

## 2.2 強震記録

### (1) 概要

新潟県中越地方には、各機関が数多くの強震計を設置しており、貴重な観測記録が多数得られている。本調査団では、これらの記録を収集して、その特性を分析した。表 2.2.1 に収集された代表的な観測記録のリストを示す。表中に示されている最大加速度、最大速度は、0.1~20Hz のバンドパスフィルターを施した水平 2 成分の合成値である。

気象庁発表の各地の震度<sup>1)</sup>は、震度 7 が川口町川口、6 強が小千谷市城内と新潟小国町法坂となっている。これらの記録のうち気象庁が直接管理している観測点の波形記録は地震後速やかに公開された他、新潟県が管理していた観測点のうち川口町、山古志村などの大きな震度が観測された地点の記録は 12 月 24 日に公開された。また、防災科学技術研究所が設置運営している K-NET や KiK-net 地震観測点では、NIG019 小千谷が震度 7 相当、NIG021 十日町および NIG028 長岡支所が震度 6 強相当の地震動を観測しているが<sup>2)</sup>、これらの波形記録は地震直後に公開されたため、被害調査の際に大変役立ったことを特に強調しておきたい。

その他、日本道路公団の観測点では越後川口 IC で震度 6 強相当、JR 東日本の観測点では新川口変電所でもやはり震度 6 強相当が観測されている。また、波形記録は収録できていないものの、SI 値、震度、最大加速度値などを測定するのが主目的の地震計が、ガス事業者などによって数多く設置されている。震源域近傍地域における、これらの測定結果を図 2.2.13 に示す。図中には前述した代表的な波形記録の観測地点も併せて示している。

### (2) 兵庫県南部地震時の観測記録との比較

今回の観測記録と 1995 年兵庫県南部地震の代表的な地震動記録を比較する。図 2.2.1 に川口町役場 (JMA-KWG、青実線)、K-NET 小千谷 (NIG019、赤実線)、神戸海洋気象台 (KOB、緑破線)、JR 鷹取駅 (TKT、黒破線) の疑似速度応答スペクトル ( $h=0.05$ ) を示す<sup>3)</sup>。また、速度波形での比較を図 2.2.2 に示す。震度 7 相当の NIG019 小千谷記録は、兵庫県南部地震での神戸海洋気象台記録をほぼ全ての周期で上回っていることがわかる。また、兵庫県南部地震の際に周辺で深刻な被害が発生した JR 鷹取駅記録と比べると、応答速度のピーク値はほぼ等しいが、その周期が JR 鷹取駅では約 1.2 秒と約 2 秒、小千谷では 0.7 秒となっている。一方、川口町記録では最大応答速度も JR 鷹取駅とほぼ等しく、そのピ

ーク周期はともに約 1.2 秒であり、鷹取記録の持つ約 2 秒のピークが無いことを除けば、ほぼ同様な特性を持つことがわかる。

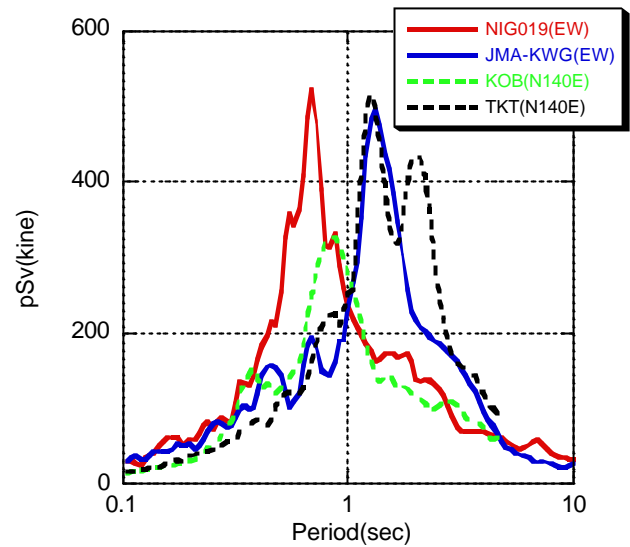


図 2.2.1 兵庫県南部地震時の記録との比較

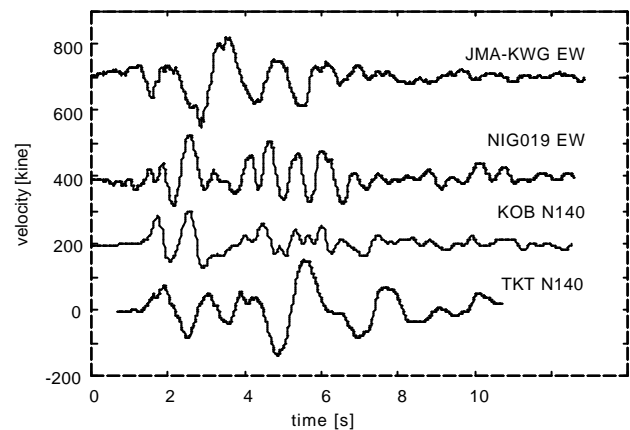


図 2.2.2 兵庫県南部地震時の記録との比較

本来、震度 7 は家屋被害率 30%以上に相当する震度である。2.4 で後述するように川口ではかなりの建物被害が発生していることが報告されているが、小千谷での被害率はそれほど高くない。しかしながら 4.2 に示されているように小千谷市内でかなりの液状化が見られ、3 章に示されているように数多くの崖崩れ等が発生したことが報告されている。地震動の卓越周期の違いが周辺の建物被害や地盤災害の違いとなって現れたことが推察される。

### (3) 震源域の地震動特性

震源域では伝播経路特性がほとんど影響しないため、震源特性とローカルサイト特性で、ほぼ地震動特性が理解できる。以下に震源域の地震動特性について代表的なものを選び、いくつかの地域にグルー

ブ分けした上で考察する．検討に用いた観測点分布を図 2.2.3 に示す．

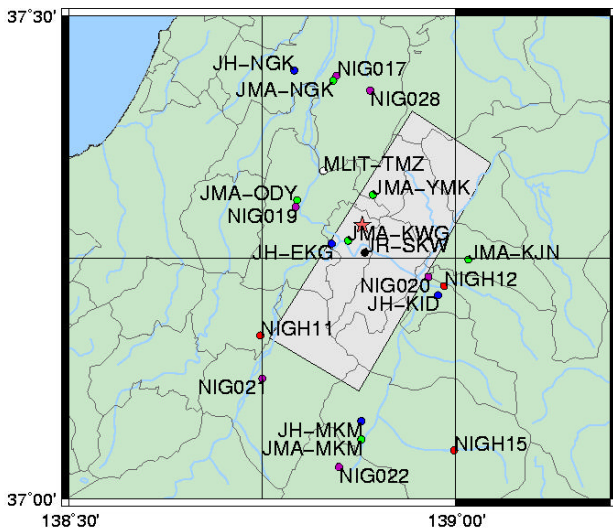


図 2.2.3 震源域での観測点分布

a) 小千谷市

図 2.2.4 に JMA-ODY(小千谷市城内)と K-NET の NIG019 記録の比較を示す．両者の卓越周期はともに 0.7 秒だが，最大応答速度の値は NIG019 の方が大きい．このことから，この地域では震源から 0.7 秒の地震波が放射されており，これに加えて NIG019 地点では地点特性として 0.7 秒の地震波が更に大きく増幅したのではないかと考えられる．

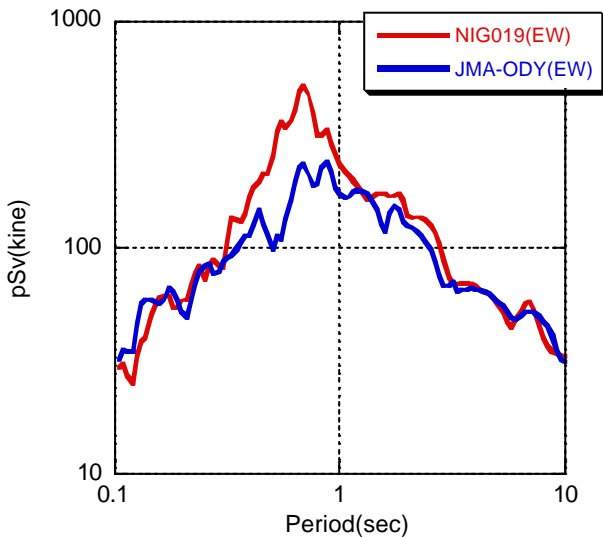


図 2.2.4 小千谷における観測記録の比較

図 2.2.5 に NIG019 地点における過去の記録(黒)，本震記録(赤)および余震記録(緑)の水平/上下フリエスペクトル比を示す．このスペクトル比のピークを与える周期は，地盤の固有周期すなわち地震動を大きく増幅する周期との一致度が良いことが

知られている．この図から地震前および余震ではピークを与える周期が 0.3~0.4 秒程度であるのに，本震だけが 0.7 秒になっていることがわかる．これは本震時は振幅の大きな地震動が作用したため地盤が非線形化し，ピーク周期が長周期側に移動したものと考えることができる．非線形化した後の地盤の固有周期が震源から放射された地震動の卓越周期とたまたま一致したため，NIG019 観測地点では周期 0.7 秒が卓越し，500kine を越えるような大きな応答速度となったものと考えられる．

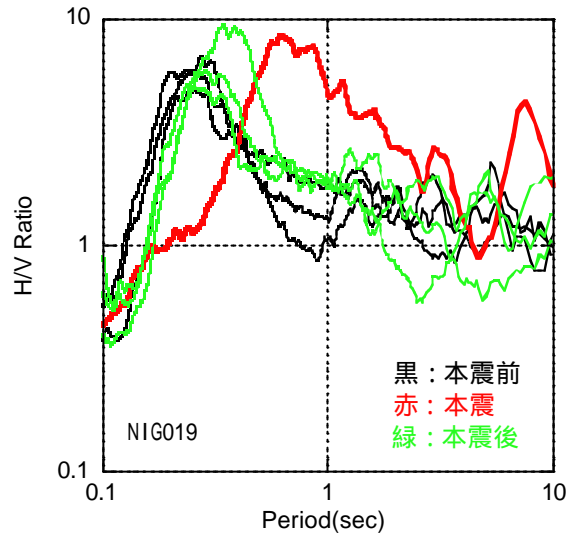


図 2.2.5 NIG019 観測記録の水平 / 鉛直比

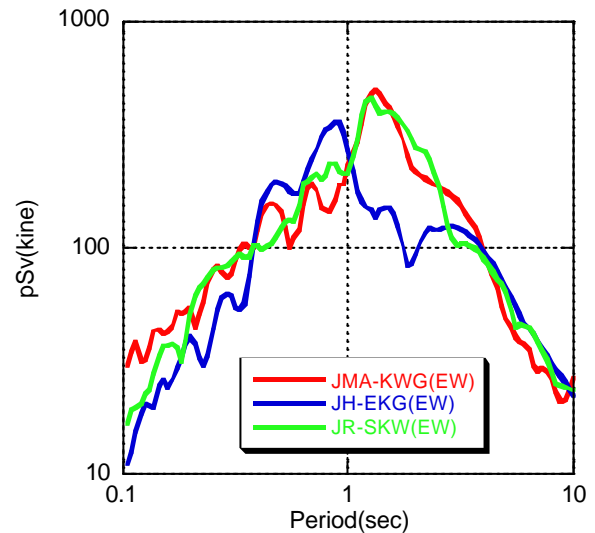


図 2.2.6 川口における観測記録の比較

b) 川口町

次に川口における地震動特性について考察する．前述したように旧川口町役場には JMA 震度計が設置されており，震度 7 が観測されている．その他，

日本道路公団が役場の西方向約 2km 地点で、JR 東日本が役場の東南方向約 2km の地点で観測していた。図 2.2.6 にこれらの記録の疑似速度応答スペクトルを示す。小千谷における卓越周期は 0.7 秒であったが、JH-EKG(越後川口 IC)では 0.9 秒で、JMA-KWG(川口町川口)と JR-SKW(新川口変電所)ではスペクトルはほぼ一致し、その卓越周期は約 1.2 秒であることがわかる。このように小千谷から東へ行くに従って卓越周期が長周期化している傾向が見てとれる。これらの違いは震源から放射された地震動の特性が場所によって違うためと考えられる。

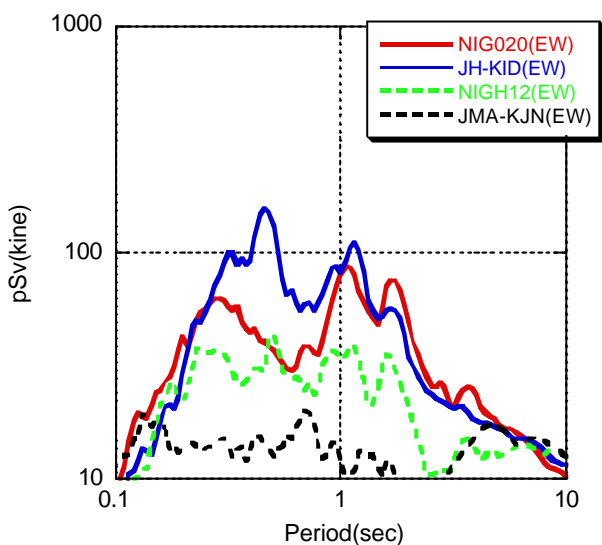


図 2.2.7 小出における観測記録の比較

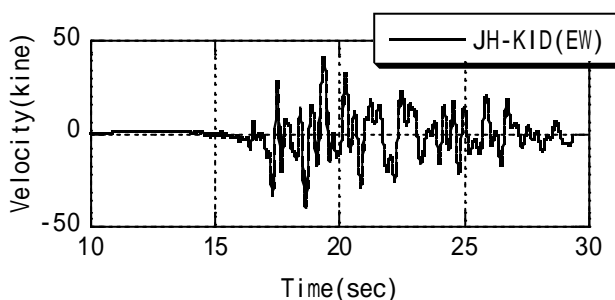


図 2.2.8 JH 小出 IC における速度波形

#### c) 旧小出町

川口より更に東にある小出における地震動特性を考察する。ここには観測点間隔が 2km 以下のところに K-NET の NIG020, KiK-net の NIGH12 および JH-KID(小出 IC)の 3 つの記録がある。また、これらの観測点の中心から北東に約 3km の地点に JMA-KJN(広神村米沢)がある。これらの観測記録の比較を図 2.2.7 に示す。小出の 3 観測点の記録には周期 1.1 秒と 1.8 秒付近に同じようなピークがあり、特に NIG020 と JH-KID は周期 1 秒以上ではほぼ同

じ特性を持つことから、これらの波は震源から放射されたものと考えられる。図 2.2.8 に JH 小出 IC における速度波形を示すが、最初の約 6 秒間に周期 1 秒程度の波がみられ、その後周期約 2 秒程度の波群が観測されていることがわかる。つまり、周期 1 秒程度の波群と周期 2 秒程度の波群は、震源断層上の別の場所から放射された可能性が指摘できる。一方、NIGH12 観測点の記録は周期 1 秒以上のピークを与える周期はほぼ同じなので、同様に震源からの波と考えられるが、振幅が他の 2 観測点のものほぼ半分となっている。やや長周期領域で、このような大きな浅層地盤の影響は考えにくいので、この原因については更に検討する必要があると考えられる。小出の 3 観測点に比べて、JMA-KJN 観測点はさらに振幅が小さい。小出の 3 観測点のうちで最も振幅が小さい NIGH12 は最も東側に位置する観測点であり、JMA-KJN はさらに東側にある。このように震源断層から東側に離れると急激に振幅が小さくなっているが、このような急激な変化は距離減衰だけでは説明できない。

#### d) 旧六日町および十日町市

震源断層の南に位置する六日付近では、図 2.2.9 に示すように、EW 成分に小出における長周期のピークより更に周期の長い周期 2 ~ 3 秒の波が目立つのが特徴である。また、NS 方向には更に周期の長い周期 3 ~ 5 秒程度の波が観測されている。

一方、十日町では、観測された速度波形は図 2.2.10 に示すようにパルス的である。その周期は NIG021 で約 0.2 秒、そこから数 km 北の NIGH11 で周期 0.4 秒である。このことは、震源断層の南端に面積の小さなアスペリティが存在する可能性を示唆している。

#### e) 山古志村および長岡市

図 2.2.11 に示したように、JMA-YMK(山古志村役場)と NIG028(長岡支所)のスペクトルは、NIG028 が約 3 秒のピークを持たないことを除けば良く似ている。これは両サイトともローカルな地盤の影響があまり大きくないことを示しているものと考えられる。一方、長岡市内の記録については、周期約 5 秒付近のピークは共通しているように見えるが、それより短周期側では場所によって大きく応答値が異なり、観測記録間で共通する特徴を見いだすことが難しい。長岡地域ではかなり複雑な堆積履歴を持つことが推測され、地点特性の影響する周期範囲が短周期からかなり長周期領域まで及ぶと考えられるので、これらが震源特性を覆い隠してしまう。従ってこれらの記録の特性を分析するためには、深層地盤構造

および浅層地盤構造の詳細な調査を実施する必要がある。

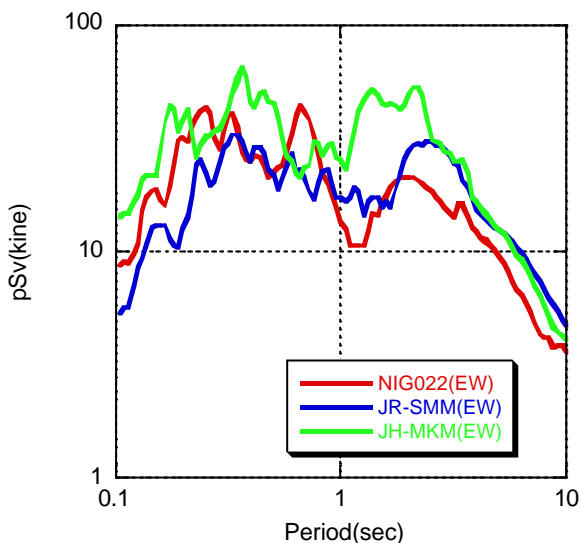


図 2.2.9 六日における観測記録の比較

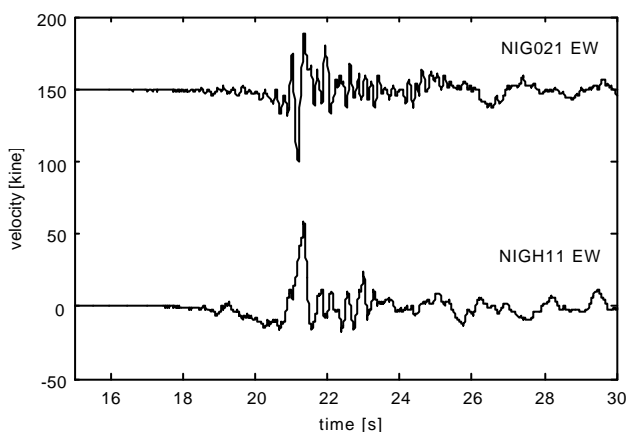


図 2.2.10 十日町における観測記録速度波形

#### f) まとめ

震源域の強震記録の特性は場所によって大きく異なる。図 2.2.12 に示したように、十日町(赤、橙)、小千谷(黄)、川口(黄緑、緑)、小出(青)、六日(紫)と、震源域南部を時計回りに移動するに従って、卓越周期が 0.2 秒から 3 秒程度に長くなっている。これらの特性と震源の破壊過程等との関係を、今後明らかにしていかなければならない。

#### 謝辞

貴重な地震計のデータを提供して頂いた防災科学技術研究所、気象庁、日本道路公団、東日本旅客鉄道株式会社ほか関係機関で、地震計の予算化、設置運営、維持管理、データ回収・公開などに貢献された全ての方に感謝します。

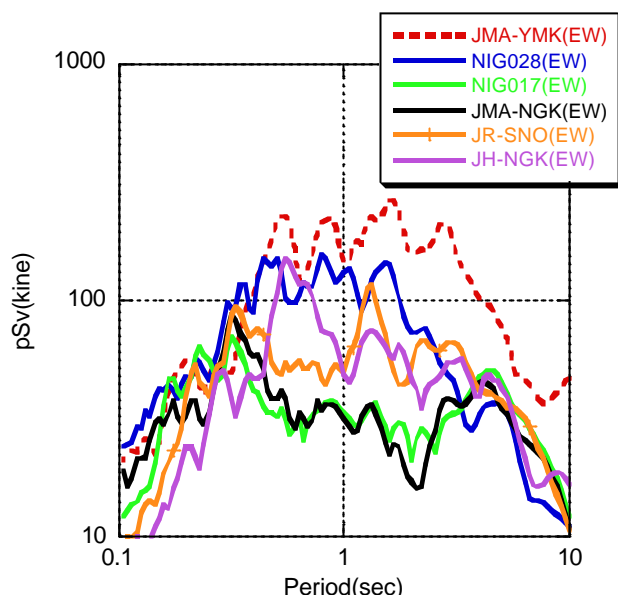


図 2.2.11 山古志・長岡における観測記録の比較

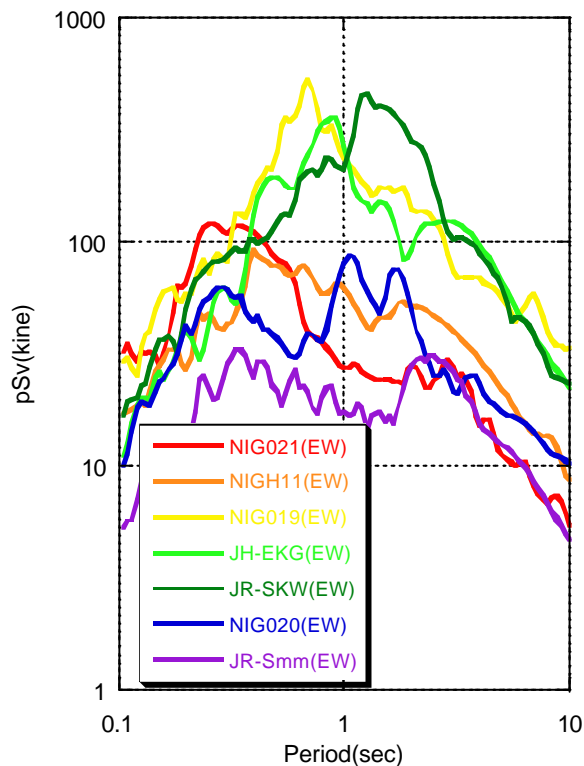


図 2.2.12 震源域における観測記録の比較

#### 【付録 1】2.2 節執筆者

澤田純男 (京都大学防災研究所)  
 後藤洋三・末富岩雄 (防災科学技術研究所)  
 福島康宏 (日本技術開発株式会社)

#### 【付録 2】参考文献および URL

- 1)気象庁：<http://www.jma.go.jp/>
- 2)防災科学技術研究所：<http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 3)岩田知孝：<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/>

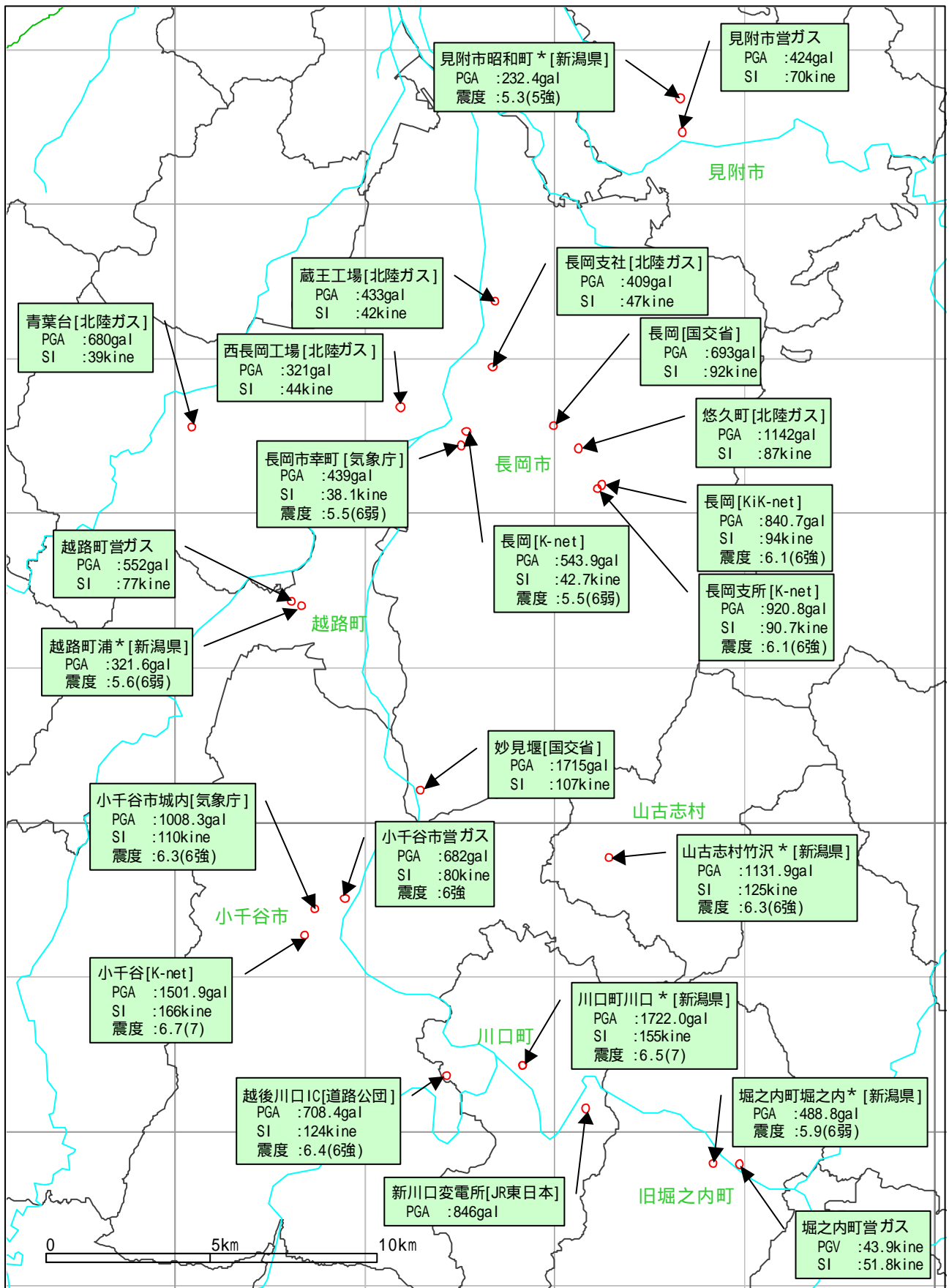


図 2.2.13 震源域における観測値分布

表 2.2.1 主要観測点における地震動強度指標

観測点	緯度 N (度)	経度 E (度)	PGA (gal)	PGV (kine)	SI 値	計測 震度	観測機関
小千谷市	37.3100	138.7950	974.4	92.5	114.1	6.33	気象庁
長岡市	37.4333	138.8417	436.3	37.7	40.9	5.49	気象庁
六日町	37.0617	138.8783	153.9	27.8	38.3	5.22	気象庁
広神村	37.2483	139.0170	337.8	16.5	13.9	4.69	気象庁
片品村	36.7667	139.2488	226.1	9.4	9.8	4.54	気象庁
山古志村	37.3237	138.8932	785.1	116.3	136.6	6.35	新潟県
川口町	37.2674	138.8644	1670.4	147.1	157.3	6.51	新潟県
川西町	37.1592	138.7419	693.4	52.0	57.6	5.69	新潟県
小国町	37.3022	138.7119	692.7	61.7	80.4	6.02	新潟県
NIG013	37.7608	138.8866	135.3	14.6	15.2	4.53	防災科研
NIG014	37.6380	138.9591	122.1	18.2	20.1	4.82	防災科研
NIG015	37.6905	139.1919	82.2	5.2	4.8	3.73	防災科研
NIG016	37.6391	138.7708	104.4	8.7	8.6	4.18	防災科研
NIG017	37.4386	138.8463	546.2	50.6	42.7	5.50	防災科研
NIG018	37.3694	138.5611	145.1	31.4	31.8	4.92	防災科研
NIG019	37.3027	138.7930	1496.9	133.4	166.0	6.73	防災科研
NIG020	37.2302	138.9652	640.7	40.0	47.8	5.54	防災科研
NIG021	37.1250	138.7500	1616.6	66.4	76.0	6.16	防災科研
NIG022	37.0333	138.8494	365.4	25.0	27.0	5.10	防災科研
NIG023	37.0116	138.6561	429.2	35.9	40.3	5.02	防災科研
NIG024	37.1238	138.4472	275.6	15.0	16.8	4.95	防災科研
NIG025	37.1577	138.2266	220.2	21.2	24.5	5.19	防災科研
NIG026	37.0197	138.2538	81.2	5.3	5.2	3.98	防災科研
NIG027	37.0205	137.8655	68.4	2.8	2.8	3.56	防災科研
NIG028	37.4231	138.8894	952.4	71.1	90.7	6.10	防災科研
NIGH01	37.4242	138.8908	655.8	131.2	51.7	5.70	防災科研
NIGH02	38.2769	139.5519	40.6	3.5	3.7	3.54	防災科研
NIGH03	38.1297	139.4322	35.4	2.5	2.6	3.18	防災科研
NIGH04	38.1283	139.5461	63.1	2.6	3.3	3.52	防災科研
NIGH05	37.9731	139.2819	121.7	7.0	6.3	3.96	防災科研
NIGH06	37.6497	139.0708	339.3	96.0	28.2	5.28	防災科研
NIGH07	37.6628	139.2642	128.3	4.7	4.1	3.76	防災科研
NIGH08	37.6678	139.4681	140.8	10.6	10.6	4.26	防災科研
NIGH09	37.5356	139.1311	409.6	65.5	31.6	5.16	防災科研
NIGH11	37.1697	138.7472	524.8	126.6	43.0	5.37	防災科研
NIGH13	37.0514	138.3997	87.3	5.8	7.1	3.95	防災科研
NIGH16	36.9347	137.8511	32.4	1.4	1.5	2.89	防災科研
NIGH17	36.8539	138.0997	67.2	7.6	8.1	4.15	防災科研
NIGH18	36.9394	138.2625	135.0	8.8	10.8	4.39	防災科研
NIGH19	36.8083	138.7881	75.9	3.9	4.6	3.65	防災科研
越後川口 IC	37.2650	138.8400	708.2	115.7	126.2	6.39	日本道路公団
上越 IC	37.1455	138.2663	71.5	9.8	12.1	4.19	日本道路公団
柿崎 IC	37.2673	138.3945	107.1	13.2	17.6	4.54	日本道路公団
小出 IC	37.2132	138.9752	510.4	42.8	54.2	5.83	日本道路公団
六日町 IC	37.0780	138.8793	374.4	25.1	31.4	5.32	日本道路公団
長岡 IC	37.4426	138.7939	437.5	43.3	52.8	5.68	日本道路公団
中之島見附 IC	37.5269	138.8765	458.7	46.8	63.3	5.81	日本道路公団
西山 IC	37.4396	138.6599	400.6	20.7	21.3	5.17	日本道路公団
沼田 IC	36.6523	139.0732	348.4	14.0	15.7	5.07	日本道路公団

三条燕 IC	37.6484	138.9452	152.9	23.3	20.6	4.71	日本道路公団
湯沢 IC	36.9290	138.8295	77.0	6.1	6.7	3.97	日本道路公団
新渋川	36.5267	138.9719	133.1	4.1	4.3	3.92	JR 東日本
新水上	36.7706	138.9639	246.0	6.2	6.7	4.39	JR 東日本
新湯沢	36.9222	138.8206	163.3	8.0	9.1	4.40	JR 東日本
新六日町	37.0944	138.8628	328.2	20.9	21.0	4.96	JR 東日本
新川口	37.2586	138.8819	875.6	151.7	169.6	6.48	JR 東日本
新長岡	37.4192	138.8481	469.6	46.2	58.3	5.69	JR 東日本
新押切	37.5147	138.8797	247.5	30.2	35.5	5.20	JR 東日本
新中之口	37.6972	138.9672	129.9	15.2	19.7	4.70	JR 東日本
直江津	37.1703	138.2417	140.3	8.7	13.2	4.53	JR 東日本
柏崎	37.3633	138.5564	147.6	29.9	34.7	4.99	JR 東日本
長岡	37.4472	138.8539	587.3	31.8	40.0	5.42	JR 東日本
飯山	36.8478	138.3592	205.0	11.5	14.7	4.63	JR 東日本
十日町	37.1353	138.7569	662.0	50.5	66.1	5.86	JR 東日本

JR 東日本においては、本表に示した値とは別に、地震発生時の運転規制に用いる目的で鉄道構造物等との被害を考慮したフィルターを介した値を算出している。