$ 、計測震度  $I$  ともに気象庁マグニチュード  $M_{JMA}$  と  $S_i^k$  の間には明瞭な正の相関関係が見られることが分かる。

続いて、式[2]の加速度応答スペクトルの距離減衰式を求めた結果得られた震源係数と距離係数をそれぞれ図-5、6に示す。図-5の震源係数  $S_i(T)$  は能登半島地震に対応するものであり、片岡他<sup>16)</sup>とKanno et al.<sup>17)</sup>による係数を合わせて示した。これら2つの研究の距離減衰式モデルでは本研究の震源係数に対応する項をマグニチュードをパラメータとする式で表わしている。そのため、それらの式に対してマグニチュードを与えて、震源係数に対応する項を計算し比較に用いた。震源係数を見ると本研究の値は既往研究のものに比べて全体的に小さいが、傾向はよく似ている。本研究の値が全体的に小さい要因は回帰分析の際に拘束条件として与えた基準観測点のサイト特性が非常に小さいためだと考えられる。次に距離係数を見ると、本研究の値は既往研究の中間的なものとなっている。 $b(T)$  の違いの要因として、距離減衰式の評価の対象とする地域が異なること、対象観測点の震源からの距離の範囲が違うことが考えられる。

次に式[1]の距離係数と同式によって求めた距離減衰曲線と観測値の対応を見ることにする。解析で得られた距離係数  $b^d$  は-0.004、 $b^I$  は-0.011であり、既往研究<sup>13)、14)、16)</sup>と同じ程度の値であった。図-7に式[1]によって求めた能登半島地震に対応する距離減衰曲線を観測値とともに示す。観測値は地表の値と地表の値を各観測点の地盤増幅度によって補正した地震基盤の値である。同図を見て分かるように、最大地動加速度  $PGA$ 、計測震度  $I$  いずれも距離減衰曲線に基盤の値に沿っており、全体的に見て両者の対応が良いことが分かる。

### (2) 地盤増幅度とサイト特性

続いて、回帰分析によって得られた地震動指標の地盤増幅度とサイト特性の特徴を表-1に示す地震観測点、特に震度6強を記録した観測点を中心に見ていく。図-8に最大地動加速度  $PGA$  と計測震度  $I$  の地盤増幅度(それぞれ、

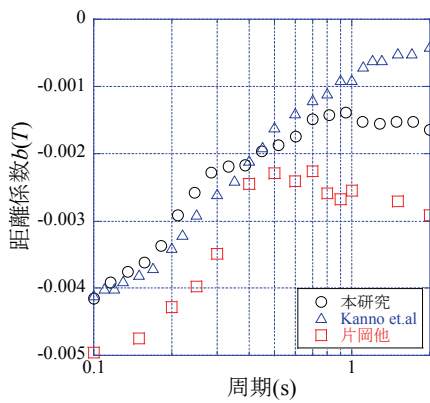


図-6 距離係数  $b(T)$

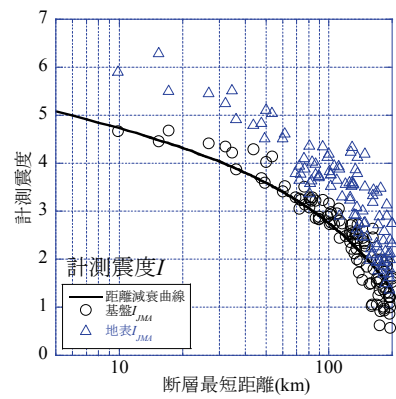
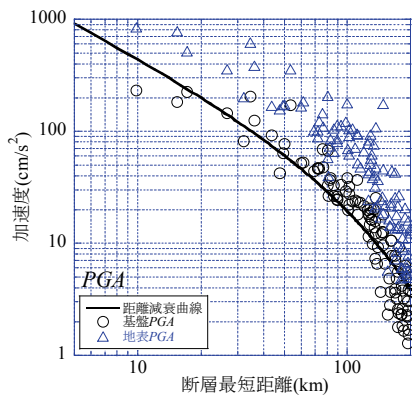


図-7 距離減衰曲線と観測値の対応

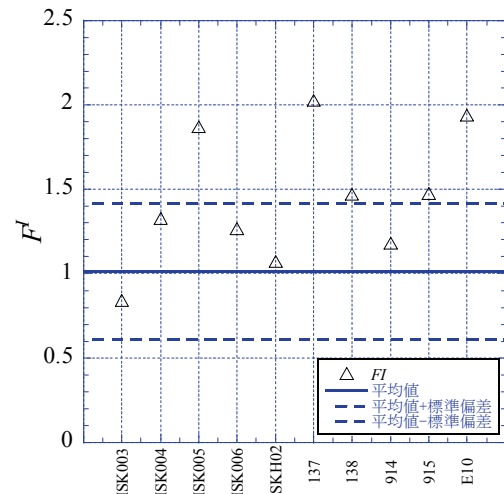
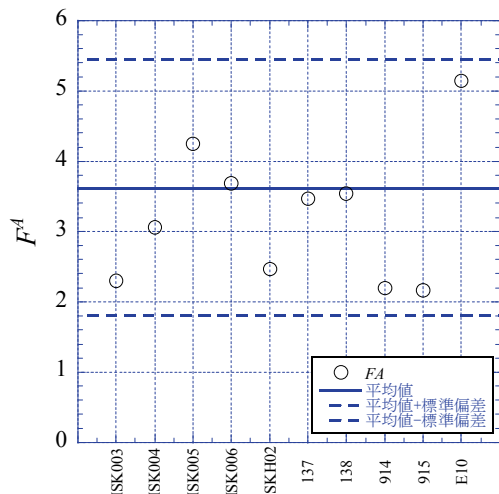


図-8 震度 6 強, 6 弱の地震観測点の地盤増幅度

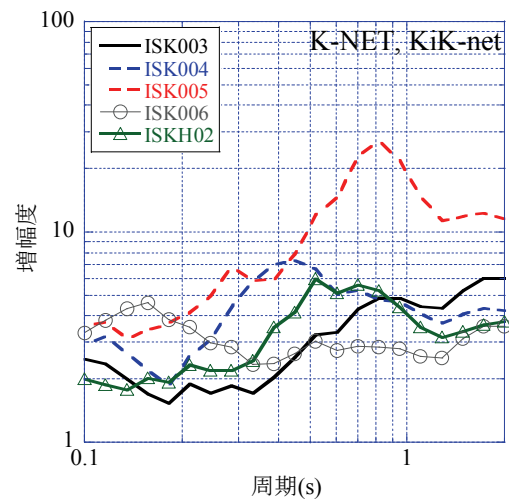
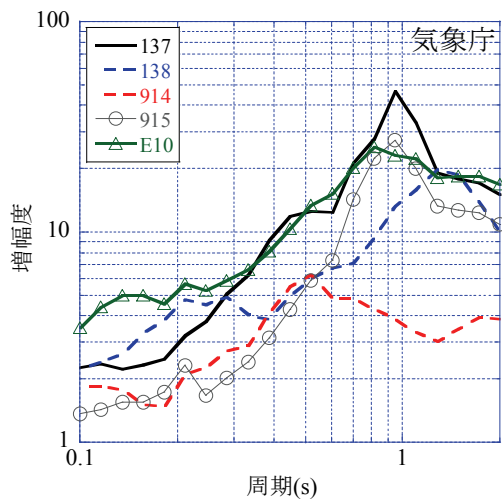


図-9 震度 6 強, 6 弱の地震観測点のサイト特性

$F^A$  と  $F^I$  を、図-9 にそれらの地震観測点のサイト特性を示す。図-8 には解析対象とした 152 の地震観測点の  $F^A$  と  $F^I$  の平均値(図-8 の実線)および平均値±標準偏差(破線)を合わせて示す。まず、 $F^A$  を見ると、いずれの地震観測点の増幅度も平均値±標準偏差の範囲内に収まっている。JMA 輪島(E10)と K-NET 穴水(ISK005)、K-NET 富来(ISK006)が平均値を上回っているが、その他の 7 観測点は

平均値を下回っており、震度 6 強, 6 弱の地震観測点の  $F^A$  は全体的の平均値に比べて小さい傾向にある。一方、 $F^I$  は 10 観測点の半数 5 観測点が平均値+標準偏差よりも大きくなっており、全体的に見て増幅度が大きい傾向にある。 $F^I$  が平均値+標準偏差を上回っている 5 観測点のうち 4 観測点が能登半島地震で震度 6 強を記録した地震観測点であり、七尾市田鶴浜町(138)は平均値+標準偏差よりも少し大きい程度であるが、他の 3 観測点は 0.45 以上大きく、

計測震度が最大の 6.4 であった輪島市門前町(137)の  $F^d$  は 2.03 と非常に大きな値である。七尾市田鶴浜町(138)は震度 6 強の 4 観測点の中で最も  $F^d$  が小さく、断層最短距離が大きいにもかかわらず、観測された計測震度は 6.2 で、JMA 輪島(E10)の 6.1 よりも大きい。これは既往の調査結果(例えば 18)で指摘されている七尾市田鶴浜町(138)の観測点付近での地盤の液状化現象の影響によるものと考えられる。

次に図-9 に示すサイト特性について考察する。まず、元は自治体観測点であった輪島市門前町(137)と七尾市田鶴浜町(138)のサイト特性を見ると、周期 1~2 秒前後にピークがあり、図-2 の微動 H/V スペクトルと概ねピーク周期が一致していることが分かる。輪島市門前町(137)のピークにおける増幅度は非常に大きく、47 であった。七尾市田鶴浜町(138)は輪島市門前町(137)ほどではないが、ピークの増幅度が大きく 20 に近い値となっている。JMA 輪島(E10)は先の 2 点ほど明瞭なピークは見られないが、周期 1 秒前後の増幅度が 20 前後と大きい。また、周期 0.1~0.3 秒の増幅度は他の気象庁観測点よりも大きく、このような短周期での増幅特性が、図-8 に示す  $F^d$  の値に影響を及ぼしているものと推測される。JMA 志賀(914)と JMA 能登(915)のサイト特性を見ると、周期 0.5 秒くらいまでは両者の増幅度に大きな違いがないが、0.5 秒よりも長周期では JMA 能登(915)の増幅度が大きく上回っており、周期 0.9~1 秒に鋭いピークが見られる。図-8 を見ると両観測点の  $F^d$  はほぼ同じ値であるが、 $F^d$  は JMA 能登(915)の方が 0.3 ほど大きく、サイト特性の周期 0.5~2 秒における増幅度の違いが  $F^d$  の差異に影響を及ぼしているものと考えられる。

K-NET, KiK-net 観測点のサイト特性を見ると、K-NET 穴水(ISK005)の増幅度が他の観測点に比べて著しく大きく、ピーク周期 0.8 秒付近の増幅度が約 27 となっている。能登半島地震における断層最短距離が JMA 輪島(E10)や K-NET 穴水(ISK005)に比べて小さいにもかかわらず、これらの観測点よりも計測震度が小さかった K-NET 富来(ISK006)は周期 0.1~0.2 秒の増幅度は他の観測点に比べて大きいものの、それよりも長周期での増幅度は 2~4 であり、大きくない。K-NET 輪島(ISK003)と K-NET 能都(ISK004)はそれぞれ JMA 輪島(E10), JMA 能登(915)と直線距離で 1km 前後しか離れていないにもかかわらず、サイト特性は大きく異なっている。このことから、これらの観測点間では狭い範囲で地盤構造が大きく変化している可能性がある。

以上の能登半島地震で震度 6 強, 6 弱を記録した地震観測点の地盤増幅特性の特徴をまとめると、震度 6 強を記録した地震観測点の計測震度の地盤増幅度  $F^d$  は解析対象とした 152 観測点の平均値を上回っており、特に計測震度が 6.4 であった輪島市門前町(137)は  $F^d$  が 2.03 と非常に大きな値であった。また、震度 6 強の地震観測点のサイト特性では構造物被害と相関が高い<sup>19)</sup>とされる周期 1 秒付近の増幅度が大きく、輪島市門前町(137)のピーク周期の増幅度は 40 を超える非常に大きな値であった。

## 5. まとめ

本研究では 2007 年に発生した能登半島地震を対象に震源付近の地震観測点の地震動指標の地盤増幅度とサイト特性を評価した。地盤増幅度を評価した地震動指標は最大地動加速度と計測震度であり、サイト特性は加速度応答スペクトルを対象に評価した。地盤増幅度とサイト特性はそれぞれ、最大地動加速度、計測震度と加速度応答スペクトルの距離減衰式を求めることにより評価した。距離減衰式は主に中部地方で発生した 45 の地震で気象庁, K-NET, KiK-net 観測点で得られた観測記録を用い、2 段階回帰分析により評価した。

回帰分析により得られた距離減衰式の距離減衰に関する係数は既往研究による値と同じ程度であった。能登半島地震に対応する加速度応答スペクトルの震源係数は既往研究による値に比べて全体的に小さいが、傾向はよく似ていた。係数の値の違いは基準観測点の地盤条件の違いによるものと考えられる。

続いて、能登半島地震で震度 6 強, 6 弱を記録した 10 観測点に着目し、地盤増幅度とサイト特性の特徴を調べた。10 観測点の最大地動加速度の地盤増幅度は全観測点の平均値と比べて大きな違いはなかったが、計測震度の地盤増幅度は震度 6 強を記録した 4 観測点いずれもが全体の平均値よりも大きな値であった。また、震度 6 強を記録した 4 観測点のサイト特性では構造物被害と相関が高いとされる周期 1 秒付近で大きな増幅が見られた。

謝辞: 本研究では気象庁, 独立行政法人 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net 観測記録を使用させて頂きました。記して、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 吉見雅行, 吉田邦一, 竿本英貴, 長 郁夫: 石川県穴水町・輪島市中心部・輪島市門前町における 2007 年能登半島地震の臨時強震観測, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, P037, 2007.
- 2) 元木健太郎, 山中浩明, 山田伸之, 菅原達哉, 馬淵ゆみ, 瀬尾和夫: 2007 年能登半島地震の被災地門前町における余震観測と微動測定, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.175-176, 2007.
- 3) 糸井達哉, 長島一郎, 内山泰生: 震源近傍の観測記録と伝播・サイト特性を用いたやや遠方での短周期地震動推定: 2007 年能登半島地震の記録を用いた基礎検討, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.177-178, 2007.
- 4) 加藤研一, 池浦友則: 2007 年能登半島地震が励起した大振幅地震動の発生要因: 震源・伝播・地盤増幅率の観点からみた検討, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.761-762, 2008.
- 5) 浅野公之, 岩田知孝, 岩城麻子, 栗山雅之, 鈴木 亘: 地震および微動観測による石川県鳳珠郡穴水町における地盤震動特性, 地震第 2 輯, Vol.62, pp.121-135, 2009.
- 6) 三浦弘之, 翠川三郎: 2007 年能登半島地震における住家被害率と計測震度の関係, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.679-680, 2008.
- 7) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.84, pp.757-783, 1990.
- 8) 国土地理院: 平成 19 年(2007 年)能登半島地震を起した震源断層の姿, [http://www.gsi.go.jp/cais/notohanto-fault\\_model.html](http://www.gsi.go.jp/cais/notohanto-fault_model.html)
- 9) 新井 洋: 穴水および田鶴浜の木造建物被害と微動特性, 京都大学防災研究所 平成 19 年度研究発表講演会 ポスターセッション, P28, 2008.

- 10) 西川隼人, 森本吉輝, 宮島昌克: 中部地方のK-NET, KiK-net 観測点の地震記録に基づくスペクトルインバージョン解析, 第28回日本自然災害学会学術講演会, pp.7-8, 2009.
- 11) 西川隼人, 宮島昌克: 自治体観測点で得られる地震動指標の地盤増幅度によるサイト特性の推定, 土木学会論文集A, Vol. 65, No. 1, pp.178-187, 2009.
- 12) 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.
- 13) 安中 正, 大金義明, 林 孝幸, 岩口健司, 上園 智大: 計測震度の距離減衰式に基づく確率論的地震ハザードマップ, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.126-129, 2006.
- 14) 安中 正, 森田 大, 相京泰仁, 原田光男: 地震タイプを考慮した加速度応答スペクトル推定式, 第28回地震工学研究発表会講演論文集, 論文番号99, 2005.
- 15) Shabestari, K, T. and Yamazaki, F.: Attenuation relation of strong ground motion indices using K-NET records, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.137-140, 1999.
- 16) 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明: 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol.62, No.4, pp.740-757, 2006.
- 17) Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H., and Fukushima, Y.: A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data, *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol.96, pp.879-897, 2006.
- 18) 気象庁: 平成19年3月 地震・火山月報(防災編), <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly200703/20070325notohanntoujisinn6.html>
- 19) 境 有紀, 吉岡伸悟, 額瀨一起, 壁谷澤寿海: 1999年台湾集集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討, 日本建築学会構造系論文集, No.549, pp.43-50, 2001.