

2. 地震と地震動の特性

2. 1 震源と震度分布

2. 1. 1 本震

平成16年10月23日17時56分頃、新潟県中越地方で発生した地震は、北緯37度17.3分、東経138度52.2分、深さ13kmを震源とし、気象庁マグニチュードはM6.8であった¹⁾。気象庁の発表による推計震度分布を図2.1に示す。推計震度分布とは、観測した震度をもとに地盤の特性等を考慮して震度の面的な広がりを推定し、地図上に表示したものである。図より、震央を中心に強い地震動が分布しており、特に北東から南西の方向に広がりをもっていたことがわかる。また、図2.2に示すとおり、川口町で震度7、小千谷市、山古志村、小国町で震度6強を観測したほか、長岡市、十日町市、栃尾市など12の観測点で震度6弱、東北地方から近畿地方にかけて震度5強から震度1の揺れを観測した。

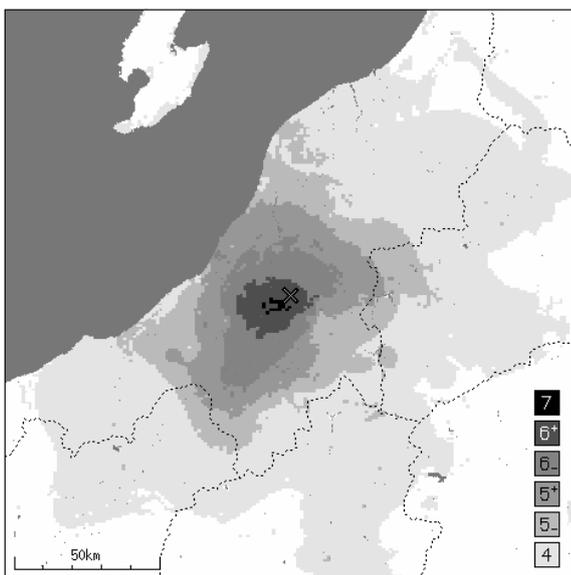


図 2.1 推計震度分布 ¹⁾

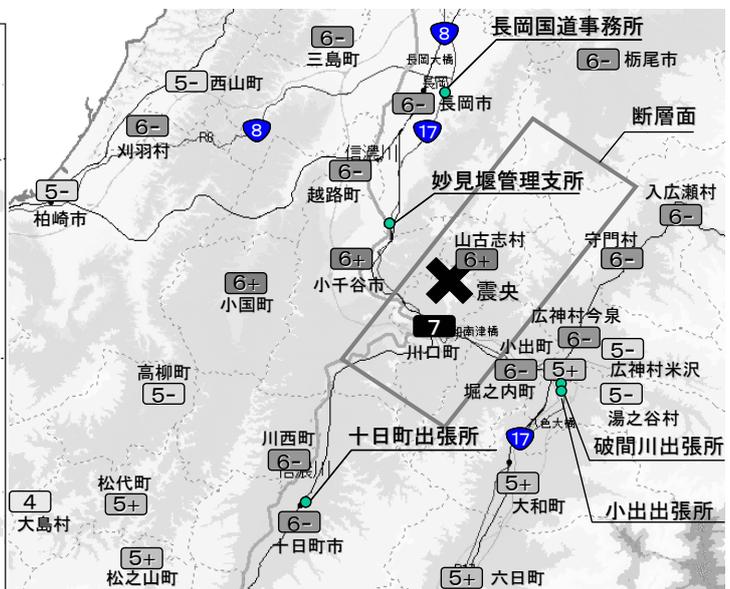
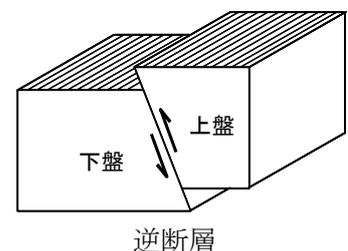


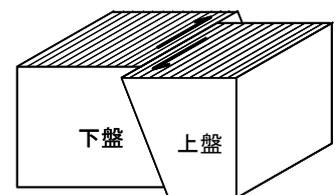
図 2.2 震度分布と地震計NW観測地点

図2.2には、震央とともに、地表面に投影した今回の地震を発生させた断層面²⁾を示している。震度7の川口町や、震度6強の山古志村が断層面の直上であることが分かる。また、上述の推計震度分布による地震動の広がりが、断層の長手方向と一致することがわかる。

今回の地震を引き起こした上記の断層は、逆断層であったと考えられている。逆断層とは、図2.3に示すとおり、断層面を境にして上盤が下盤に対し相対的にずり上がった断層である。今回の断層面において、上盤側は、小千谷市のように断層面の北西に位置する地域である。震度分布からは、上盤側の震度が下盤側に比べて大きい傾向であることが確認できる。



逆断層



横ずれ断層

図 2.3 逆断層と横ずれ断層

過去に発生した内陸地震のうち、断層のタイプがわかるものと、そのタイプを 表 2.1 に示す。1945 年の三河地震から約 60 年ものあいだ、M6.8 以上の逆断層の地震が発生していない。また、1945 年三河地震以前の過去の地震をみても、今回のような逆断層に起因する内陸地震は少ないことがわかる。

表 2.1 1885 年以降の M6.8 以上の内陸地震（タイプが分かるもの）

地震	M	断層タイプ
1891 濃尾地震	8.0	横ずれ断層
1894 庄内地震	7.0	逆断層
1896 陸羽地震	7.2	逆断層
1909 姉川地震	6.8	横ずれ断層
1927 北丹後地震	7.3	横ずれ断層
1930 北伊豆地震	7.3	横ずれ断層
1931 西埼玉地震	6.9	横ずれ断層
1943 鳥取地震	7.2	横ずれ断層
1945 三河地震	6.8	逆断層
1948 福井地震	7.1	横ずれ断層
1961 北美濃地震	7.0	傾斜断層
1974 伊豆半島沖地震	6.9	横ずれ断層
1978 伊豆大島近海地震	7.0	横ずれ断層
1984 長野県西部地震	6.8	横ずれ断層
1995 兵庫県南部地震	7.3	横ずれ断層
2000 鳥取県西部地震	7.3	横ずれ断層
2004 新潟県中越地震	6.8	逆断層

2. 1. 2 余震活動

今回の地震は比較的揺れの強い余震が多く、本震の発生から 3 分後、7 分後、1 1 分後に最大震度 5 強、1 5 分後と 3 8 分後には最大震度 6 強の比較的強い余震が発生した。なお、最大震度 5 弱以上の余震の数は、震度 6 強と 6 弱がそれぞれ 2 回、5 強が 8 回、5 弱が 6 回となっている (表 2.2)。

表 2.2 本震と最大震度 5 弱以上の余震の一覧¹⁾ (12 月 28 日現在)

No.	発生日月日					M	深さ (km)	震央地名 (地震名)	最大震度	本震からの経過時間
	年	月	日	時	分					
1	2004	10	23	17	56	6.8	13	新潟県中越地方 (2004年 新潟県中越地震)	7	本震
2	2004	10	23	17	59	5.3	16	新潟県中越地方	5強	3分
3	2004	10	23	18	3	6.3	9	新潟県中越地方	5強	7分
4	2004	10	23	18	7	5.7	15	新潟県中越地方	5強	11分
5	2004	10	23	18	11	6.0	12	新潟県中越地方	6強	15分
6	2004	10	23	18	34	6.5	14	新潟県中越地方	6強	38分
7	2004	10	23	18	36	5.1	7	新潟県中越地方	5弱	40分
8	2004	10	23	18	57	5.3	8	新潟県中越地方	5強	61分
9	2004	10	23	19	36	5.3	11	新潟県中越地方	5弱	100分
10	2004	10	23	19	45	5.7	12	新潟県中越地方	6弱	109分
11	2004	10	23	19	48	4.4	14	新潟県中越地方	5弱	112分
12	2004	10	24	14	21	5.0	11	新潟県中越地方	5強	翌日
13	2004	10	25	0	28	5.3	10	新潟県中越地方	5弱	2日
14	2004	10	25	6	4	5.8	15	新潟県中越地方	5強	2日
15	2004	10	27	10	40	6.1	12	新潟県中越地方	6弱	4日
16	2004	11	4	8	57	5.2	18	新潟県中越地方	5強	12日
17	2004	11	8	11	15	5.9	ごく浅い	新潟県中越地方	5強	16日
18	2004	11	10	3	43	5.3	5	新潟県中越地方	5弱	18日
19	2004	12	28	18	30	5.0	8	新潟県中越地方	5弱	66日

過去に発生した内陸地震との余震活動の比較を図 2.4 に示す。図より、今回の余震活動が過去の地震と比較して特に活発であることがわかる。その活動は、余震活動が活発であった 1945 年三河地震や 1943 年鳥取地震と同程度であり、1995 年の兵庫県南部地震を始めとする近年の代表的な地震を上回ることがわかる。

余震の分布を図 2.5(a)に示す。推計震度分布による地震動強さの分布と同様に、北東から南西の方向に広がりを持っていることがわかる。断層と直交方向の A-A'断面からみた深さ方向の余震分布を図 2.5 の(b)(c)に示す。(b)は本震発生から 27 日の余震(M6.1)が発生するまでの余震の分布、(c)は 27 日の余震(M6.1)とそれ以降の余震の分布を表している。本震から 27 日の余震までの余震活動では、本震の震央付近と震央より少し浅い場所の余震活動が活発であった。しかし、27 日の余震以降については、本震の余震分布がより地表に近い場所に移るとともに、27 日の余震の震源付近の場所で余震活動が活発になったことがわかる。

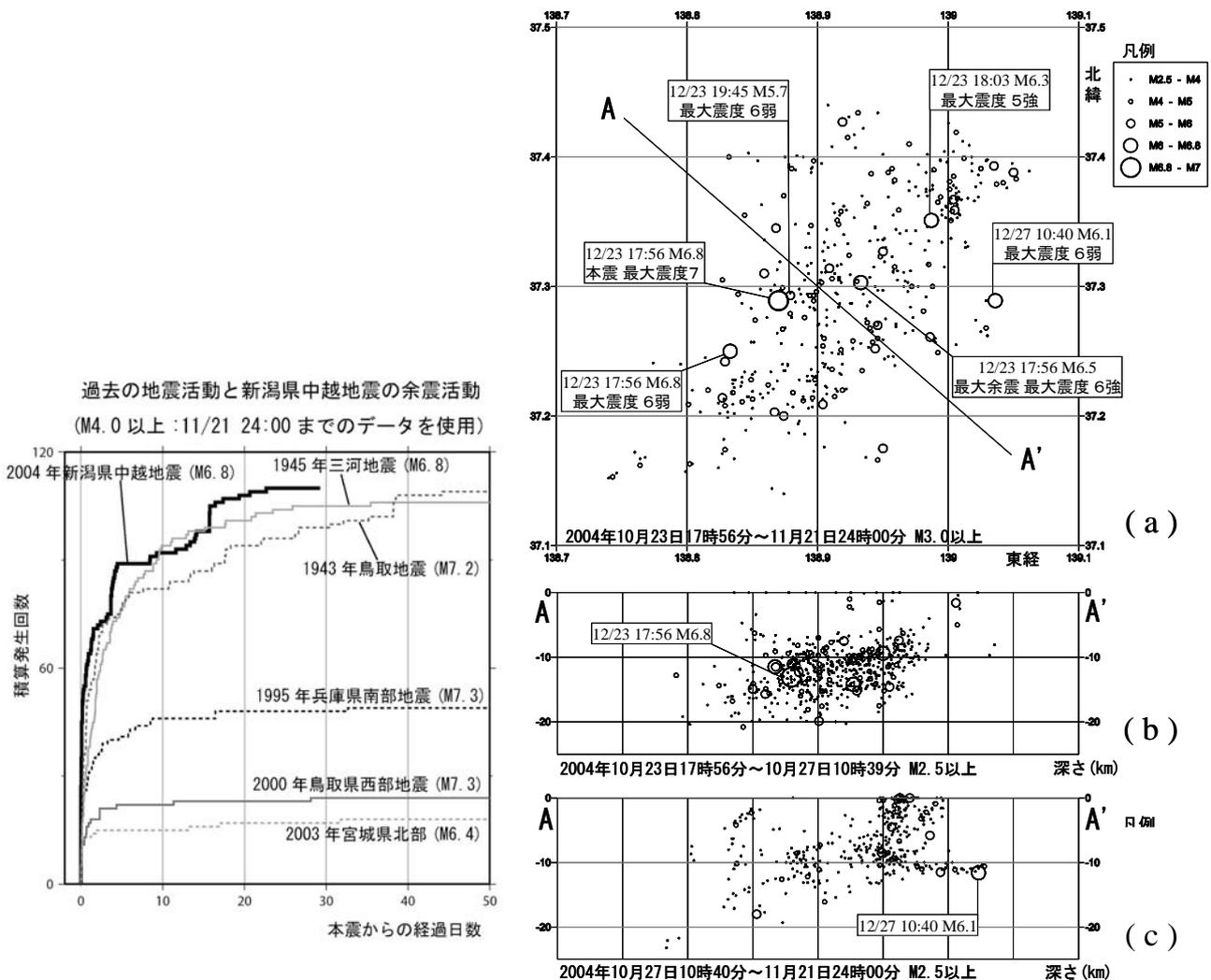


図 2.4 過去の地震との余震活動の比較¹⁾ 図 2.5 余震分布図 (一元化震源リスト³⁾より作成)

2. 2 地震動の特性

2. 2. 1 強震記録の概要

国土交通省では、施設の管理を目的とした全国的な地震計ネットワーク観測施設(以降、地震計NW)を整備しており、今回の地震においても約 180 箇所の観測地点にて地震動を観測した。図 2.6 に最大加速度の分布を示す。観測された記録の最大加速度及びSI値(最大加速度は水平成分を合成して算出、SI値は水平2成分のうち大きい方)は国総研ホームページ⁴⁾にて公開中である。

2. 2. 2 最大加速度と距離減衰状況

図 2.7 に示した数値は、地震計NWにより観測された記録のうち、震源近傍の 5 地点で得られた最大加速度値である。このうち、妙見堰管理支所(震央距離: 7km)の最大加速度が最も大きく 1715(cm/s^2)であった。瞬間的に作用した加速度ではあるもののその値は、重力加速度(980 cm/s^2)の実に約 1.7 倍であった。一方、地震動の強さを表し、一般的な構造物に与える被害と相関が高い指標であるSI値についても、妙見堰において最も大きな値 106 cm/s (EW成分)を観測した。これは兵庫県南部地震の強震記録(神戸海洋気象台NS成分)から算出した 114 cm/s に迫る値である。

地震計NWで観測された最大加速度の距離減衰特性と、距離減衰式による推定値を図 2.7 に示す。推定式Aは内陸の浅い地震について提案されている距離減衰式⁵⁾、推定式Bは国土交通省で過去に観測した強震記録から提案された距離減衰式⁶⁾である。これによると、今回の地震で観測された最大加速度は内陸地震としては、ほぼ平均的であったと考えられるが、震源近傍の観測点のうち①②③で示した地点については推定式よりもかなり大きな値となっていることがわかる。このうち①③については、図 2.3 の上盤に相当する位置にある。逆断層の地震では上盤側の地震動が下盤側より大きくなるといわれており、妙見堰管理支所や長岡国道事務所の最大加速度が大きくなった理由のひとつと考えられる。

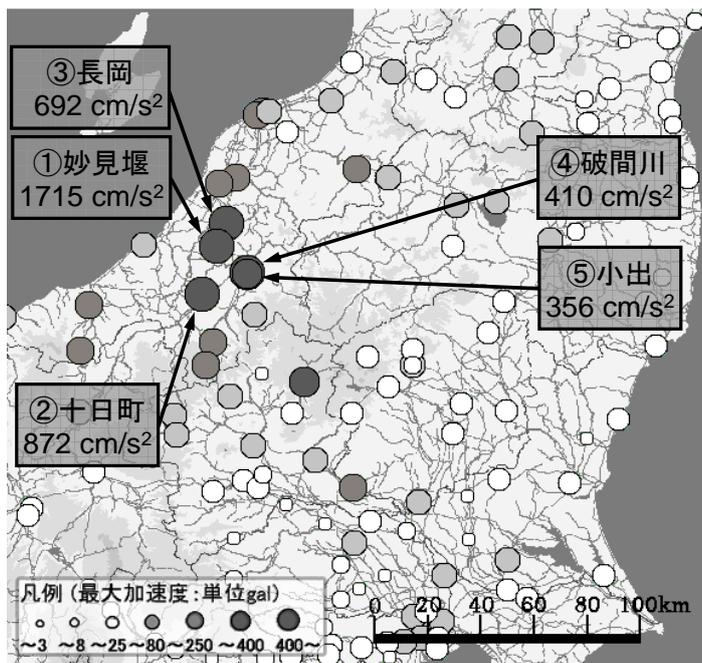


図 2.6 地震計 NW で観測された最大加速度

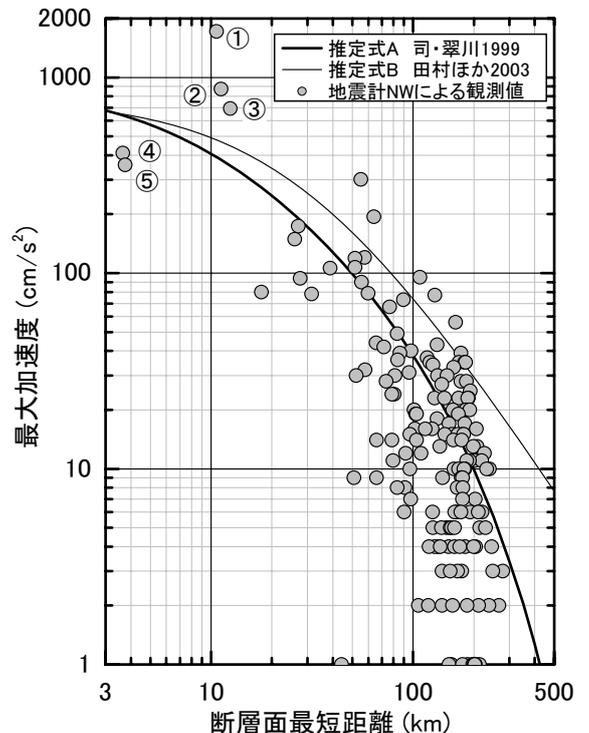


図 2.7 地震計 NW 記録の距離減衰状況

2. 2. 3 加速度応答スペクトルとSI値、計測震度

妙見堰管理支所と長岡国道事務所で観測された記録の加速度波形を図 2.8(a)(b)に示す。これらの観測記録より、気象庁と同様の手法を用いて震度を算出した結果、妙見堰管理支所は震度 7 (計測震度相当値 6.5)、長岡国道事務所は震度 6 強 (同 6.1) であった。最大加速度や SI 値からも、これらの地震動が非常に強いものであったことがわかる。また、観測記録より求めた加速度応答スペクトルを図 2.9 に示す。同図には、兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で得られた記録(NS 成分)による加速度応答スペクトルを併せて示している。これらの比較より今回の地震で観測された妙見堰における地震動は、神戸海洋気象台の記録と同程度、固有周期の短い構造物についてはそれ以上に、影響の大きい地震動であったことがわかる。

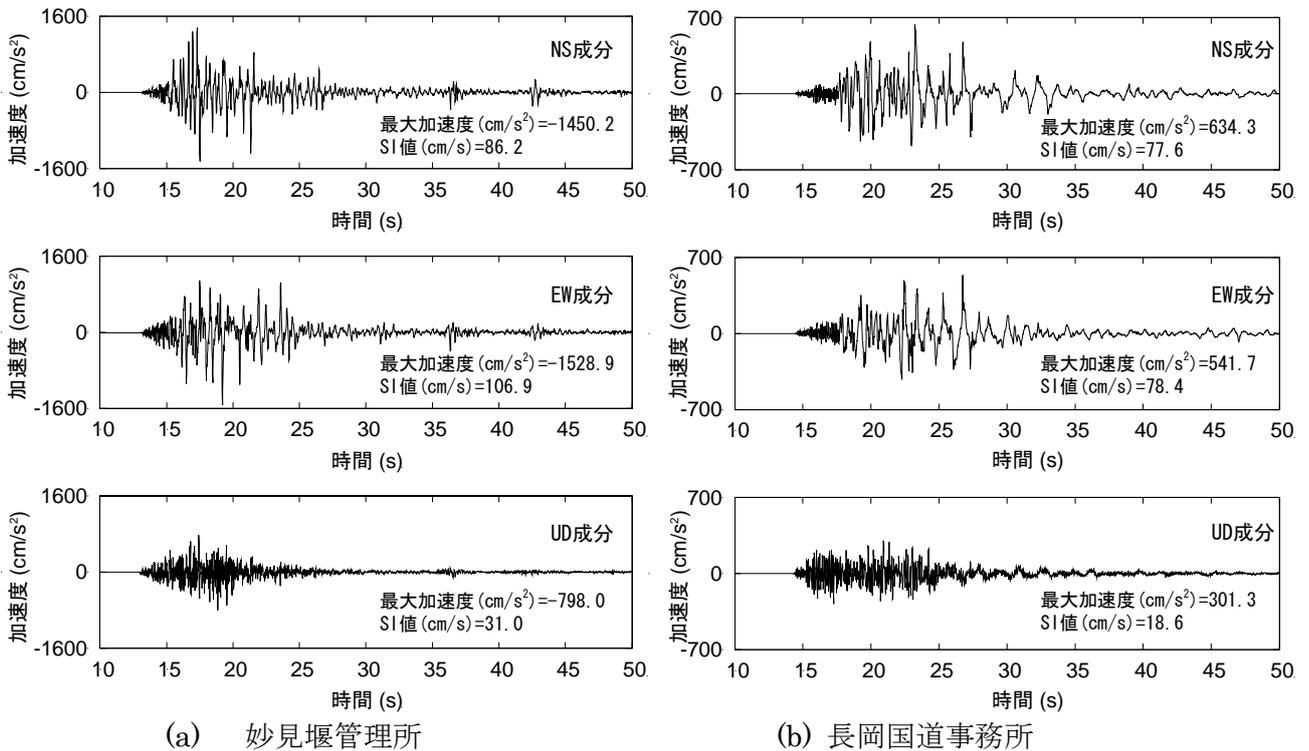


図 2.8 観測された加速度時刻歴波形 (横軸の絶対時刻は地点毎に異なる)

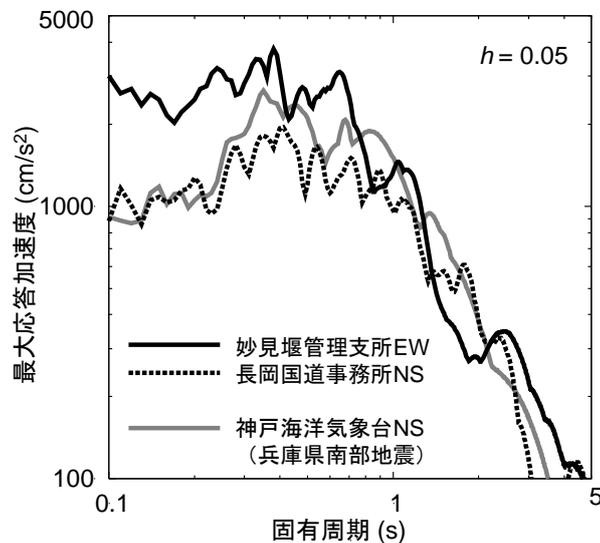


図 2.9 加速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

加速度応答スペクトルについて、距離減衰式⁶⁾による推定値と、観測記録より求めた値との比較を図 2.10 に示す。観測記録は、妙見堰管理支所や長岡国道事務所等を含む 6 地点によるものを用い、NS成分とEW成分それぞれの加速度応答値を示した。特に固有周期 0.7 秒の加速度応答値について、一部の観測記録が推定値より大幅に大きく、妙見堰のEW成分では観測値は推定値の約 3.9 倍（観測値 2530gal, 推定値 649.4gal）であった。ただし、これらの観測値を除いた全体の観測記録は、過去の地震動からの推定値と比較しても平均的であったことがわかる。

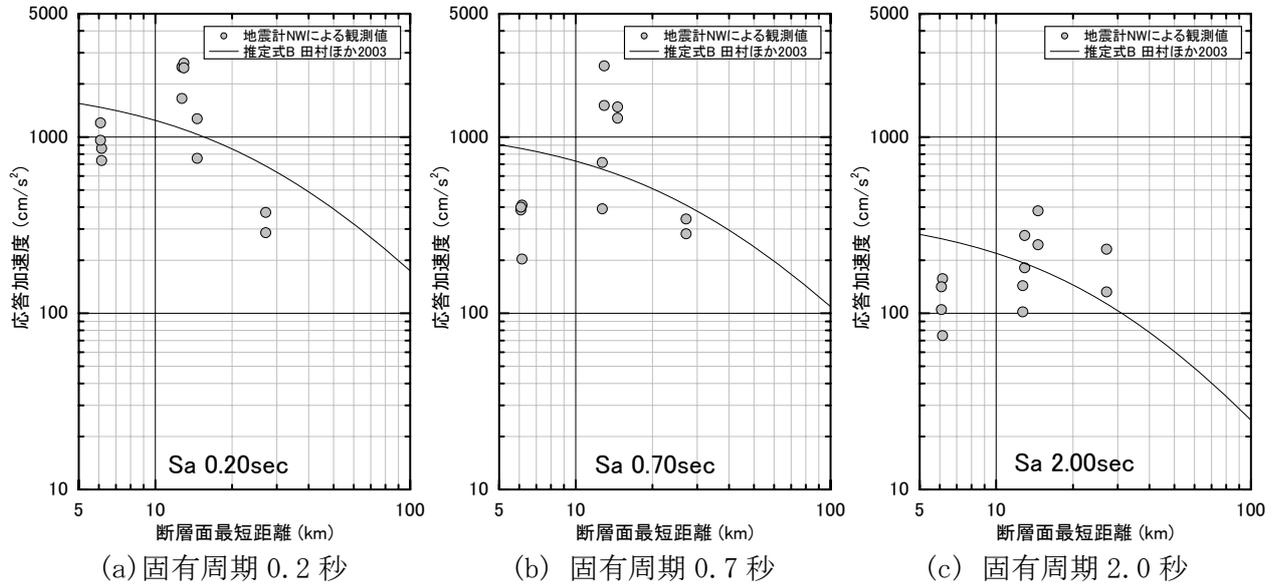


図 2.10 加速度応答スペクトルの距離減衰式

2. 2. 4 地震動の方向性

妙見堰の加速度記録より求めた地動速度の軌跡を図 2.11 に示す。図より、推定される断層面の直交方向の地震動が強かったことがわかる。また、震源近傍の墓地（堀之内町新道地区）では、図 2.12 のように複数の石の移動が確認された。地震前にあったと思われる場所と、移動後の石の間には転がった形跡は無いため、跳躍かそれに近い状況で石が移動したと思われる。移動の方向は北北西であり、ほぼ断層面と直交方向であった。これらのことから、今回の地震による地震動は断層面と直交方向に非常に強かったことが考えられる。

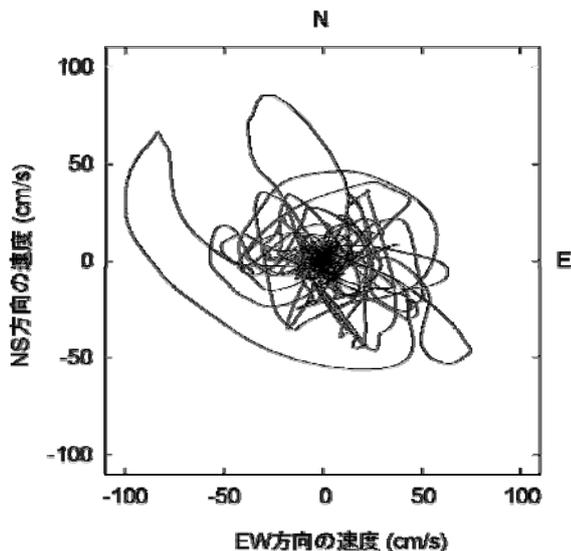


図 2.11 妙見堰における地動速度の軌跡



図 2.12 震源近傍で確認された石の移動

2. 3 まとめ

今回の地震は、気象庁の計器観測で初めて震度7を観測したやや規模の大きい (M6.8) 逆断層の地震であり、過去の地震の中でも余震活動が活発であった。また、地震計NWで観測された妙見堰管理支所の地震動は震度7に相当し、1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録と同程度以上に構造物に対して影響の大きい地震動であった。地震動は断層の上盤側で大きく、推定される断層面と直交方向に強いことが確認された。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/>
- 2) 東京大学地震研究所ホームページ <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>
- 3) 防災科学技術研究所ホームページ <http://www.bousai.go.jp/>
- 4) 国土技術政策総合研究所ホームページ 河川・道路施設の地震計ネットワーク情報
<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb>
- 5) 司宏敏、翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第523号、pp.63-70、1999
- 6) Tamura, K., Matsumoto, S. and Nakao, Y.: Attenuation Relations of Peak Ground Acceleration and Acceleration Response Spectra for Engineering Applications, Research Report of PWRI, Vol. 199, pp. 79-95, March 2003