

第1編 地震と地震動

片岡 正次郎^{*1}

松本 俊輔^{*2}

長屋 和宏^{*2}

日下部 毅明^{*3}

by Dr. Shojiro Kataoka
Shunsuke Matsumoto
Kazuhiro Nagaya
and
Takaaki Kusakabe

細目次

1 . 概 要	3
2 . 震源と震度分布	3
2.1 本震	3
2.2 余震活動	4
3 . 地震動の特性	5
3.1 強震記録の概要	5
3.2 最大加速度とその距離減衰	5
3.3 加速度応答スペクトルとSI値、計測震度	6
3.4 地震動の方向性	7
4 . まとめ	8
謝 辞	8
参考文献	8

*1 国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室主任研究官、博（工）

*2 国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室研究官

*3 国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室長

1. 概要

1926年以降、新潟県で震度5以上が観測された地震は、1964年新潟地震（気象庁マグニチュードM7.5）のほか、2001年1月に中越地方で発生したM4.5とM5.3の2つの内陸浅発地震のみである。平成16年(2004年)新潟県中越地震は、このように比較的地震活動度が低い地域で発生した内陸地殻内地震であり、全国的にも発生回数が少ない逆断層型のやや規模の大きい地震
 最大震度6弱以上の余震が4回観測されるなど余震活動が活発 気象庁の計器観測で初めて震度7を観測、といった特徴を有している。

2. 震源と震度分布

2.1 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Mは6.8であった¹⁾。気象庁の発表による推計震度分布を図-1.1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分かる。また、図-1.2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-1.2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確認できる。

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-1.3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くらべて大きい傾向であることが確認できる。

1885年以降に我が国で発生した内陸地震とそのタイプを表-1.1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は発生していなかった。また、1945年三河地震以前の過去の地震

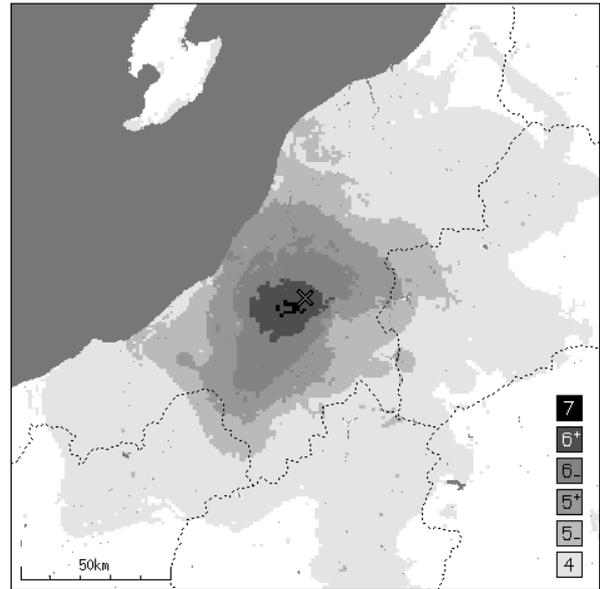


図-1.1 推計震度分布¹⁾

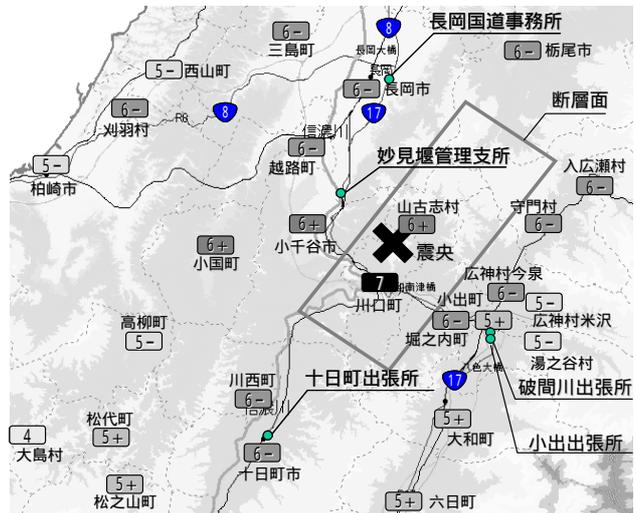
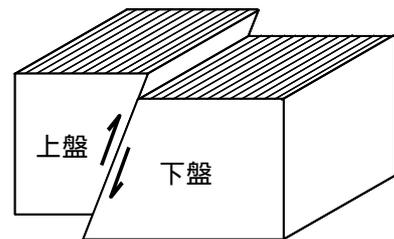
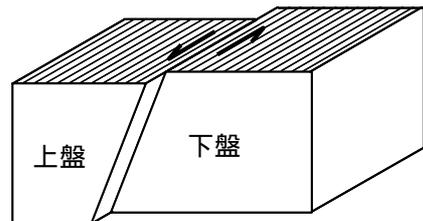


図-1.2 震度分布と地震計NW観測地点



(a) 逆断層



(b) 横ずれ断層

図-1.3 逆断層と横ずれ断層

をみても、タイプが不明の地震はあるが、逆断層に分類される内陸地震は横ずれ断層のものと比較してかなり少ないことがわかる。

なお、今回の地震では明瞭な地表地震断層は出現していない。1885年～2003年に我が国で発生した内陸地震についてみると、M6.8の4地震のうち2地震、M6.6以上7.0以下の13地震のうち4地震で地表地震断層が出現している³⁾。

2.2 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、11分後に最大震度5強、15分後と38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9回、5弱が7回となっている(表-1.2)。

過去に発生した内陸地震との余震活動の比較を図-1.4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-1.5(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

表-1.1 1885年以降の内陸地震(M 6.8)とそのタイプ³⁾

地震	M	タイプ
1891年濃尾地震	8.0	横ずれ断層
1894年庄内地震	7.0	逆断層
1896年陸羽地震	7.2	逆断層
1900年宮城北部地震	7.0	不明
1909年姉川地震	6.8	横ずれ断層
1914年桜島地震	7.1	不明
1914年羽後仙地震	7.1	不明
1925年北但馬地震	6.8	不明
1927年北丹後地震	7.3	横ずれ断層
1930年北伊豆地震	7.3	横ずれ断層
1931年西埼玉地震	6.9	横ずれ断層
1943年鳥取地震	7.2	横ずれ断層
1945年三河地震	6.8	逆断層
1948年福井地震	7.1	横ずれ断層
1961年北美濃地震	7.0	傾斜断層
1974年伊豆半島沖地震	6.9	横ずれ断層
1978年伊豆大島近海地震	7.0	横ずれ断層
1984年長野県西部地震	6.8	横ずれ断層
1995年兵庫県南部地震	7.3	横ずれ断層
2000年鳥取県西部地震	7.3	横ずれ断層
2004年新潟県中越地震	6.8	逆断層

表-1.2 本震と最大震度5弱以上の余震の一覧¹⁾(2005年10月22日現在)

No.	発生年月日					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	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
20	2005	6	20	13	3	5.0	15	新潟県中越地方	5弱	約8か月
21	2005	8	21	11	29	5.0	17	新潟県中越地方	5強	約10か月

最大震度6弱以上

A-A'断面からみた深さ方向の余震分布を図-1.5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、本震の震源付近と震源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で余震活動が活発になったことがわかる。

3. 地震動の特性

3.1 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箇所の観測地点で地震動を観測した。図-1.6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⁵⁾で公開している。

3.2 最大加速度とその距離減衰

図-1.6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/s²]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/s²])の約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の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-1.7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⁶⁾、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⁷⁾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。このうちについては、図-1.3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

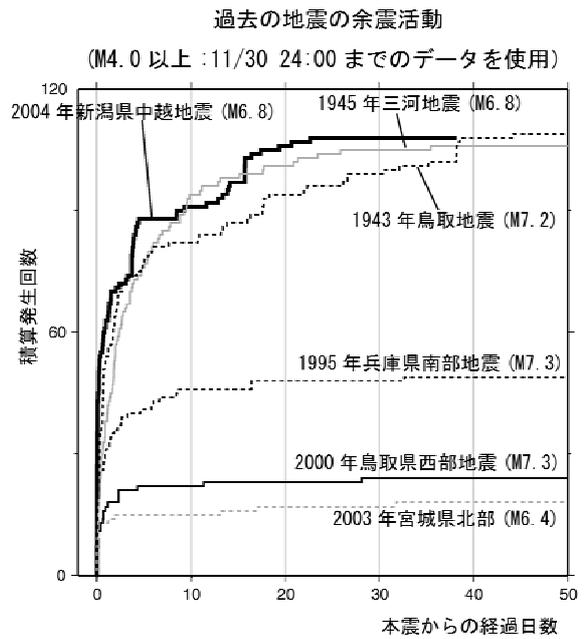


図-1.4 過去の地震との余震活動の比較¹⁾

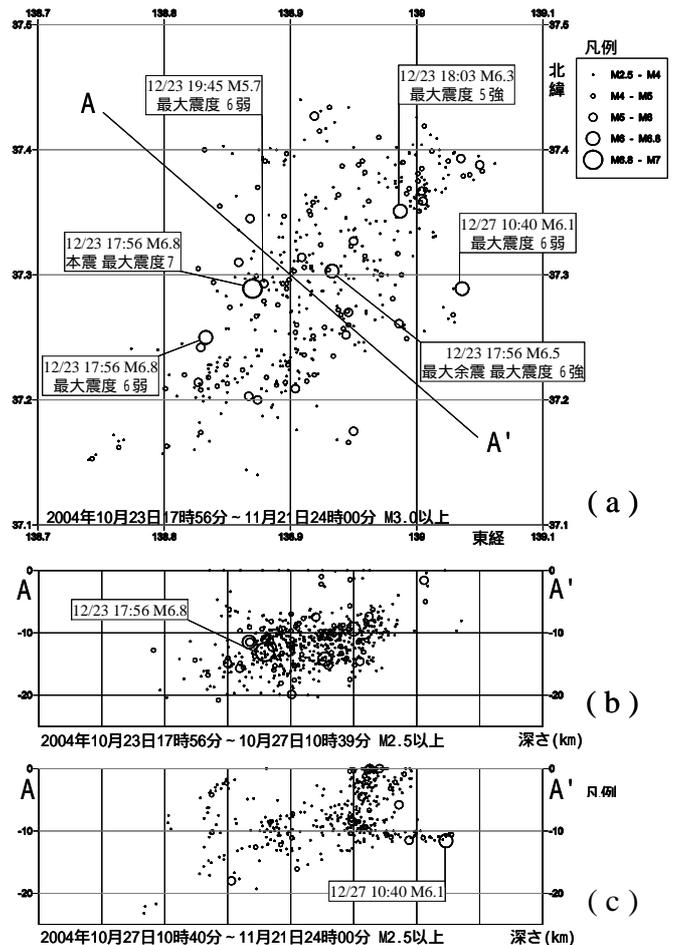


図-1.5 余震分布図(一元化震源リスト⁴⁾より作成)

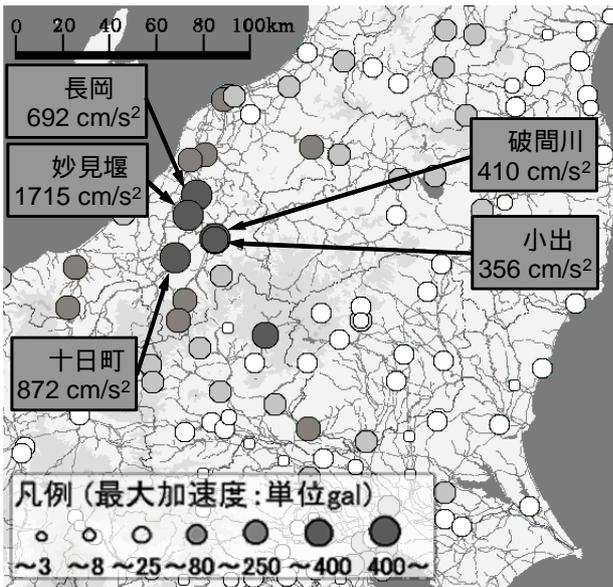
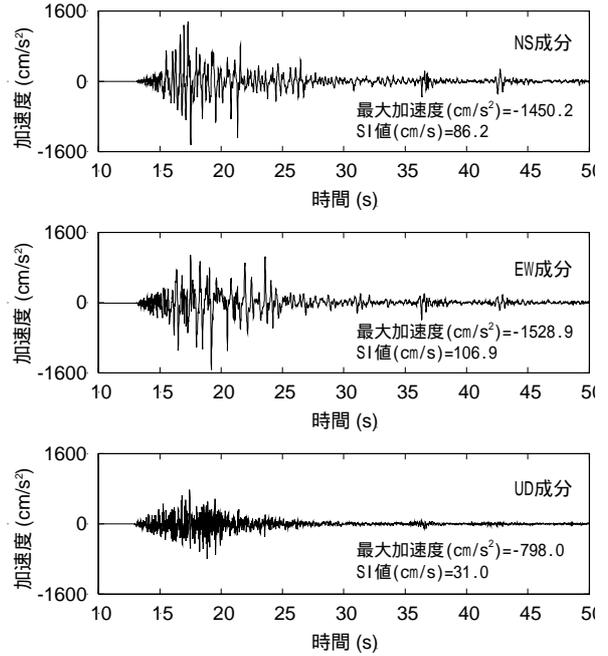


図-1.6 地震計 NW で観測された最大加速度



(a) 妙見堰管理所

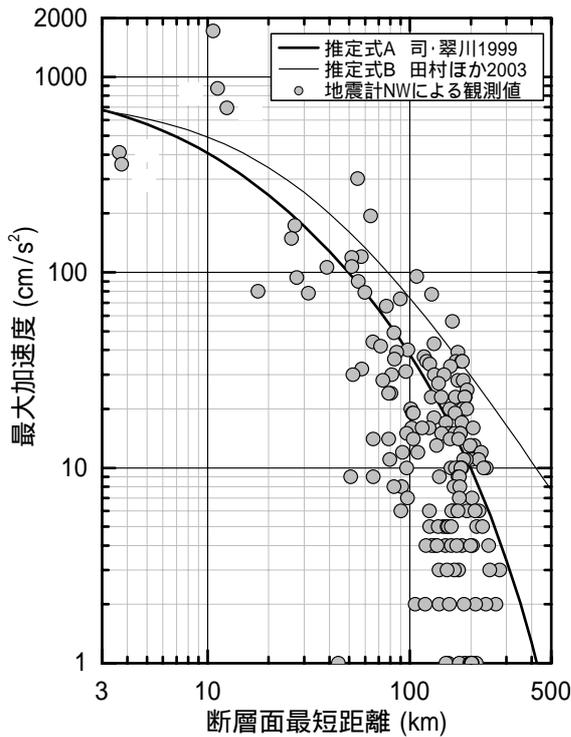
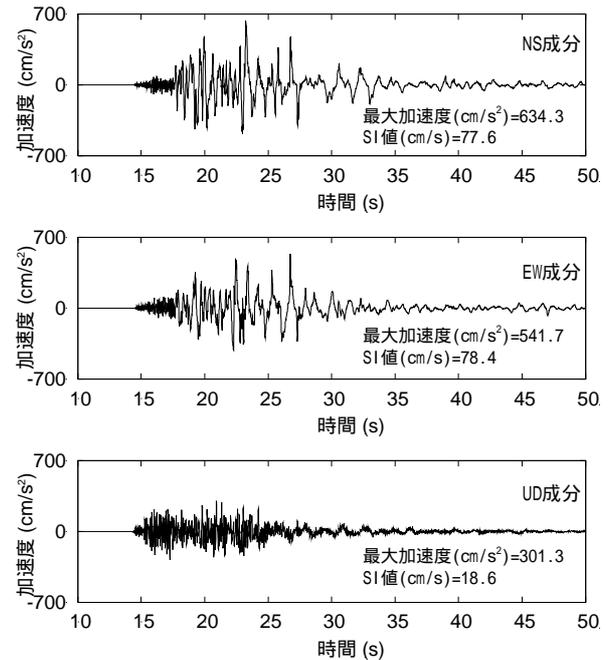


図-1.7 地震計 NW 記録の距離減衰状況



(b) 長岡国道事務所

図-1.8 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)

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。

3.3 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-1.8(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-1.9 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

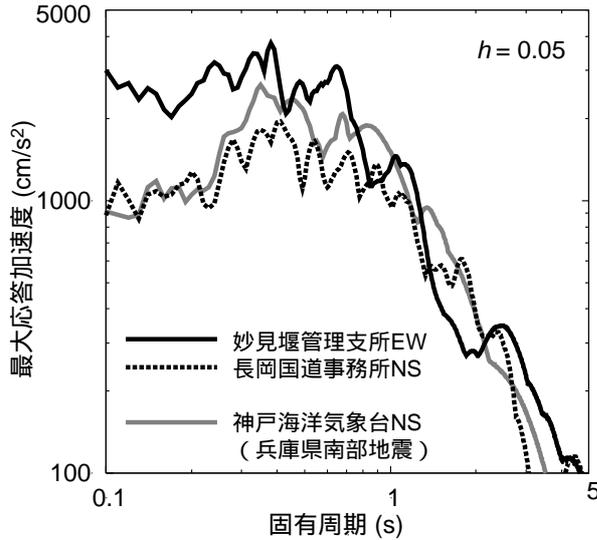


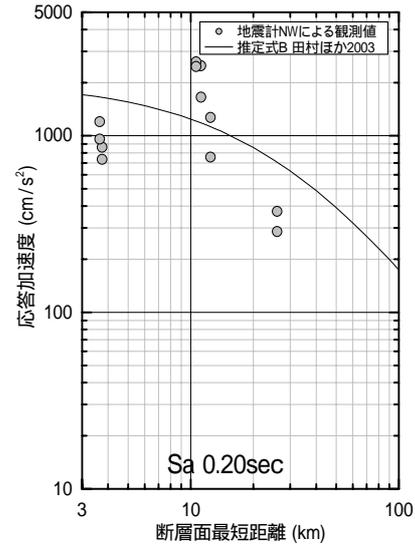
図-1.9 加速度応答スペクトル (減衰定数5%)

で示している。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。

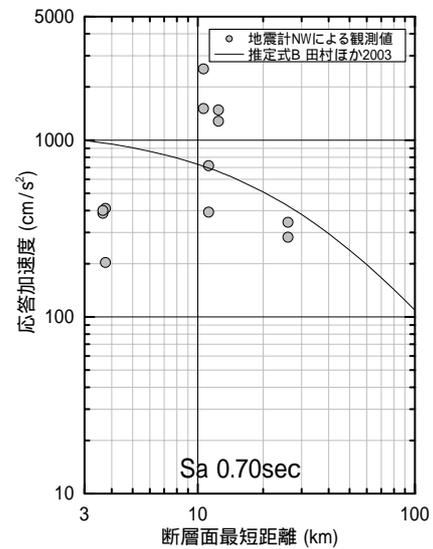
加速度応答スペクトルについて、距離減衰式⁷⁾による推定値と、観測記録より求めた値との比較を図-1.10に示す。観測記録は、妙見堰管理支所や長岡国道事務所等を含む6地点によるものを用い、NS成分とEW成分それぞれの加速度応答値を示した。特に固有周期0.7秒の加速度応答値について、一部の観測記録が推定値より大幅に大きく、妙見堰のEW成分では観測値は推定値の約4倍(観測値2500[cm/s²]、推定値650[cm/s²])であった。ただし、これらの観測値を除いた全体の観測記録は、過去の地震動からの推定値と比較しても平均的であったことがわかる。

3.4 地震動の方向性

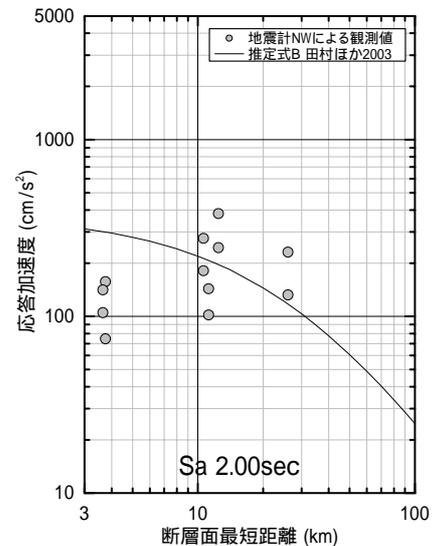
妙見堰の加速度記録より求めた地動速度の軌跡を図-1.11に示す。図より、推定される断層面の直交方向の地震動が強かったことがわかる。また、震源近傍の墓地(堀之内町新道地区)では、写真-1.1のように複数の石の移動が確認された。地震前にあったと思われる場所と、移動後の石の間には転がった形跡は無いため、跳躍かそれに近い状況で石が移動したと思われる。移動の方向は北北西であり、ほぼ断層面と直交方向であった。これらのことから、今回の地震による地震動は断層面と直交方向に非常に強かったことが考えられる。



(a) 固有周期0.2秒



(b) 固有周期0.7秒



(c) 固有周期2.0秒

図-1.10 加速度応答スペクトルの距離減衰式

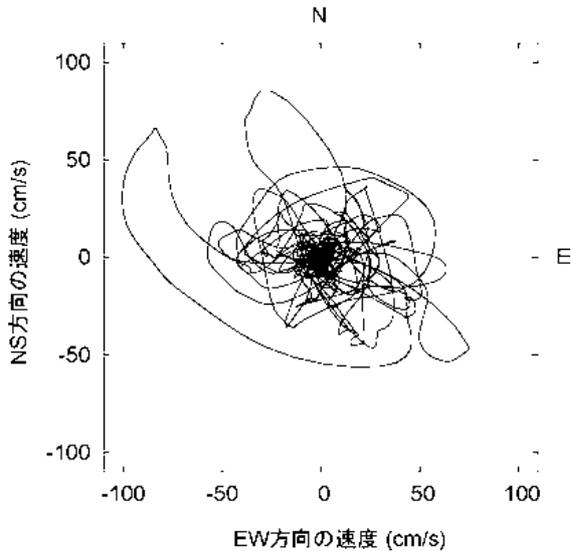


図-1.11 妙見堰における地動速度の軌跡



写真-1.1 震源近傍で確認された石の移動

4. 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強く、推定される断層面と直交方向に強いことが確認されたが、このような影響を考慮するためには、断層面と対象地点の位置関係に応じた補正係数⁸⁾を距離減衰式に導入する、あるいは断層モデルを用いたより高度な手法⁹⁾に基づ

いて地震動を推定する必要がある。

なお、本編は文献10)の第2章に加筆・修正したものである。

謝辞

現地調査にあたっては、北陸地方整備局道路工事課よりご便宜を図っていただいた。記して深甚なる謝意を表す。

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) 片岡正次郎, 日下部毅明: 内陸地震の規模・タイプと地表地震断層の特性との関係, 土木学会論文集, No. 801/I-73, pp. 21-32, 2005.
- 4) 防災科学技術研究所ホームページ <http://www.bousai.go.jp/>
- 5) 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>
- 6) 司宏俊, 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.
- 7) 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, 2003.
- 8) 佐藤智美, 片岡正次郎: 加速度応答スペクトルの放射特性補正係数の経験的モデルに関する研究, 構造工学論文集, Vol. 49A, pp. 331-341, 2003.
- 9) 片岡正次郎, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一: 想定地震に基づくレベル2地震動の設定手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所研究報告, No. 15, 32p., 2003.
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 平成16年(2004年)新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要, 国総研資料第248号, 187p., 2005.