

(社内技術資料)

平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震 調査報告書



平成 19 年 8 月
株式会社 東建ジオテック

目次

1.まえがき	(1)
2.地震の概要	(2)
2.1 地震の概要	(2)
2.2 余震活動	(3)
3.地形・地質概要	(4)
3.1 地形・地質概要	(4)
3.2 柏崎市付近の地質	(4)
3.3 地下深部および海底下の地質と構造運動	(5)
3.4 断層について	(6)
4.被害写真	(7)
4.1 被害の概要	(7)
4.2 長野県飯綱町	(8)
4.3 新潟県柏崎市	(10)
4.4 新潟県刈羽村	(16)
5.強震観測記録と常時微動観測	(17)
5.1 強震観測記録の概要	(17)
5.2 観測記録の比較	(20)
5.3 関東平野での記録	(23)
5.4 常時微動観測	(24)
6.参考資料 現行(H18年9月)の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の概要	(26)
6.1 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の策定、改訂の経緯	(26)
6.2 平成18年9月の改訂の概要	(26)
6.3 基準地震動 S_s について	(27)
6.4 参考文献等	(29)
7.あとながき	(30)

1.まえがき

2007年7月16日10時13分頃に新潟県中越沖でマグニチュード(M)6.8(暫定値)の地震が発生し、新潟県柏崎市や刈羽村、長野県飯網町などで最大震度6強を観測した。

特に震源地に近い新潟県内で震度6強を観測した地域の被害は大きく、古い木造住宅、水道・ガスなどのライフラインで大きな被害が発生し、7月17日には約12,000人の方が避難生活をされている。さらに東京電力柏崎刈羽原子力発電所は、日本に存在する55基の原発がかつて経験したことの無い大きな揺れを経験した。

この地震について政府の地震調査委員は、「日本海東縁のひずみ集中帯が関係している」との見解をまとめた。日本海東縁部では南北に数多くの断層があり、場所によっては並走しており、近年は大規模な地震が繰り返し発生している区域である。ひずみ集中帯は、この「日本海東縁のひずみ集中帯」と「新潟-神戸ひずみ集中帯」の二つが知られており、阪神大震災から5年後の2000年に新潟から神戸にかけてのひずみ集中帯の論文が出て専門家の関心を集めた。日本列島は東西方向に年間4~5cm程度縮んでおり、その縮みの半分程度が新潟-神戸ひずみ集中帯の地殻内で吸収されているとのことである。ひずみ集中帯は、地殻構造が複雑で、数多くあると思われる活断層も十分把握されてはいない。ひずみ集中帯は地震の巣として最近注目されているが、地震発生の仕組みや地震対策を進める上で更なる研究が期待される。

今回の地震の教訓としては、平成17年10月に閣議決定された「原子力政策大綱」による原発の総発電量の目標達成のため、今回の柏崎原発の被害事例を徹底的に究明し今後に生かす。地震時の高齢者や要援護者の方に対する具体的対策を考慮した救援方針の確立。これまでの活断層調査は、すでに見つかっている大きな活断層を中心に進められてきたが、「未確認の活断層」、「陸地近くの海底での活断層」の把握などの課題を残した。国や地方自治体の財政難の中での新たな課題を与えたといえる。

地震が発生した場合、研究機関・学会などの学術調査とは別に、我々実務者も地震と被害の関係などを調査し、今後の防災関係の業務に生かす必要があるため、我が社においては比較的大きな地震が発生した場合、調査団を派遣し報告書にまとめている。

今回の地震では、技術本部の地震部会を中心に作業を進め、7月19~21日に現地調査を実施し、7月24日に当社ホームページに現地調査の速報版をアップした。さらに、現地調査結果や(独)防災科学技術研究所が公開している観測地震波形に若干の解析を加えて今回報告書をまとめた。

この報告書が地震波形の特徴や被害実態に対する理解を深め、防災関連の意識高揚に何らかの形で役に立てば幸である。

平成19年7月30日

株式会社東建ジオテック 技術本部長 佐々木誠二

2.地震の概要

2.1 地震の概要

気象庁発表による地震の概要を以下に示す（暫定値を含む）。

地震の名称	: 平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震
発生日時	: 2007 年 7 月 16 日（月）10 時 13 分
震源地	: 新潟県中越沖
震源深さ	: 17 km
マグニチュード	: 6.8
各地の震度	: 震度 6 強・新潟県柏崎市、新潟県刈羽村、新潟県長岡市、長野県飯綱町 震度 6 弱・新潟県上越市、新潟県小千谷市、新潟県出雲崎町
津波	: 柏崎や小木（佐渡島）で 0.2~0.3 m の津波を観測

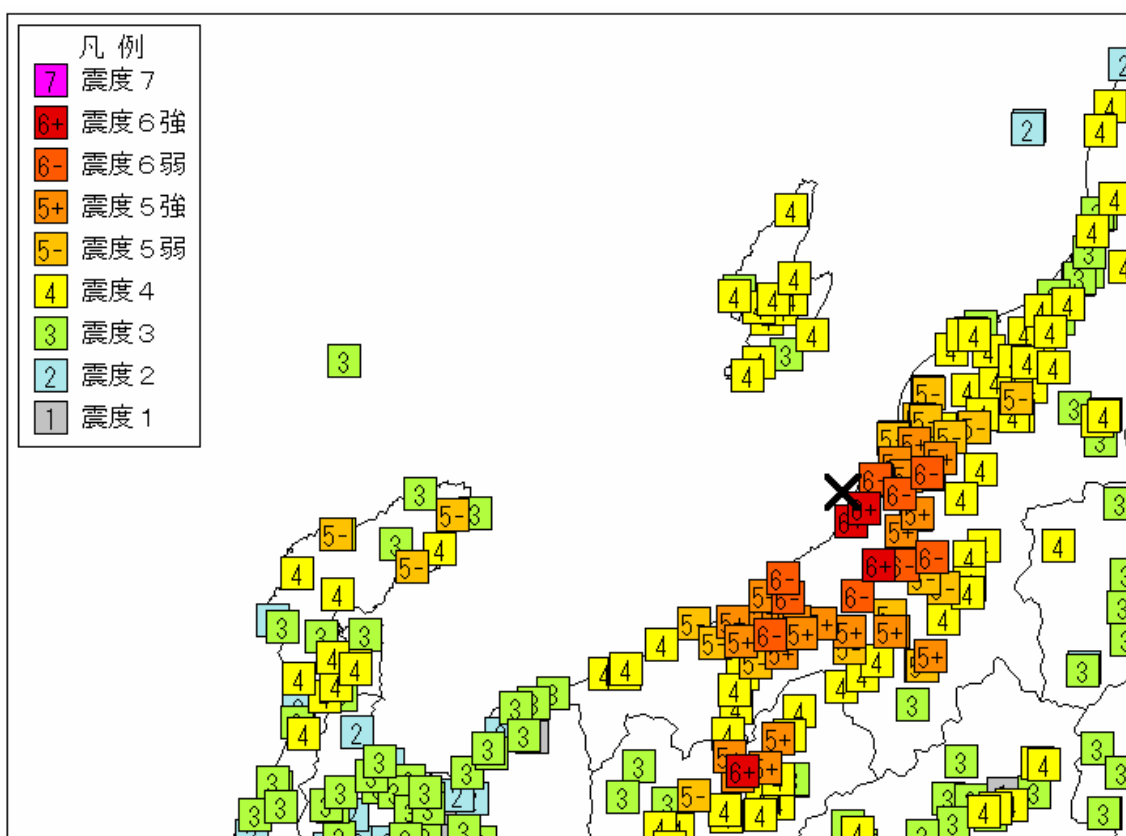


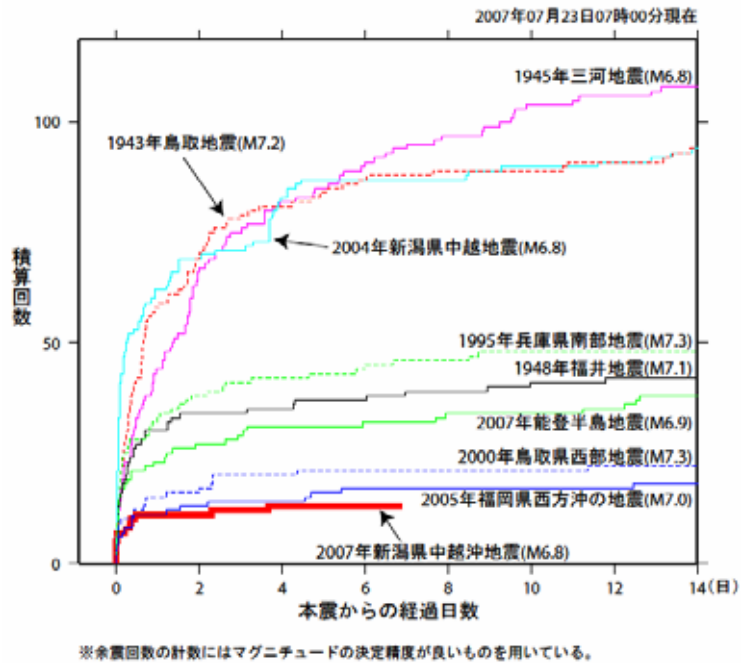
図 2.1 震度分布図（気象庁）

2.2 余震活動

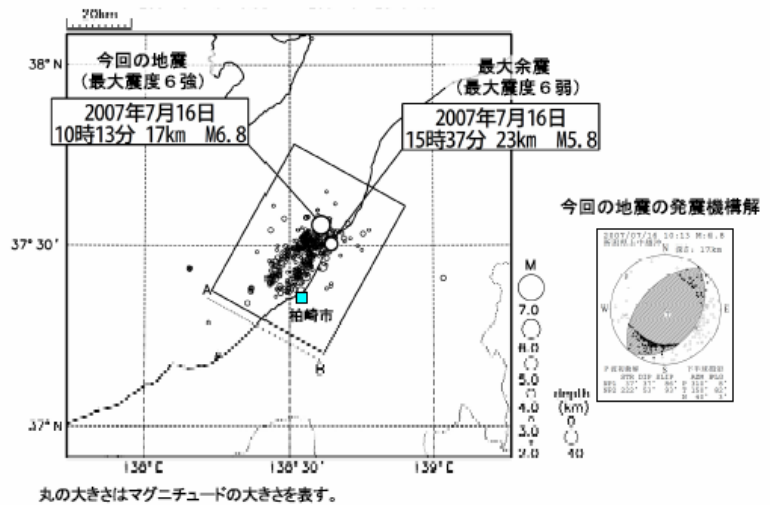
今回の地震は、これまでの余震活動の推移から、「本震-余震型」と考えられている。「本震-余震型」の地震活動は、最初に最も規模の大きい本震が発生し、それに続いて余震が多数発生する。余震の発生回数や規模は、大局的には時間と共に徐々に減少していく。

今回の地震では、2004年新潟県中越地震で非常に長期的に大きな余震が続いたこと、本震（7/16、10:13）の5時間後に震度6弱を記録した大きな余震（15:37）が発生こともあり、その余震活動についても警戒されていた。幸いにも7月23日現在では余震活動もほぼ収束し、気象庁による余震の見通しでも、「震度1以上となる余震は、7月末ころには概ね1日1回程度にまで少なくなる」とされている。

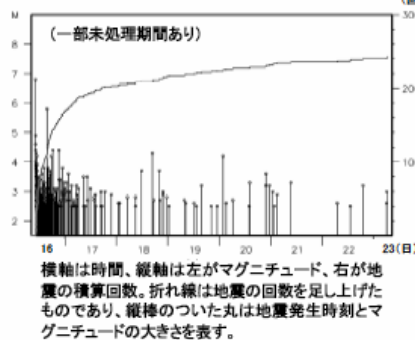
余震活動の回数比較（マグニチュード4.0以上）



震央分布図
(2007年7月16日10時~23日7時、深さ40km以浅、M2.0以上)



上図の四角形領域内の地震活動経過図、回数積算図 (M2.5以上)



上図の四角形領域内の断面図 (A-B投影)

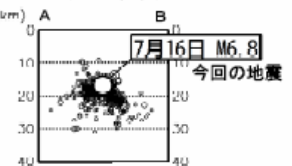


図 2.2.1 余震活動の状況と他の地震の余震活動との比較（気象庁）

3.地形・地質概要

3.1 地形・地質概要

今回の中越沖地震の被害を大きく受けた地域は、震源に近い新潟県柏崎を中心とした中越地区であり、中でも震度 6 を主体とした柏崎市、長岡市、刈羽村（震源に近い西山町椎谷を中心にして半径約 20 km の範囲）では被害が多く集中する。

この地震に見舞われた中越地域は新潟県のほぼ中央部に当たり、地質的には北部フォッサマグナ地区に属し、いわゆるグリーンタフ層からなる中新統以新の地層が広く発達分布する地域である。

この中越地区は西側、日本海に面して南西側に柏崎平野、北東側に西山丘陵が隣接して存在し、柏崎平野の東側は丘陵性の東頸城丘陵、八石山地を介して南北に流れる信濃川流域(堆積盆地)に入り、さらに東には東山・魚沼丘陵が分布し、越後山塊へと続く。

信濃川の下流域新潟市に至る沖積平野は羽越地向斜（褶曲帯）の一角をなし、浅部は軟弱層で構成されるが、深部に向かい順次固結度が高まり、この堆積盆地の堆積層厚は最大 5000 m にも達する事が確認されている。

柏崎平野の南西側は米山山塊（最高峰 993 m）で高田沖積平野へと連続するが、この海岸部は日本海の高海蝕作用を受けて急崖をなし、今回の地震でも一部に斜面崩壊が発生、北陸線の途絶を起こした。

今回の地震の震源は余震を含め先の中越地震（2004/10/23、M=6.8）の東山丘陵、魚沼丘陵の震源より約 40 km 西北西に離れた海岸に近い日本海に位置する。

3.2 柏崎市付近の地質

地震の被害を受けた柏崎を中心とした中越地区及び震央付近の地質状況に関する地質概要は次のとおりである。

新潟県地質図によれば、西山丘陵及び周辺地区の地表付近の地質は新第三紀中新統～鮮新統～第四紀更新統の若い地層が分布し、南西 北東に走る数条の背斜、向斜が雁行状に走る構造に支配されそれぞれリング帯状に分布するのを特徴とする。

これらの地層名としては椎谷層（砂岩・泥岩互層）、西山層（塊状泥岩）、灰爪層（砂岩・泥岩互層）、魚沼層群（砂・泥・礫互層）と呼ばれる地層及びその相当層であり、岩質的には軟岩及び未固結層である。

当地区の西山丘陵は褶曲構造運動が発達し、背斜部には石油、天然ガスが胚胎され、過去においては国内有数の西山油田、吉井ガス田が開発されている。

柏崎平野とその周辺の台地、丘陵、米山海岸地区は砂礫層、砂層、シルト層より構成される中～上部更新統が新第三紀系の上に乗り点々と分布し、平野の海岸沿いには幅2 km長さ12 kmの新旧の砂丘砂層が比高20 m前後の丘陵を形成する。この砂丘丘陵の陸側には後背河川が流れ湿地帯を形成する場合も多い。

柏崎平野の沖積層は粘土・シルト・砂層の軟

弱層 ($N < 5$) からなり、下の洪積層深部に向かい順次固結し50 m前後では $N=10 \sim 20$ 、に達し双方の地層(柏崎層)の総厚は100 m以上に達するのが確認されている。この柏崎層は平野周辺に分布する魚沼層群及び中新統の上に乗るが、鯖石川、別山川に浸食された凹状の旧浸食谷跡に堆積したと考えられている。

3.3 地下深部および海底下の地質と構造運動

柏崎市や西山丘陵の地下深部の地質状況は、石油探査事業によりかなりの地質状況が判かって来ている。

例えば柏崎の東方7 kmに有る吉井油田では新第三紀中新統グリーンタフの下は地下3100 mにて基盤岩の花崗岩・蛇紋岩に達し、海底大陸棚の端部にあたる柏崎北北西16 km(柏崎沖I A - 1孔・新日本石油開発、L=3775 m)及び柏崎北西約18 km(基礎試錐柏崎沖孔・通産省L=4248.2 m)、における孔底部の地質は、それぞれ中新統の寺戸層及び七谷層まで順次厚く堆積し基盤まで抜けきっていないのが確認されている。

当地区を東西方向に切った新潟堆積盆地の地質断面、即ち東山丘陵 信濃川低地 西山丘陵 柏崎平

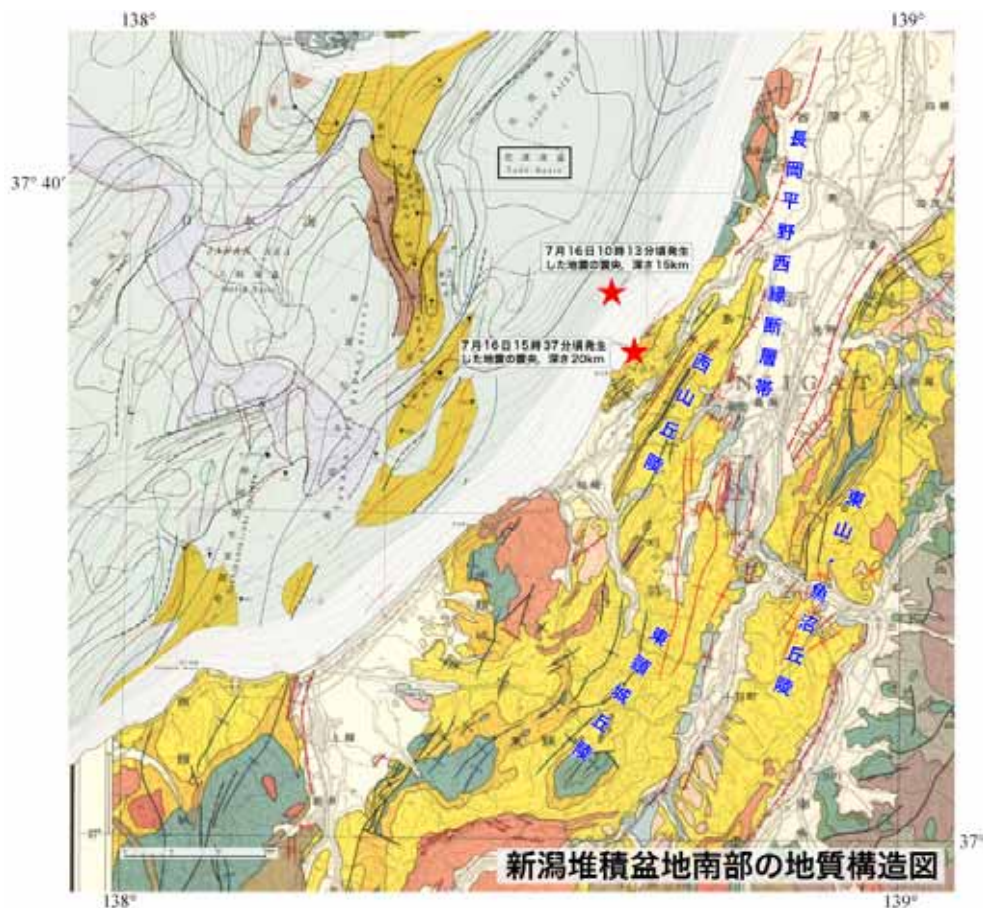


図 3.2.1 震源付近の地質構造 (活断層研究センター)

野に至る地質断面を示したのが図 3.3.1 である。これによれば新第三紀堆積層の全厚は 5000 m にもなり、ほぼ南北方向に軸を持つ背斜、向斜構造を繰り返されている。

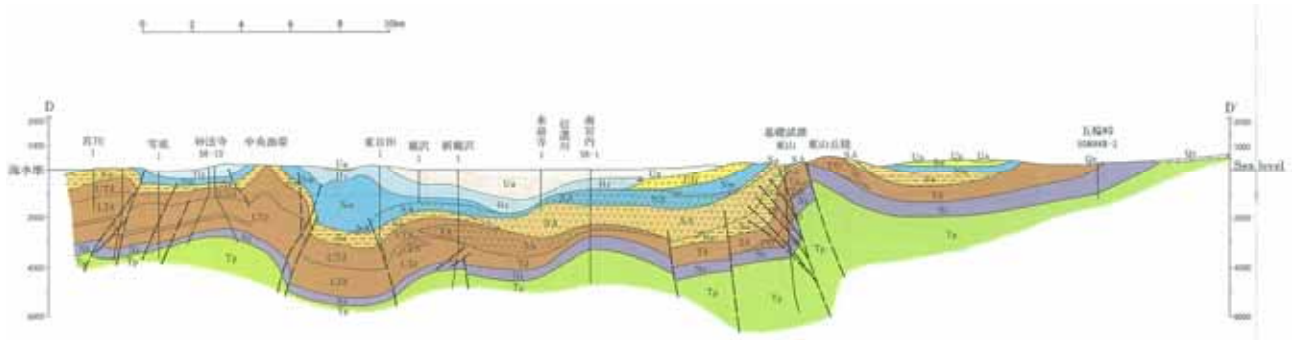


図 3.3.1 柏崎市付近の東西方向地質断面図（新潟県）

また地殻変動に関しては、過去に長期間の水準点測量では一般に平野・低地部が沈降し背斜部、山地部が隆起する傾向が認められ、新潟堆積盆地の北北東 南南西方向に伸びる断層と褶曲が幾つも重なり、最上部の魚沼層群の走向傾斜から見た褶曲運動もそれに連動して生じたとの研究もある。

これらは東西方向の地殻圧縮変形の課程で発生したもので 2003 年の新潟県中越地震と今回の中越沖地震の震源活動も説明可能である。もちろん丘陵地帯、平野部の境付近には活断層が幾本も走るのが確認されており、例えば長岡平野西縁断層帯のごとく新潟堆積盆地の構造運動も彼らの活動の一端と考えられている。

中越沖地震の震源に関係する西山丘陵沖の海底地質に関しては音波探査が実施され、産業技術総合研究所で出版された海底地質図（佐渡島南方海底地質図：海洋地質図 N043）によれば次の様に報告されている。佐渡島の間には深度 500 m の佐渡海盆が横たわり、斜方向に米山 小木隆起帯（佐渡碓）が走り、この間には何本かの断層の存在が推定されており、また柏崎 - 出雲崎間の沖合は 15 ~ 10 km 幅で大陸棚が横たわり、ここより沖は急斜面となり深くなる。

佐渡海盆の下では新第三紀系が厚く平坦に分布するが、海岸に近い大陸棚部分では急激に隆起、上昇しているのが確かめられ、この部分付近にも伏在断層や背斜構造の存在が推定される。

3.4 断層について

今回の地震を引き起こした断層については、いくつかの研究機関で異なる考え方がある。国土地理院は、新潟県中越沖地震を引き起こした断層は 2 つあり、当初考えられていた陸側に向かって南東方向に下がっているのではなく、海側に向かって北西方向に下がっていたとする分析結果をまとめた。一方、政府の地震調査委員会などは、海側が浅い南東傾斜の逆断層が動いたとの見方が中心であった。分析結果については、8 月 8 日の地震調査委員会で検討される。

4. 被害写真

4.1 被害の概要

2007年7月16日10時13分頃に発生した新潟県中越沖地震では、新潟県柏崎市、刈羽村、長岡市、長野県飯綱町で震度6強を観測した。2004年10月に発生した新潟県中越地震の震源からわずか3年たらず、また2007年3月25日に発生した能登半島地震から3ヶ月で発生した地震であった。今回の地震で11名の死者と170名以上の重傷者、1000棟あまりの住居の全壊被害が確認されている（平成19年7月30日現在）。

現地での被害調査や、報道機関の情報から今回の地震の主な特徴として以下の点が挙げられる。

新潟県中越地震から3年たらずの期間で発生した。

死者の大部分が70歳以上の高齢者であった。

古い木造家屋が選択的に倒壊した。

震源付近は砂丘地帯であり、液状化の発生が顕著であった。

震源から80km以上離れた地点（長野県飯綱町）で震度6強と大きな揺れを観測した。

震源近くの柏崎刈羽原発内で680galの大きな揺れを観測、火災をはじめ多数のトラブルが発生した。

（観測は1号原子炉建屋基礎版上、東京電力発表資料より）

表 4.1.1 被害の概要（平成19年7月30日現在、消防庁）

都道府県名	人的被害					住家被害			
	死者	行方不明	重軽傷者			全壊	半壊	一部破損	建物火災
			重傷	軽傷	人				
人	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	
新潟県	11		1955	171	1784	1024	1441	16635	1
富山県			1		1				
長野県			29	6	23			308	
計	11	0	1985	177	1808	1024	1441	16943	1

4.2 長野県飯綱町

今回の地震では、震源からやや離れた長野県飯綱町でも震度 6 強と大きな揺れを観測した（飯綱町より震源に近い上越市などでは震度 6 弱未満）。以下に震度 6 強を記録した飯綱町役場三水庁舎と、そこから 1~2 km 程度しか離れていないが震度 5 強であった飯綱町役場本庁舎の位置と建物を示す。



図 4.2.1 飯綱町役場（本庁舎）と三水庁舎の位置と庁舎の建物全景（写真 4.2.1、2）

『赤羽貞幸信大教授（地質学）によると、飯綱町内を南北に流れる鳥居川の東側（旧三水村）と西側（牟礼村）では地質が異なる。飯綱町芋川など鳥居川の東側と千曲川に挟まれた地域の地質は、海底や平地にたまった砂や泥でできた「第三紀」の地層で、新潟県側から続いているといえる』（以上信越毎日新聞より）。

役場の職員の方の話では、以前から地震が発生するたびに本庁舎より三水庁舎の揺れが大きい傾向が確認されていたとのことである。

現地を歩いてみると、三水庁舎付近では田園風景が広がり、地形図からも馬蹄形の地すべり地形の末端部に位置することが確認でき、地形・地質の違いが揺れの違いの原因の一つと推測される。



写真 4.2.3 三水庁舎付近の田園風景
（神奈川大、Rahimian 氏撮影）

写真は、三水庁舎の強震計と本震（7/16、10：13）の観測記録である。震源からの伝達方向である NS 成分で特に大きな加速度(621 gal)が得られている。



【地震情報】	
観測局	サミズ ムラ
トリガ時刻	2007年07月16日 10時13分41.00秒
設置情報	地域 20 地点 585-1 北緯 36°45'51" 東経 138°15'18"
震度	6 強
計測震度	6.2
合成加速度	3成分 657.0 gal 水平 656.3 gal
最大加速度	E-W 366.6 gal U-D 216.4 gal N-S 621.3 gal
卓越周波数	1.46Hz

三水庁舎から芋川地区を回ってみると、震

写真 4.2.4 三水庁舎に設置されている強震計と本震時の記録

度 6 強の揺れに対して被害が小さいと感じた。一部、ブロック塀の倒壊や道路の陥没、水道管の破損等の被害があったようだが、現場周辺を見た限りでは、被害は外壁材の落下など軽微なものがほとんどであった。



詳細な調査や解析結果を見なければわからないが、震度 6 強の割に被害が軽微であった理由として「スパイク的な大きな加速度により震度 6 強が観測されたこと」や「強震計付近の極限られた地域でのみ大きな揺れが発生したこと」などが考えられる。

写真 4.2.5 芋川公民館の外壁の破損
(神奈川大、Rahimian 氏撮影)



写真 4.2.6 外壁の剥落（芋川地区）



写真 4.2.7 三水庁舎裏のお堂の被害

4.3 新潟県柏崎市

(1) 柏崎駅周辺

前記した地形・地質概要で述べたとおり、柏崎平野の沖積層は、鏑石川や別山川の浸食によって造られた凹状の旧侵食谷跡に堆積したと考えられている。

海岸線より2 km付近までは、砂丘地帯が広がり、断面図によると砂層の層厚は最も厚い部分で20 m程度である。沖積層は、N値などの違いにより大きく3層に分けられるが場所によって層厚は大きく変化し、海岸近くで40~50 m、内陸部で30~40 mである。

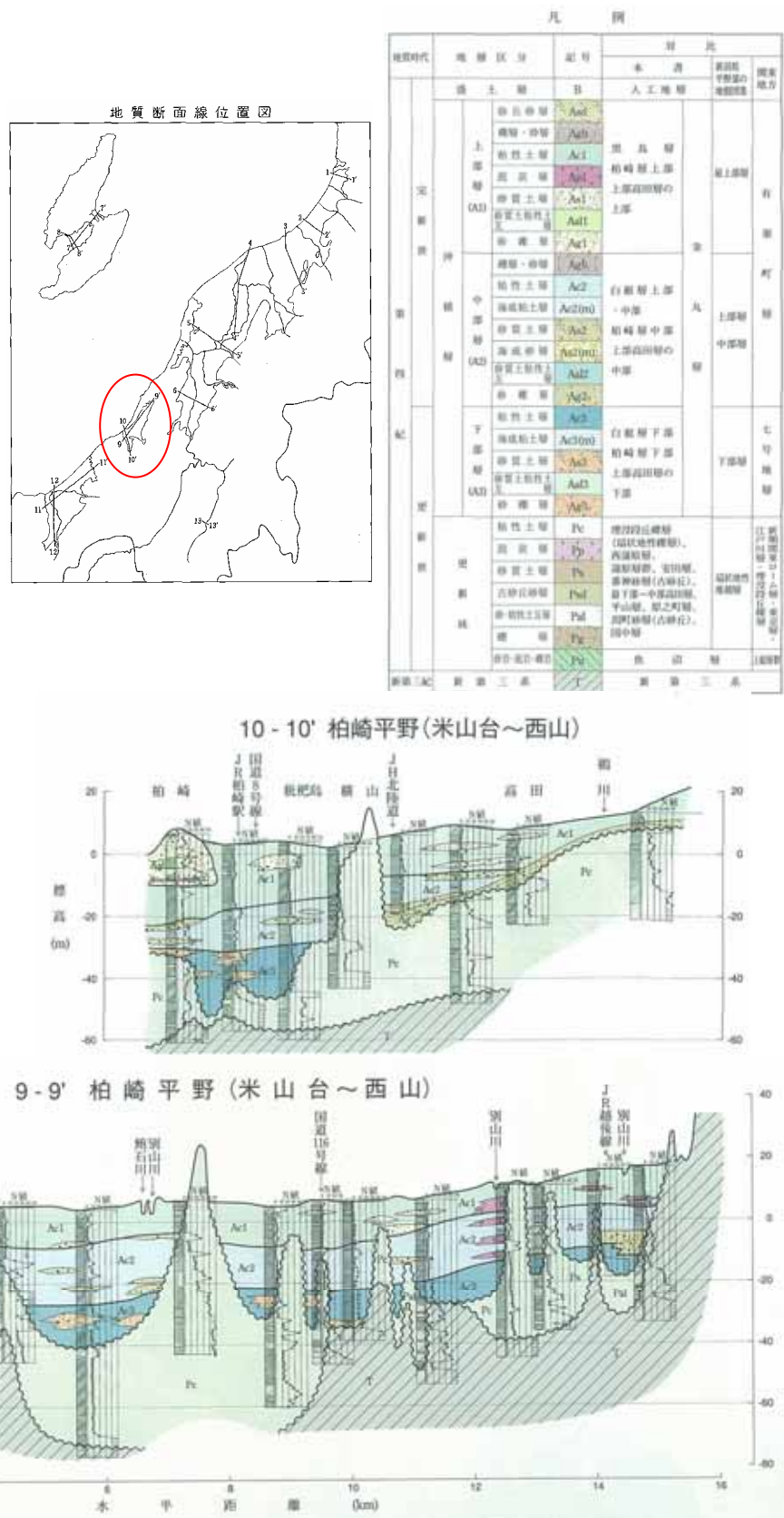


図 4.3.1 柏崎平野の地質断面図

調査は、被害が顕著であった柏崎駅より海側の砂丘部を中心におこなった。柏崎駅周辺では、数多くの木造家屋や寺院の倒壊が確認された。倒壊した多くの建物は、比較的築年数が古く瓦屋根の木造建物であった。一方で、倒壊した建物に隣接する新しい建物では、ほとんど被害が確認できないものも多かった。

3月25日に発生した能登半島地震でも同様であったが、今回の地震でも古い木造家屋が選択的に倒壊したようであり、建物の構造と地盤の相互作用の影響が強いのではないかと考えられる。

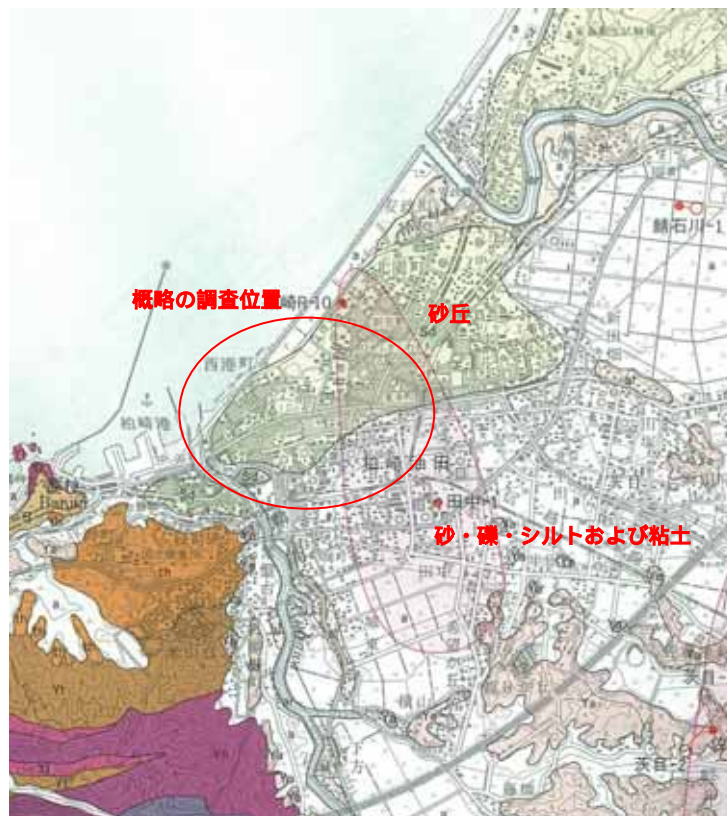


図 4.3.2 柏崎駅周辺の地質図



写真 4.3.1~4 木造建物の倒壊（柏崎駅周辺）



写真 4.3.5 駐輪場の倒壊
(左のスレート屋根は倒れず、右の瓦屋根のみ倒壊)



写真 4.3.6 左の駐輪場を別角度から撮影

海岸方面へ向かうと、液状化の跡がいたるところに確認できる。また、液状化に伴う地盤の変状により、歩道のインターロッキングブロックがガタガタとなっているところが多数確認された。



写真 4.3.7 液状化による噴砂の跡



写真 4.3.8、9 液状化によるインターロッキングブロックの変状

液状化が原因と思われる地盤変状により、アスファルトが圧縮され壊れている箇所も数多く確認できた（写真はいずれも奥から手前に掛けてやや傾斜している。）



写真 4.3.10、11 液状化（？）し矢印の方向（下り勾配）に地盤が移動しアスファルトが破損

市街地は、写真のように狭い路地が多く家屋やブロック塀の倒壊により、通行不能となっている場所も多かった。右の写真は、大型ブロック積擁壁の倒壊により車が通行できなくなっている。下の写真は、家屋の倒壊により歩行者も通行できなくなっている。



写真 4.3.12 大型ブロック積擁壁の倒壊



写真 4.3.13、14 家屋の倒壊により通行不能となった路地



写真 4.3.15 倒壊家屋が線路上へ（越後線）



写真 4.3.16 付近では測量作業が開始されていた（神奈川大、山本俊雄氏撮影）



写真 4.3.17、18 水道管の破損による漏水と水道管の復旧作業現場



写真 4.3.19 地震による排水柵の蓋の損傷



写真 4.3.20 柏崎クリーンセンターの煙突被害（神奈川大、荏本孝久氏撮影）

(2) 柏崎市青海川駅付近

J R 信越本線の青海川駅付近では、大規模な斜面崩壊が発生し、崩れた土砂が線路を超え海岸まで流出した。

地震発生(7/16)から4日後(7/20)には既にボーリングによる調査がおこなわれていた。なお、J R 東日本によると7/28の時点で復旧のめどは立っておらず当分の間は、バスによる代行輸送をおこなうとのことである。



写真 4.3.21 青海川駅付近の家屋被害

青海川駅付近の家屋では、瓦屋根が破損している家屋が多い。崩壊した斜面の上部にも数件の家屋があり、避難勧告が出されていた。



写真 4.3.22、23 青海川駅付近の斜面崩壊（右上はボーリング作業場所の拡大写真）
(神奈川大、Rahimian 氏撮影)

4.4 新潟県刈羽村

時間的な制約から、刈羽村では役場周辺の一部のみを調査した。

刈羽崎役場周辺は田んぼに囲まれた田園地帯である。役場の周囲では人工地盤（盛土）の液状化が激しい

JR 越後線の刈羽駅付近の踏み切りより、線路の蛇行が確認された（写真 4.4.3）。

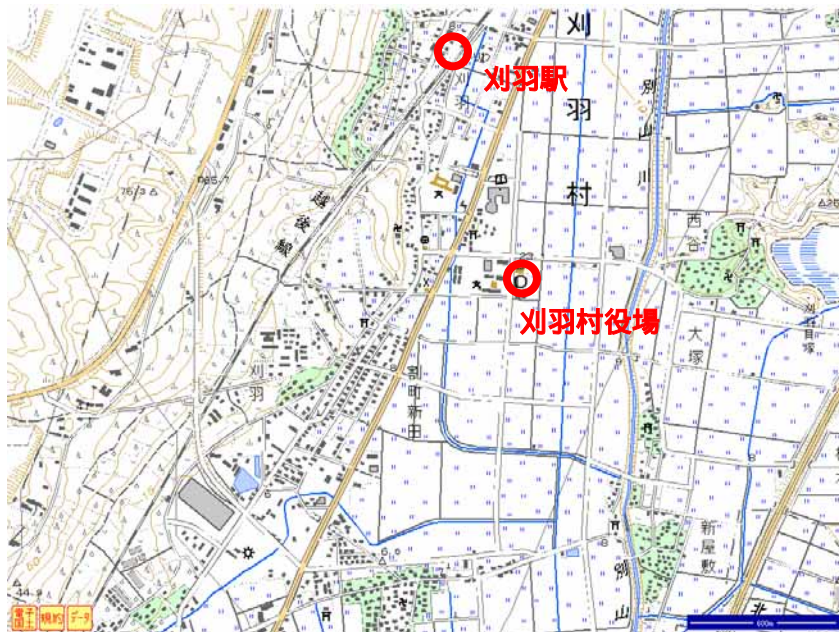


図 4.4.1 刈羽村付近の地形図



写真 4.4.1 刈羽村役場（右下の箱は強震計）



写真 4.4.2 役場周囲の盛土の液状化
神奈川大、山本俊雄氏撮影



写真 4.4.3 刈羽駅付近の線路が蛇行



写真 4.4.4 刈羽駅付近の家屋の全壊

5. 強震観測記録と常時微動観測

5.1 強震観測記録の概要

(1) 地盤状況

K-NET 柏崎 (NIG018) は、表層から 13 m までは砂層 (砂丘) であり、特に表層 5 m までは緩い。一方 K-NET 小千谷 (NIG019) は、表層の 3 m までは軟弱な有機質土であるが、以深は密な礫層である。

(2) 時刻歴波形

K-NET 柏崎 (NIG018) は、地震発生から数秒後から周期が長く、急激に減衰する (観測地点の比較は次節)。

(3) 応答スペクトル

各地震動の応答スペクトル ($h=5\%$) を求めた (解析区間は 50 秒)。

K-NET 柏崎 (NIG018) は、加速度・速度応答スペクトル共に 2.0~2.5 秒付近に卓越周期が確認できる。K-NET 小千谷 (NIG019) では、加速度・速度応答スペクトル共に 0.3~0.4 秒が卓越する。

ただし、K-NET 柏崎 (NIG018) の記録は、地震により地盤が非線形化 (液状化) した可能性が高く、その解釈には十分留意する必要がある。

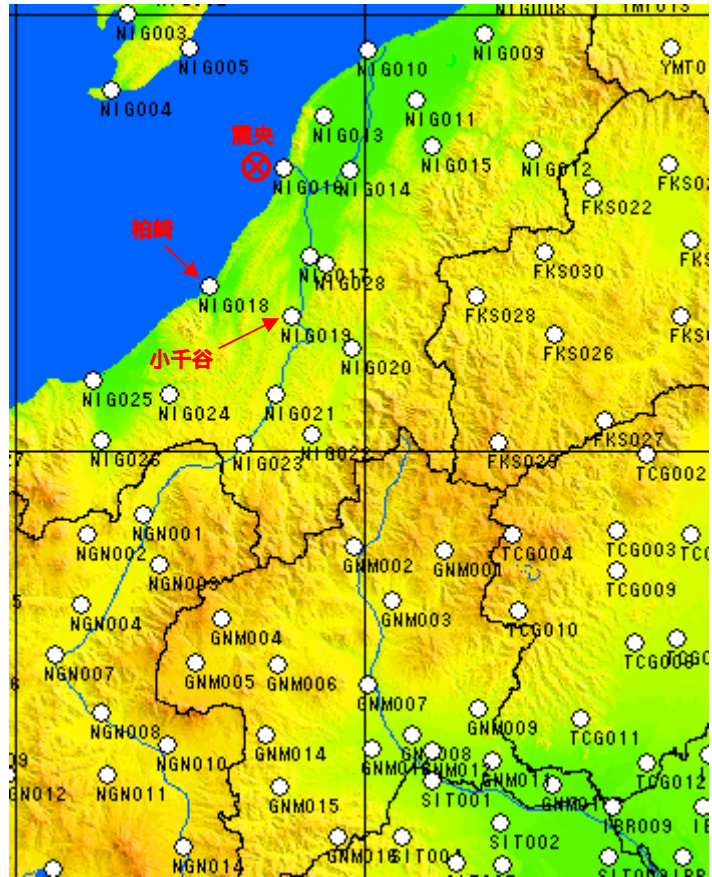
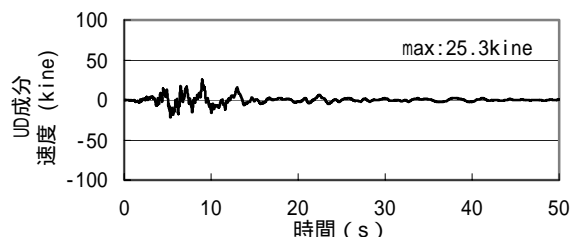
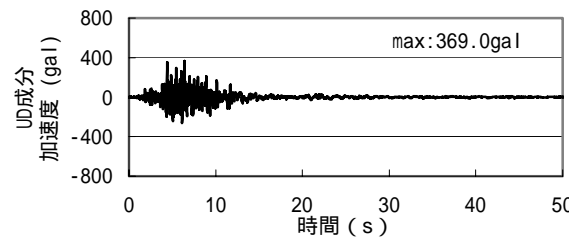
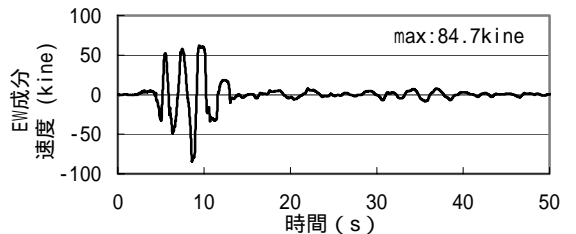
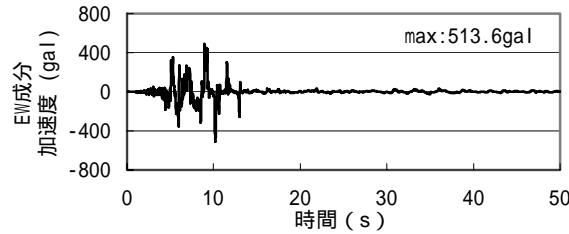
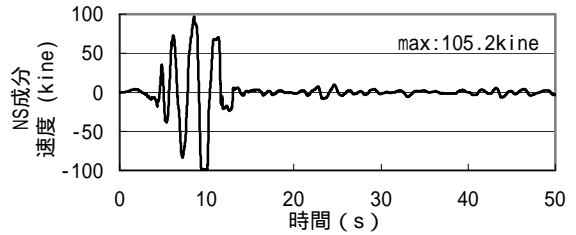
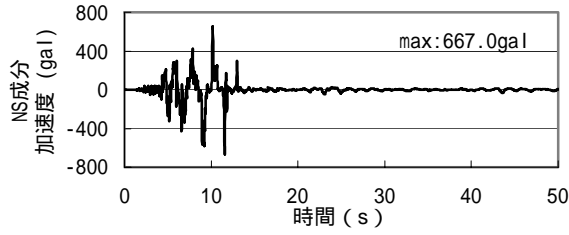


図 5.1.1 K-NET の観測地点と震央位置

表 5.1.1 K-NET 観測地点の概要

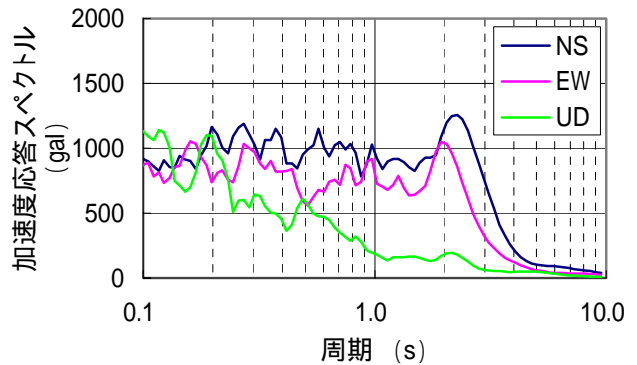
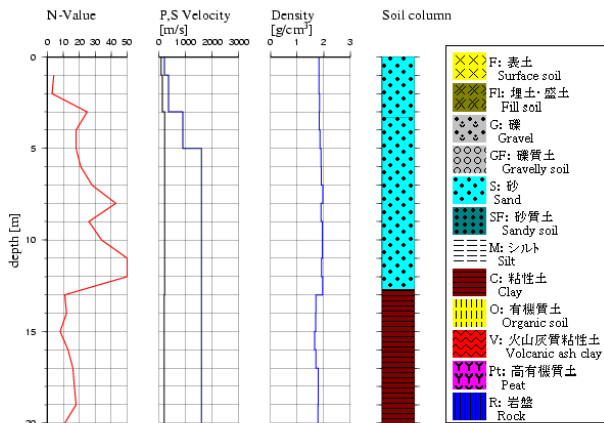
	コード	観測点名	地表面最大加速度 gal	震央距離 km
K-NET	NIG018	柏崎	812.7	15
	NIG019	小千谷	526.5	27
	NIG016	寺泊	364.2	22
	NIG021	十日町	301.9	43
	NIG017	長岡	256.6	22

最大加速度は K-NET より



加速度時刻歴波形

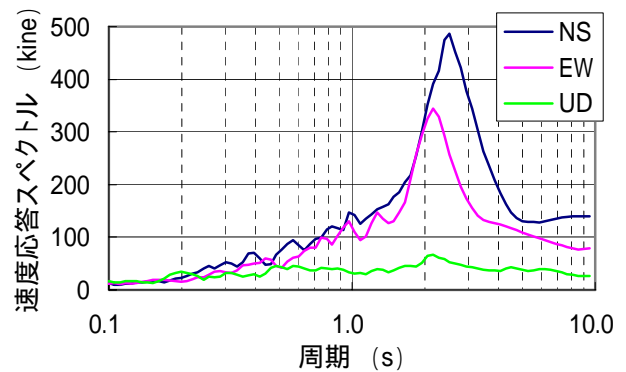
速度時刻歴波形



加速度応答スペクトル

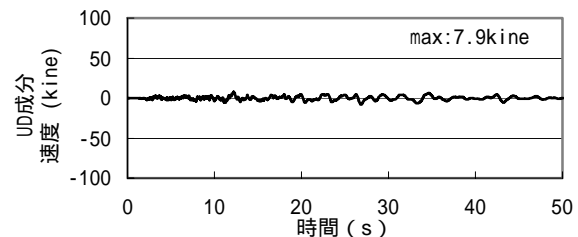
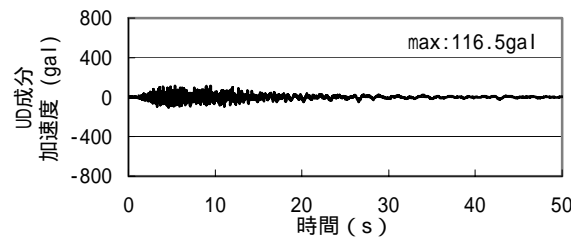
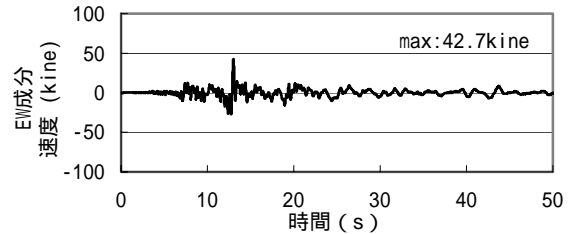
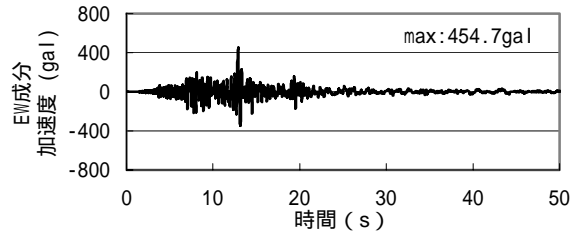
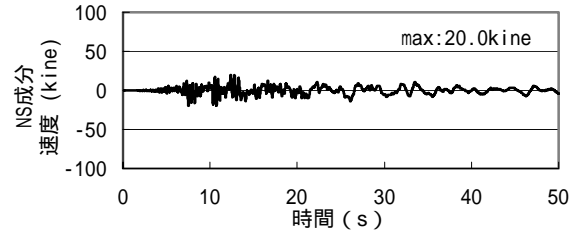
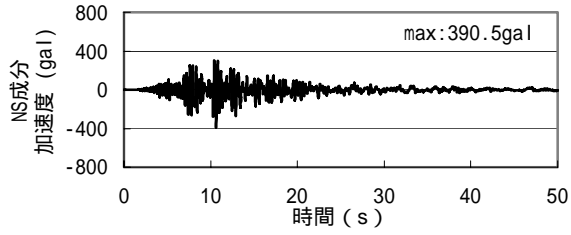
depth [m]	N-Value	P,S-Velocity [m/s]	Density [g/cm ³]	Soil Column
0	4	200	1.82	0m - 3.30m S
2	3	360	1.82	3.30m - 12.70m S
3	25	360	1.84	12.70m - 16.00m C
4	18	900	1.83	16.00m - 17.00m C
5	18	900	1.87	17.00m - 20.50m C
6	21	1800	1.90	
7	28	1800	1.91	
8	43	1800	1.97	
9	26	1800	1.90	
10	34	1800	1.95	
11	99	1800	1.95	
12	98	1800	1.92	
13	11	1800	1.96	
14	12	1800	1.71	
15	8	1800	1.70	
16	13	1800	1.66	
17	16	1800	1.71	
18	17	1800	1.73	
19	16	1800	1.73	
20	11	1800	1.78	

地層状況



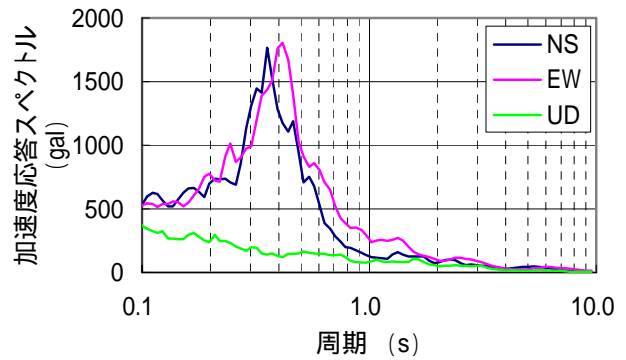
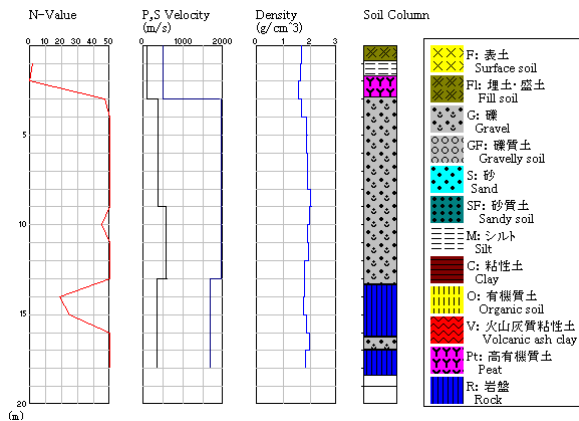
速度応答スペクトル

図 5.1.2 K-NET 柏崎 (NIG018) 観測記録



加速度時刻歴波形

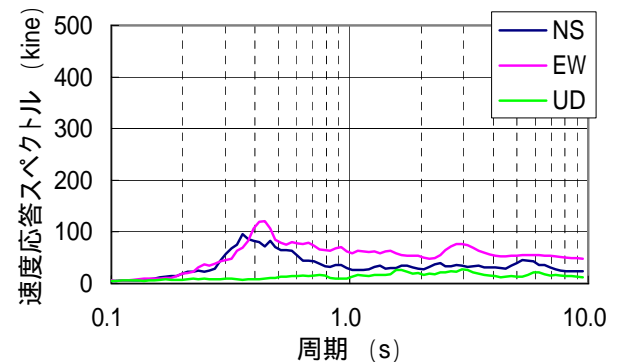
速度時刻歴波形



加速度応答スペクトル

Depth (m)	N-Value	P,S-Velocity (m/s)	Density (g/cm ³)	Soil Column
1m	2	510	1.86	0m - 0.85m Fl
2m	0	510	1.84	0.85m - 1.70m M
3m	47	510	1.57	1.70m - 2.90m Pt
4m	98	1940	1.69	2.90m - 13.35m G
5m	98	1940	1.88	13.35m - 16.25m R
6m	98	1940	1.85	16.25m - 16.95m G
7m	98	1940	1.91	16.95m - 18.38m R
8m	98	1940	1.90	
9m	98	1940	2.03	
10m	45	1940	1.96	
11m	98	1940	1.89	
12m	98	1940	1.95	
13m	98	1940	1.80	
14m	18	1670	1.79	
15m	25	1670	1.74	
16m	98	1670	1.86	
17m	98	1670	1.87	
18m	98	1670	1.83	
19m				
20m				

地層状況



速度応答スペクトル

図 5.1.3 K-NET 小千谷 (NIG019) 観測記録

5.2 観測記録の比較

(1) 時刻歴波形

前記した K-NET の時刻歴波形（加速度）の中で、柏崎（NIG018）と小千谷（NIG019）の観測地点の NS 成分のみを拡大し、図 5.2.1 に示す。同じ地震であるが、2 つの波形の形状は明らかに異なる。

K-NET 柏崎は、地震発生直後から長周期成分が多く、特に 7 秒付近からはそれが顕著となり 10 秒付近から急激に減衰する。前記したとおり柏崎（NIG018）は表層より 13 m 付近までは砂質土を主体とする地盤であり、液状化により地盤が非線形化するなど小千谷（NIG019）との地盤状況の違いによる影響が大きいと思われる。

地震発生後の 7/22 に防災科学技術研究所により、K-NET 柏崎の現地調査がおこなわれた。現地調査からは、「周囲に噴砂等の形跡は認められなかったものの、観測波形から強い非線形効果を受けたことが考えられる」とされている。なお、現地調査から、地震後も地震計の水平性は保たれ、地震により地震計台は傾いていないことが確認されている。

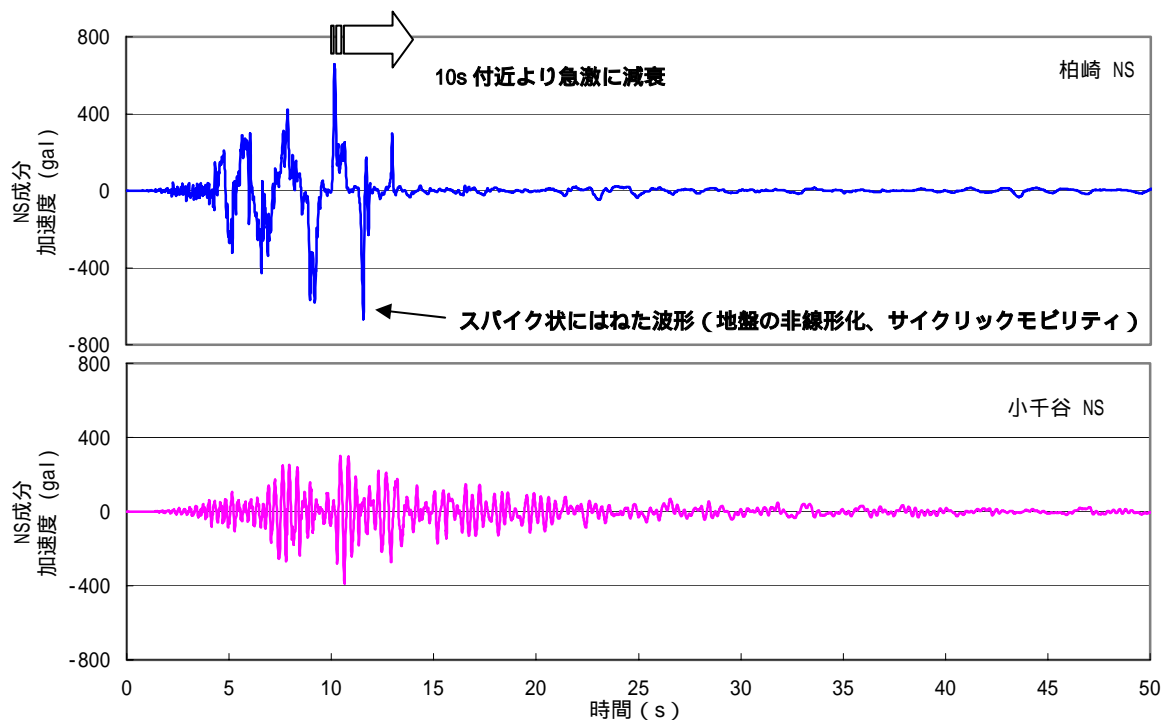


図 5.2.1 本震の時刻歴波形（上：K-NET 柏崎 NS、下：K-NET 小千谷 NS）

(2) 柏崎での2004年新潟県中越地震と2007年新潟県中越沖地震

2004年新潟県中越地震と今回の地震(2007年新潟県中越沖地震)のK-NET 柏崎(NIG018)の観測記録の加速度時刻歴波形を並べて示す。2004年新潟県中越地震でも、やや長周期成分の波形が確認できるが(特にEW成分)、その波形形状は大きく異なり今回の地震では地盤の非線形化が発生していることがうかがえる。

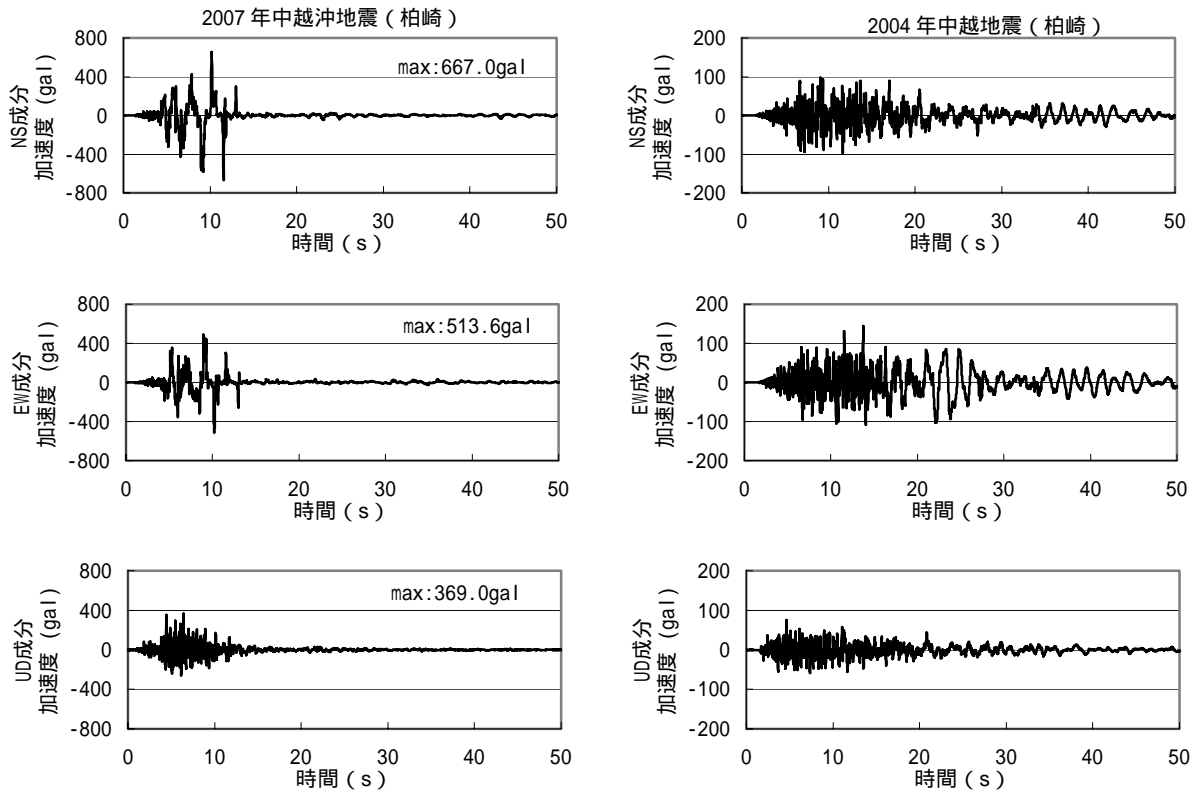


図 5.2.2 各地震の時刻歴波形(左:2007年新潟県中越沖地震、右:2004年新潟県中越地震)

上記2つの波形の応答スペクトル(h=5%)の1例を図5.2.3に示す。

時刻歴波形でも確認できたように、周期特性は異なり卓越周期は、2004年新潟県中越地震で1.8秒付近、今回の地震(2007年新潟県中越沖地震)で2.0秒付近となり、今回の地震の方が若干長くなる。

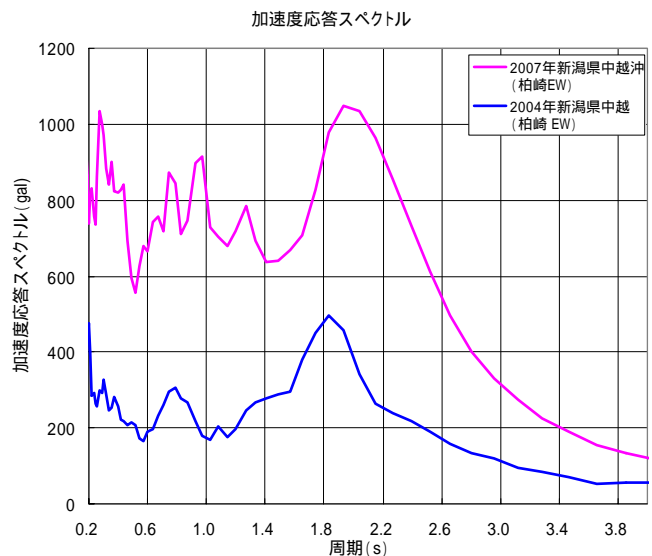


図 5.2.3 加速度応答スペクトルの比較

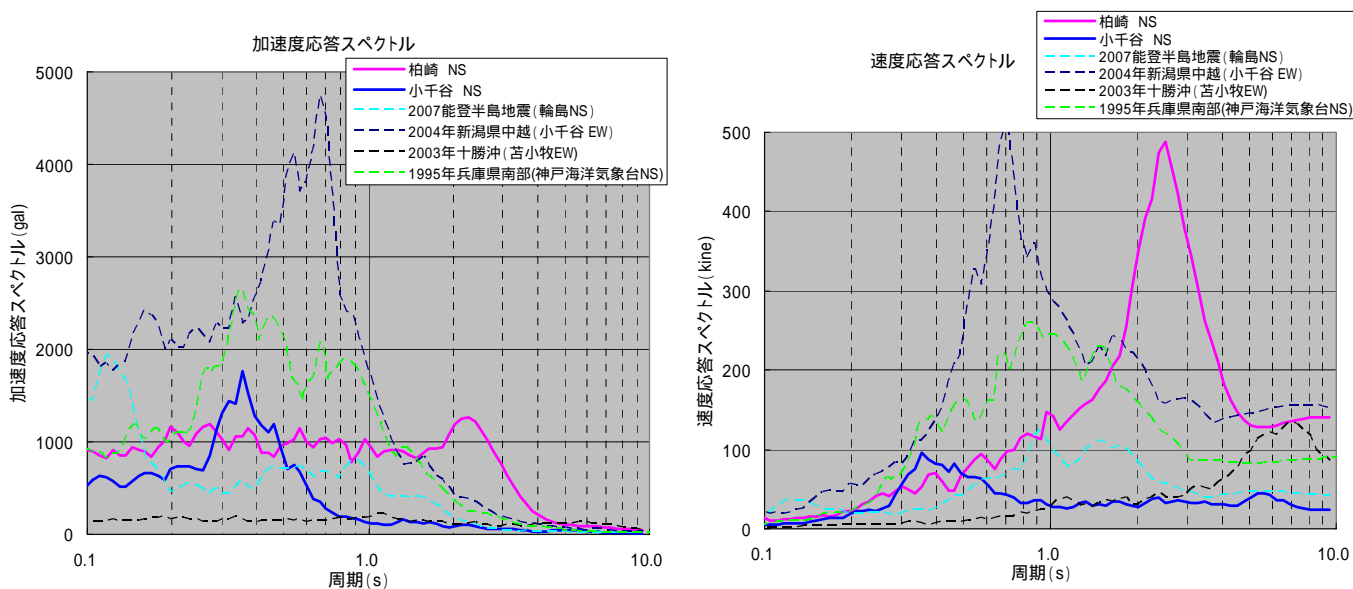
(3) 過去の被害地震との比較

最近発生した被害地震の一部と、今回の地震の柏崎 NS と小千谷 NS の加速度・速度応答スペクトルを図 5.2.4 に示す。過去の被害地震としては、1995 年兵庫県南部地震（神戸海洋気象台 NS）、2003 年十勝沖地震（苫小牧 EW）、2004 年新潟県中越地震（小千谷 EW）、2007 年能登半島地震（輪島 NS）を挙げている。

加速度応答スペクトルでは、他の地震と比較して柏崎 NS のスペクトル形状はやや特徴的で、0.1 秒付近の短周期から 1.5 秒付近まで概ね平坦であり、2 秒以上で応答値がやや大きくなる。

速度応答スペクトルでは、柏崎 NS は、他の地震と比較しても 2~3 秒付近のやや長周期で、応答値が非常に大きな値となっている。前記したように、K-NET 柏崎では時刻歴波形から地盤の非線形性（液状化）が確認されているため、このような特性が出ているものと考えられる。

地盤が非線形化（液状化）しているため、この結果と建物の被害との単純な比較は出来ないが、いずれにしても今回の地震で K-NET 柏崎周辺は、大きな地震動が発生していることは間違いないと思われる。



1995 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台は、最も被害が大きかった地区からやや離れている。

図 5.2.4 最近の被害地震と今回の地震の加速度・速度応答スペクトル

5.3 関東平野での観測記録

(1) 時刻歴波形

2004年の新潟県中越沖地震では、関東平野で長周期地震動が発生し六本木ヒルズ森タワーのエレベーターが損傷（ワイヤが切断）する被害が発生した。その後、安全面の対策をおこない、長周期地震動発生時に損傷が発生しないよう対策がなされた。今回の地震ではその対策の結果、ワイヤの損傷の被害はなかったが、振動により同エレベーターは非常停止された。

本震時のK-NET 新宿（TKY007）とK-NET 横浜（KNG002）の時刻歴波形（変位）を図5.3.1に示す。新宿で±1.0 cm程度、横浜で±0.5 cm程度の変位が確認されている。

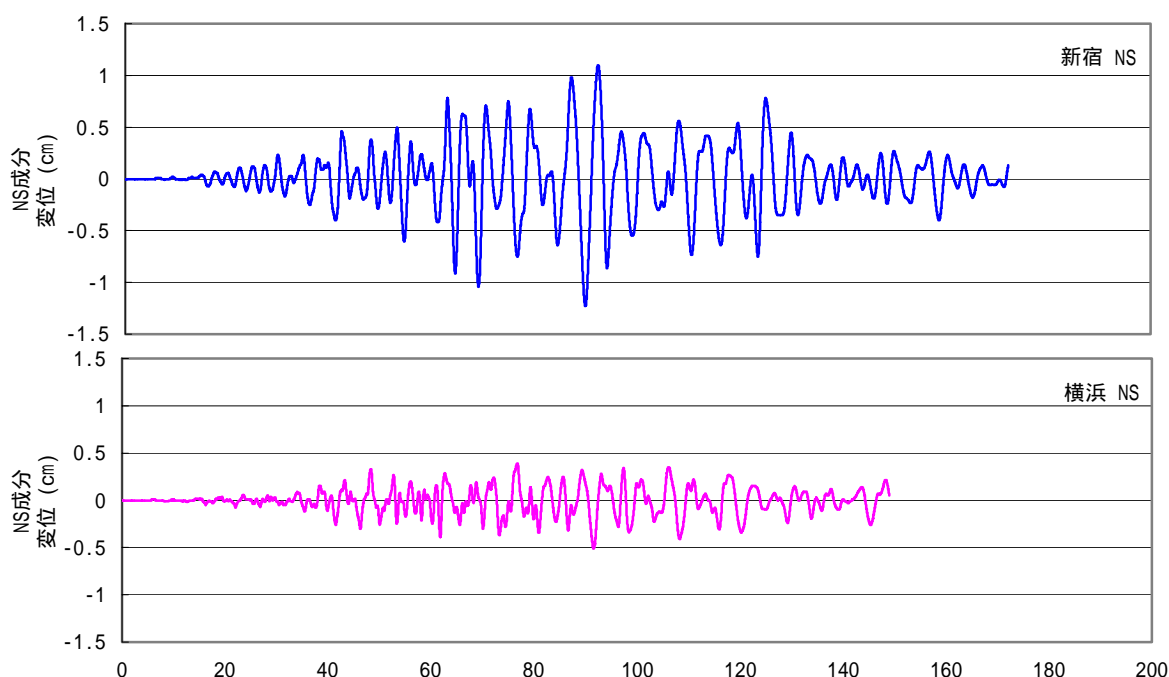


図 5.3.1 関東平野（新宿、横浜）の時刻歴波形（変位）

(2) 応答スペクトル

各地震動の応答スペクトル（ $h=5\%$ ）を求めた（解析区間は観測の全区間）。共に卓越周期は7～8秒付近と長い。

なお、東京大学地震研究所の報告によると、関東平野で長周期地震動が強く生成される条件として「規模（マグニチュード）が大きく」、「震源が浅い」ことを挙げている。

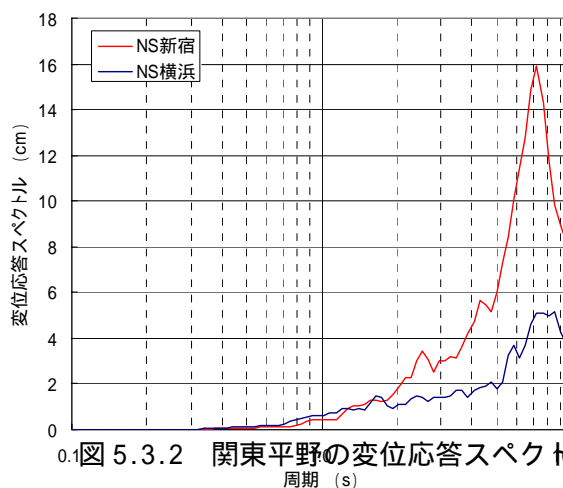


図 5.3.2 関東平野の変位応答スペクトル

5.4 常時微動観測

(1) 常時微動観測

震度 6 強を記録した飯綱町役場三水庁舎と、震度 5 強を記録した飯綱町役場本庁舎の強震計の付近および柏崎市街地の 9 箇所で常時微動観測をおこなった。観測結果から得られた H/V スペクトル比と観測地点の位置図を以下に示す。

飯綱町では、各観測点 1 回のみであるが、H/V スペクトル比から得られる卓越周期は明らかに異なる。今回の地震で震度 6 強を記録した三水庁舎では卓越周期が 1.3 秒程度なのに対し、本庁舎での卓越周期は 1.0 秒付近とやや短い（今回の地震では三水庁舎が 6 強、本庁が 5 強を記録）。

柏崎市では、概ね全ての観測地点が砂丘地帯である（図 4.3.2 参照）。卓越周期は、ややバラツキが見られるものの、概ね 1.0~1.6 秒付近である。

K-02 地点は、卓越周期が 0.5 秒付近と他の記録と比べて特異的な記録である。地質断面図よると K-02 地点は沖積低地の端部であり（鵜川流域、図 4.3.1 参照）、この地盤特性の影響である可能性がある。

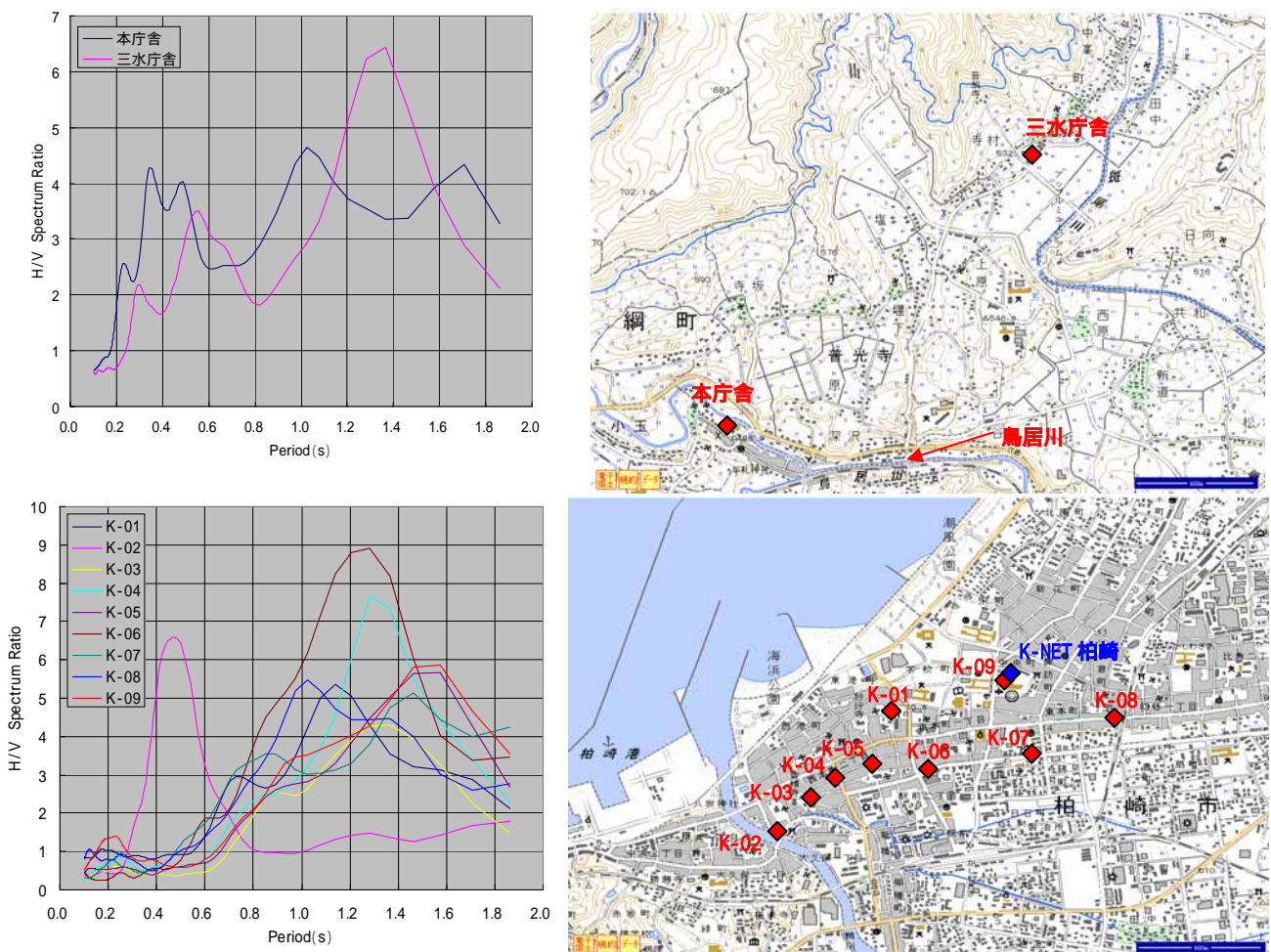


図 5.4.1 飯綱町（上）と柏崎市（下）の常時微動観測記録

(2) 強震観測記録と常時微動観測

常時微動観測記録と地盤が非線形化（液状化）をおこさない程度の地震動の記録を比較するために、K-NET 柏崎(NIG018)における今回の地震の3つの余震(7/16 15:37 M5.6、 7/16 18:19 M4.3、 7/16 21:08 M4.5) の速度応答スペクトルを求めた。両者を並べて図 5.4.2 に示す。

なお、図 5.4.1 に示したとおり、微動観測地点の K-09 は K-NET 柏崎 (NIG018) と近接している。

余震での速度応答スペクトルでは、 21:08 ではややスペクトル特性が異なるが、その他の2つの余震については卓越周期が 1.5~1.8 秒付近となる。常時微動観測から得られた H/V スペクトル比と比較すると、バラツキは見られるものの卓越周期は近い値を示す。特に、K-NET 柏崎 (NIG018) と近接している K-09 では、 の余震と似たスペクトル形状を示し卓越周期も良く一致している。

東工大の山中・瀬尾研究室による余震観測結果からも、柏崎市の砂丘上での余震観測記録の水平成分スペクトル比（岩盤上での観測に対する砂丘上の観測の比）においても、ややバラツキはみられるものの、1.3 秒付近に卓越周期が見られるとされており、今回の微動の観測記録のバラツキの範囲内に収まる。同報告には、「砂丘上の観測点では、卓越周期の変化が大きく、地震動強さ分布の理解には地盤構造を把握することが必要である」とされている。

今回の微動観測結果も、より詳細な地盤構造データとの比較や、より近い位置での微動観測地点と強震観測記録との比較をおこなうことにより、精度の高い解釈が出来るのではないかと考える。

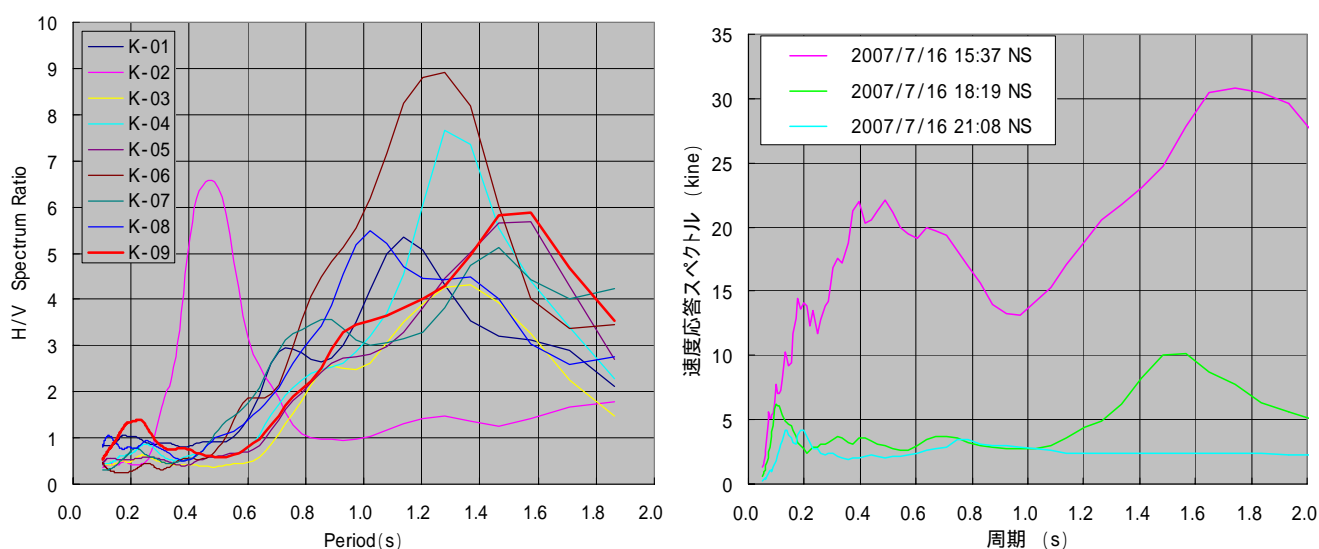


図 5.4.2 常時微動観測記録（左）と K-NET 柏崎 (NIG018) の余震の速度応答スペクトル（右）

6. 参考資料 現行（H18年9月）の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の概要

6.1 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の策定、改訂の経緯

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下、指針という）は、原子力安全委員会が昭和53年に策定し、平成13年3月に一部改訂され、平成18年9月に地震学など最新の知見や耐震設計技術の進歩を反映することにより、原子力発電所等の耐震安全性及びその信頼性等のより一層の向上を目指すものとして改訂された。

この間、平成17年10月に「原子力政策大綱」が閣議決定され、原子力発電が2030年以後も総発電電力量の30～40%程度という現在の水準程度か、それ以上の供給割合を担うことが目標とされた。この目標を達成するためには、高経年化が進みつつある原発の大幅なリプレースと新增設が必要となった。

6.2 平成18年9月の改訂の概要

（1）厳しい水準となったもの

考慮すべき活断層の活動時期の範囲を、5万年前以降から後期更新世（約12～13万年前）以降に変更。

（これは、5万年以上動いていなかった断層が地震を引き起こす可能性があり、実際に昭和20年の三河地震を引き起こした断層は5万年以上動いていなかったことなどが理由と思える。）

事故時に原子炉を冷却するための施設等（Aクラス）について、耐震設計上の重要度分類を格上げし（Sクラス：旧指針Asに相当）耐震要求を厳格化。

（旧指針）As、A、B、C （新指針）S、B、C

耐震設計上の重要度分類（機能上の分類）

- ・Sクラス・・・自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能のそう失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの、並びにこれらの事故発生の際に外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響の大きいもの。
- ・Bクラス・・・上記において、影響が比較的小さいもの
- ・Cクラス・・・Sクラス、Bクラス以外であって、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいもの

従来、全国一律に行ってきたマグニチュード 6.5 の「直下地震」の想定を廃止。代わって、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録や国内外の観測記録を基に、原子力発電所等の立地地域の特性などを考慮して、より厳しい地震動を設定。

(これは、活断層がなければ、M6.5 を越える直下型地震は発生することはないという考え方を前提にしているものであった。しかし、活断層が認識できなかったところで M6.5 を上回る地震が明治 33 年に宮城県北部地震(M7.0)、大正 3 年に秋田仙北地震(M7.1)、平成 12 年に鳥取県西部地震(M7.3)が発生した。平成 17 年 8 月には宮城県沖を震源とする地震(M7.2)が発生したことなどが理由と思える。)

(2) 活断層をより入念に調査するように改訂

改訂後は敷地からの距離に応じて十分な活断層調査を実施することとし、敷地近傍については、不明瞭な活断層を見逃さないように、これまで以上に詳細な調査を実施。

活断層の調査手法として、新たに「変動地形学的調査」、「地球物理学的手法」(地下の断層を探る手法)を追記し、これまで以上に総合的な調査を実施することを要求。

(3) より高度な手法での評価するように改訂

基準地震動(想定される地震による地面の揺れ)について、従来の水平方向に加えて鉛直方向も設定し、施設の揺れを詳細に評価。

地震発生メカニズムを詳細にモデル化して地震動(地面の揺れ)を評価することが可能な「断層モデル」を、地震動評価手法として全面的に採用。

6.3 基準地震動 S_s について

(1) 基準地震動 S_s の性格について

基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の解放基盤表面にける水平方向、鉛直方向の地震動とする。旧指針においては、基準地震動に関して、地震動 S_1 及び地震動 S_2 の 2 種類を策定することとしていたが、新指針においてはこの双方の策定方針を統合し、基準地震動 S_s として、検討用地震の選定、地震動評価等について高度化が図られている。

(用語として:「基盤」とは、概ねせん断波速度 $V_s = 700 \text{ m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないものとしている。また、「活断層」とは、最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も

活動する可能性のある断層としている。)

(2) 基準地震動 S_s の策定方針について

検討用地震の選定に当たっては、敷地周辺の活断層の性質や過去の地震の発生状況を精査し、さらに、敷地周辺の中・小・微小地震の分布、地震発生様式(プレートの形状・運動・相互作用を含む。)に関する既往の研究成果等を総合的に検討することとしている。

検討用地震は、次に示す地震発生様式等に着眼した分類により選定することとしている。

) 内陸地殻内地震

「内陸地殻内地震」とは、陸のプレートの上部地殻地震発生層に生じる地震をいい、海岸のやや沖合で起こるものを含む。

) プレート間地震

「プレート間地震」とは、相接する二つのプレートの境界面で発生する地震をいう。

) 海洋プレート内地震

「海洋プレート内地震」とは、沈み込む(沈み込んだ)海洋プレート内部で発生する地震をいい、海溝軸付近ないしそのやや沖合で発生する「沈み込む海洋プレート内の地震」と、海溝軸付近から陸側で発生する「沈み込んだ海洋プレート内の地震」(スラブ内地震)の2種類に分けられる。

震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えられられる地震については、断層モデルを用いた手法を重視すべきとしている。

「基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ(ばらつき)」の考慮に当たっては、基準地震動 S_s の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる不確かさ(ばらつき)の要因及びその大きさの程度を十分踏まえつつ、適切な手法を用いることとしている。

「地震を特定せず策定する地震動」の策定方針については、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けたものであるとしている。

「敷地ごとに震源を特定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」については、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握しておくことが望ましいとの観点から、それぞれが対応する超過確率を安全審査において確認することとしている。

検討用地震の選定や基準地震動 S_s の策定に当たっての必要な調査や評価をする際は、既往資料の

精度について十分なる考慮をして参照することとしている。なお、既往の評価と異なる結果を得た場合には、その根拠を明示しなければならないとしている。

(3) 震源として特定する断層の評価について

経験式を用いて断層の長さ等から地震規模を想定する際は、その経験式の特徴等を踏まえ、地震規模を適切に評価することとしている。

活断層調査によっても、震源と特定する断層の形状評価を含めた震源特性パラメータの設定に必要な情報が十分得られなかった場合には、その震源特性の設定には不確さの考慮を適切に行うこととしている。

6.4 参考文献等

- 1) 気象庁：「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」の特集
- 2) 産業技術総合研究所活断層研究センター：平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震
- 3) 新潟県：新潟県地質図説明書・地質図、平成 12 年 3 月
- 4) 地質調査所：1：5000 地質図幅 柏崎、平成 7 年 12 月
- 5) 消防庁：災害情報 平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震
- 6) 防災科学技術研究所強震観測記録（K-NET）：地震波形等
- 7) 瀬尾和大：地震時の地盤振動特性評価のための微動の活用に関する研究
- 8) 東工大 山中・瀬尾研究室：柏崎市における中越沖地震の余震観測、2007/7/26
- 9) 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の耐震安全性に関わる安全審査指針類の改訂等について、18 安委第 59 号平成 18 年 9 月 19 日原子力安全委員会
- 10) 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の添付 1 資料
- 11) 新しい耐震設計審査指針のポイント、平成 19 年 1 月原子力安全・保安院
- 12) ISSUE BRIEF 原子力発電所の地震対策、調査と情報第 515 号
- 13) 電子国土ポータル：電子国土事務局

7. あとがき

今回の地震は、2004年新潟県中越地震の発生からわずか3年あまりで発生した地震であった。多少なりとも地震に関わる業務をしている立場の人間として、いったん大きな地震が来たらしばらくは安心だろうという認識を持っていた。しかし、今回の地震により、改めて日本中どこでも大地震が発生する危険性があり、防災・減災対策の重要性を認識した。

特に、今回の地震では亡くなった方11名中10名が70歳以上の高齢者(7/30時点)であり、その大部分が建物等の下敷きによる圧死であった。現地調査からも、被災地は高齢者が数多くみられ、今後急速に高齢化社会が進んでいく我が国において高齢者等の災害弱者の視点からの、防災・減災対策が重要であると感じた。一方で、自衛隊や地元の消防団により倒壊した家屋から救出された方も多数おり、地震発生時には迅速な救助活動の必要性も再認識した。

今回の地震では、神奈川大学工学部建築学科 山本俊雄助手と Mahmood Rahimian 氏には現地調査に同行していただいたとともに、荏本孝久教授には貴重な写真のデータを提供していただいた。また、地震発生直後の忙しいときにもかかわらず、飯綱町役場の職員の方には地震時の状況の説明や貴重なデータを提供していただいた。ここに記して感謝の意を表します。また、報告書作成に当たり、(独)防災科学技術研究所が公開している強震観測記録(K-NET)を使用させていただいた。

最後に、このたび地震で被害にあわれた方々が、一日でも早く平常の生活に戻れることを願うとともに、この調査報告書が今後の地震防災に少しでも役に立つものであれば幸いです。

平成19年7月30日

株式会社東建ジオテック 地震部会 落合 努

地震調査担当 株式会社東建ジオテック 技術本部

現地調査

・株式会社東建ジオテック 東京支店

落合 努

・神奈川大学工学部建築学科

山本 俊雄

Mahmood Rahimian

報告書作成

・株式会社東建ジオテック 技術本部・地震部会

佐々木 誠二

落合 努

・株式会社東建ジオテック 本社 総括技師長

畑中 博文

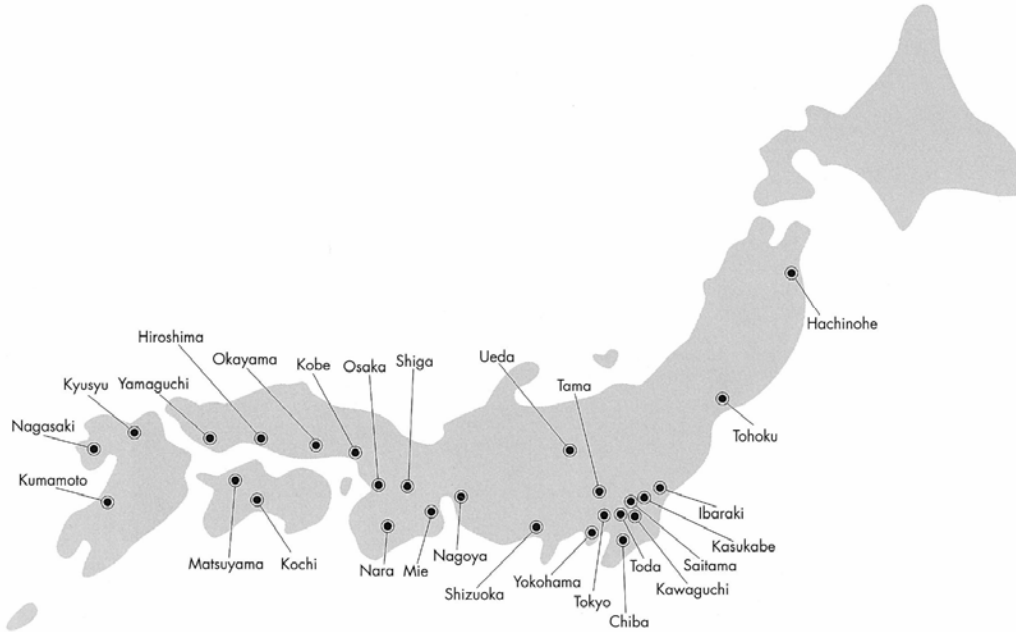
表紙の解説

⊗ : 震央位置 (概略位置)

写真上段: 柏崎市青海駅付近の斜面崩壊 (神奈川大、Rahimian 氏撮影)

中断: 柏崎クリーンセンターの煙突 (神奈川大、荏本孝久教授撮影)

下段: 柏崎市東本町の路面



事業所所在地

本社	048-822-0107 埼玉県さいたま市浦和区仲町3-13-10 〒330-0062	八戸事務所	0178-34-6791 八戸市湊町字新井田道36-9 〒031-0811
技術開発センター	048-441-6301 戸田市喜沢2-19-1 〒335-0013	茨城事務所	029-276-5911 ひたちなか市東大島3-9-18 〒312-0042
環境エンジニアリング事業部	048-444-3001 戸田市喜沢2-19-1 〒335-0013	川口事務所	048-269-3184 川口市芝下2-22-19 〒333-0848
本店	048-834-5010(代表) さいたま市浦和区仲町3-13-10 〒330-0062	春日部事務所	048-763-8411 春日部市粕壁東5-18-45 〒344-0062
東京支店	03-3833-0381(代表) 東京都文京区湯島3-37-4 〒113-0034	多摩事務所	042-558-4167 あきる野市草花1387-10 〒197-0802
千葉支店	043-246-2357(代表) 千葉市中央区登戸1-23-1 〒260-0032	上田事務所	0268-27-1610 上田市住吉104-1 〒386-0002
横浜支店	045-322-3331(代表) 横浜市西区平沼1-14-20 〒220-0023	静岡事務所	054-273-1020 静岡市葵区末広町110 〒420-0004
東北支店	022-275-7111(代表) 仙台市青葉区小松島1-7-20 〒981-0905	三重事務所	059-227-1503 津市大谷町228 〒514-0007
名古屋支店	052-824-1531(代表) 名古屋市南区笠寺町字迫間9-2 〒457-0051	滋賀事務所	077-523-5301 大津市中央1-5-12 〒520-0043
大阪支店	072-265-2651(代表) 堺市西区宮下町12-19 〒593-8321	大阪事務所	06-6933-1185 大阪市城東区古市3-1-1 〒536-0001
広島支店	082-299-5661(代表) 広島市佐伯区五日市中央3-10-7 〒731-5128	神戸事務所	078-341-4633 神戸市中央区花隈町3-22 〒650-0013
山口支店	083-927-5507(代表) 山口市大内矢田234-1 〒753-0215	奈良事務所	0744-22-0522 橿原市四条町285-4 〒634-0813
松山支店	089-945-3328(代表) 松山市小栗1-6-26 〒790-0036	岡山事務所	086-955-9237 赤磐市山陽2-5-20 〒709-0827
九州支店	092-781-7961(代表) 福岡市中央区渡辺通5-16-13 〒810-0004	高知事務所	0889-26-0719 高岡郡越知町柴尾1033 〒781-1307
		長崎事務所	095-824-1660 長崎市筑後町3-30 〒850-0052
		熊本事務所	096-385-3380 熊本市水前寺6-11-22 〒862-0950