

平成 16 年 新潟県中越地震
被害調査報告会 梗概集

2004 年 12 月 21 日

於 建築会館ホール

共催 日本地震工学会・土木学会・日本建築学会・
地盤工学会・日本地震学会・日本機械学会・
震災予防協会

はじめに

2004年10月23日新潟県中越地方で発生したマグニチュード6.8の地震は、1995年兵庫県南部地震以来の大きな被害を引き起こしました。

この地震の特徴として、活褶曲地帯で発生した地震であること、また規模の大きな余震が複数の断層で多数発生したことがあげられています。被害については、広範囲での山崩れや盛り土の崩壊などの地盤災害に起因した土木構造物や家屋の崩壊が多数発生していることが目に付きます。木造家屋を中心とした構造物の被害も無視できません。また新幹線が大震動を受けて脱線事故を起こしたことは今後の地震被害の軽減対策に新たな課題を突きつけるものです。

兵庫県南部地震以降、地震災害軽減に向けて多くの研究、施策が実施されてきましたが、今回の地震ではこれらの経験が試された機会でもありました。地震発生の数分後には最大震度6強が発表され、直ちに行政、調査などの行動が開始されました。

地震発生から2ヶ月が経過し、各学会等での調査が一段落し、それぞれの学会等では速報会も行われてきました。今回の地震災害は地震工学の多くの分野にまたがる重要な研究課題が示されています。そこで本学会から関連する6学協会に呼びかけて共同で報告会を開催することといたしました。各分野の専門の方々と一同に会して、情報交換、討議等を行い、今後の調査・研究の一助となり、地震災害軽減に生かされることを期待しています。

最後に、調査・復旧等でご多忙にもかかわらず、本報告会のために時間を割いていただいた講演者の皆様に深く謝意を表します。

2004年12月21日

日本地震工学会会長 入倉 孝次郎

目 次

1. テクトニクス、地質、活断層と今回の地震

- (1) 地殻変動観測からみた新潟県中越地震と周辺のテクトニクス ----- 1
(国土地理院) 今給黎哲郎
- (2) 2004 年新潟県中越地震地域の活構造と地震断層 ----- 7
(産業技術総合研究所) 栗田 泰夫、丸山 正、伏島祐一郎
吉岡 敏和、石山 達也、松浦 旅人、小松原 琢
水野 清秀、岡村 行信、遠田 晋次、吉田 邦一
(鹿児島大学) 井村 隆介
- (3) 2004 年新潟県中越地震の本震と余震 ----- 11
(東京大学地震研究所) 平田 直

2. 強震動

- (1) なぜ新潟県中越地震の地震動はおおきかったのか? ----- 19
(防災科学技術研究所) 青井 真、森川 信之
本多 亮、功刀 卓、藤原 広行
(産業技術総合研究所) 関口 春子
- (2) 強震動と建物被害 ----- 27
(筑波大学) 境 有紀、小杉 慎司、大月 俊典
(新潟大学) 中村友紀子
- (3) 2004 新潟県中越地震の余震および微動の観測 ----- 35
(東京工業大学) 山中 浩明、元木健太郎
(東京ソイルリサーチ) 福元 俊一、高橋 寿幸

3. 地盤災害

- (1) 新潟県中越地震による山古志村の土砂災害の状況 ----- 39
—特に芋川流域の地すべりダムについて—
(新潟大学) 渡部 直喜、丸井 英明、川邊 洋
権田 豊、山岸 宏光、稲葉 一成
- (2) 盛土崩壊 ----- 47
(長岡技術科学大学) 大塚 悟
- (3) 液状化とその特徴 ----- 53
(防災科学技術研究所) 若松加寿江
(応用地質) 吉田 望
(関東学院大学) 規矩 大義

4. 土木構造物の被害	
(1) 道路施設	61
	(土木研究所) 杉田 秀樹
(2) 新潟県中越地震における土木構造物の被害 (鉄道施設)	67
	(東日本旅客鉄道) 石橋 忠良
(3) 河川施設	73
	(土木研究所) 山口 嘉一、杉田 秀樹
5. 農業施設の被害	
(1) 平成 16 年新潟中越地震による農業施設の被害概要	81
	(農業工学研究所) 谷 茂
6. 建築構造物の被害	
(1) 建築構造物 (非木造) の被害	87
	(新潟大学) 加藤 大介、土井 希祐、中村友紀子、本多 良政
(2) 木造建物の被害	95
	(信州大学) 五十田 博
(3) 非構造部材	103
	(東京工芸大学) 脇山 善夫
(4) 免震建物の地震観測記録と振動解析結果	111
	(三菱地所設計) 溜 正俊、鴫田 隆
7. ライフラインの被害	
(1) 電気	117
	(東北電力) 橋本 修一
(2) 2004 年新潟県中越地震における都市ガスの被害	123
	(東京ガス) 中山 渉、菜花 健一、中根 宏行
(3) 平成 16 年新潟県中越地震における水道施設の被害について	127
	(クボタ) 岩本 利行、戸島 敏雄
(4) 下水道施設の被害	131
	(東京電機大学) 安田 進 (関東学院大学) 規矩 大義
8. 緊急対応	
新潟県中越地震における行政機関の初動対応	137
	(人と未来防災センター) 秦 康範

1. テクトロニクス、地質、活断層と今回の地震

地殻変動観測からみた新潟県中越地震と周辺のテクトニクス

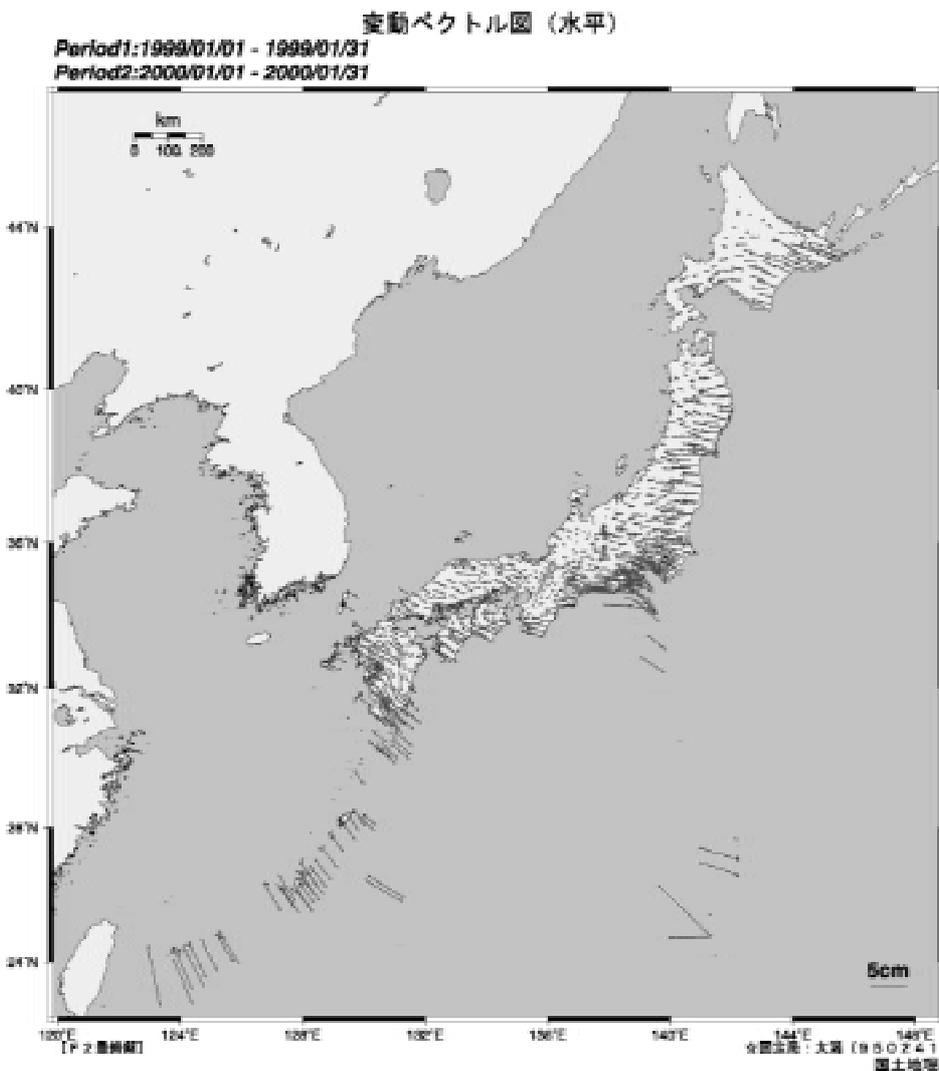
今給黎哲郎¹⁾

1) 国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室、室長

1. はじめに

明治から昭和にかけて行われた三角測量等の測地測量の結果、および最近約10年間のGPS観測の結果から、日本海東縁から新潟、跡津川、琵琶湖を経て神戸に至る顕著な帯状の圧縮歪み場が存在することが指摘されていた(Sagiya et al. 2000)。平成16年(2004年)新潟県中越地震は、新潟-神戸構造帯と名付けられたこの歪み集中帯の一部である新潟県中越地方で発生した。地殻変動の傾向は地震発生前もその傾向にそったものであり、地震時の地殻変動は東西圧縮の逆断層のメカニズムを示している。

2. GEONET 観測による定常的地殻変動



国土地理院では、地殻変動監視および基準点網構築のため、全国に1229点(2004年11月現在)のGPS連続観測点(電子基準点)を設置・運用している。電子基準点の標準的な観測点間隔は20~25km、南関東・東海から四国にかけての太平洋沿岸では15~20kmである。この全国に展開された電子基準点網と、その観測データを収集・解析・提供するつくばの中央局を総称してGEONET(Gps Earth Observation NETwork)と呼んでいる。電子基準点は、堅牢なステンレススチール柱の内部にGPS受信機、頂部にアンテナ組み込んだ観測点である。大部分の観測点では1秒毎にGPS衛星の信号を受信してリアルタイムに中央局に送

図1 GEONETによる日本列島の定常的地殻水平変動

信している。最近では3時間毎に全国の観測点の位置を計算しているが、以前のデータは24時間毎に行った解析結果がアーカイブされている。

GEONETの観測によって、日本列島全体にわたる定常的な地殻変動が検出されている。図1は、顕著な地震、火山噴火のイベントがなかった1999年における1年間のGPS観測による地殻変動である。日本海側の新潟県大潟(印の観測点)を固定した表示となっているが、この図から、日本列島周辺の大局的なプレート運動の様相が確認できる。例えば、北海道の太平洋岸では北西方向、東北地方太平洋岸では西方向の水平変動ベクトルが見られるが、これは千島海溝・日本海溝からの太平洋プレートの沈み込みによるものと考えられる。また、駿河湾から東海・紀伊半島・四国にかけての太平洋岸では、北西方向の変動ベクトルが確認できるが、これは駿河トラフ・南海トラフからのフィリピン海プレートの沈み込みによるものと考えられる。さらに、中国地方に見られる東向きベクトルは、アムールプレートの東進を、九州南部から南西諸島にかけての南東向きベクトルは沖縄トラフの拡大によるものと考えられる。

3. 新潟周辺の定常的地殻変動

日本列島全体の水平変動パターンから、日本列島は大局的に見て東西圧縮の場にあることが推測さ

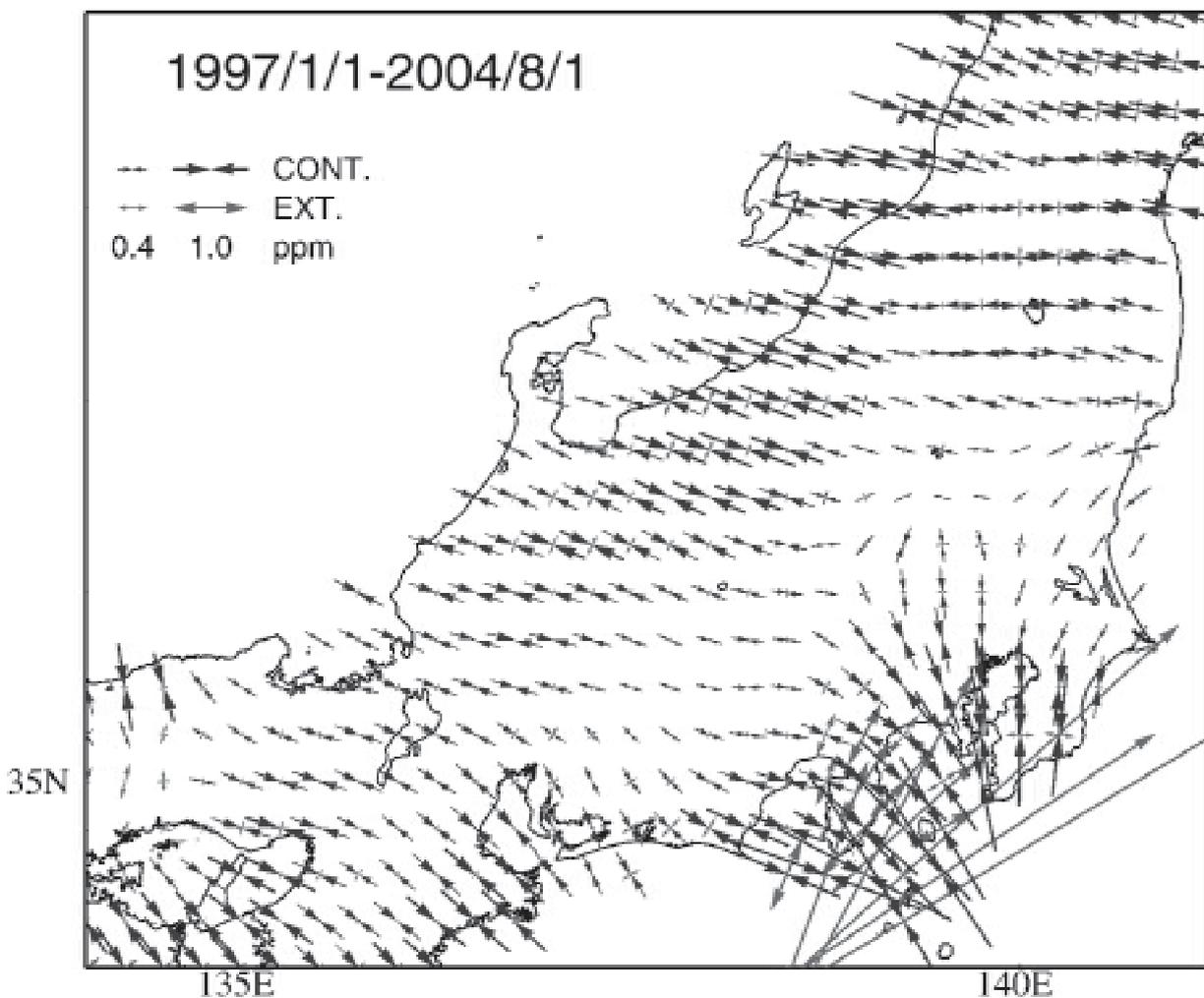


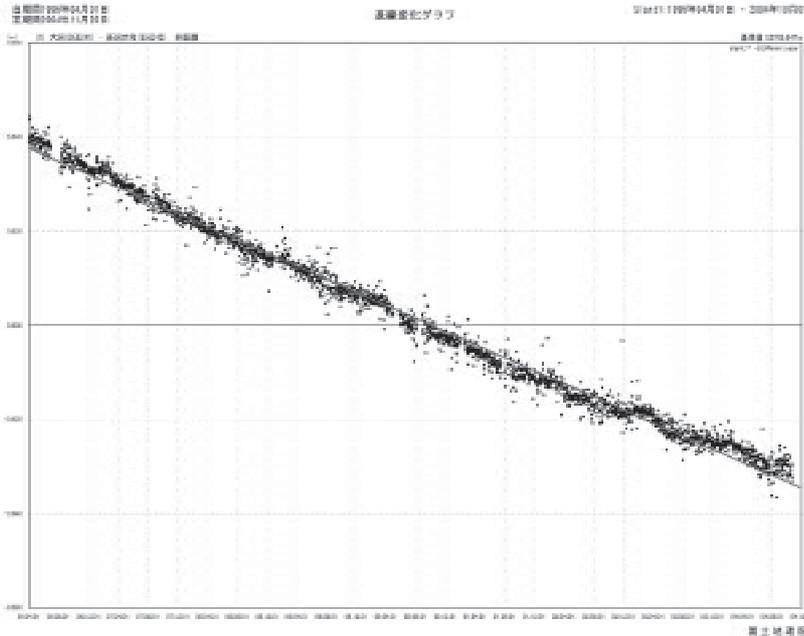
図2 中部日本の地殻水平歪み図

れる。GPS観測結果から地殻水平歪み図を作成すると、特に東北地方の日本海沿岸から新潟、中部

地方北部、琵琶湖を経て神戸に至る圧縮歪みの集中する帯状の領域が存在することが確認できる。新潟周辺では、歪みの主軸の方向が西北西 - 東南東を向いており、歪み集中帯は北東から南西方向に伸びている（図2）。

明治以来の測量結果から中長期的に見ても、この地域は東西方向の圧縮場にある。このことは、国土地理院が作成した地殻水平歪み図などでも確認できる（国土地理院，1997）。

中長期的に見た場合は、新潟地震などの影響があるが、最近の観測結果から見たこの地域の歪み速度



速度は0.2ppm / 年程度である。最近でも2000年の三宅島噴火、その後始まった東海地方でのスロースリップなど、周辺では地殻水平歪み速度に影響をあたえるようなイベントがあったが、新潟周辺では特段の影響はなく、GPS観測から見る限りその速度はここ数年間特段の変化はなかった。

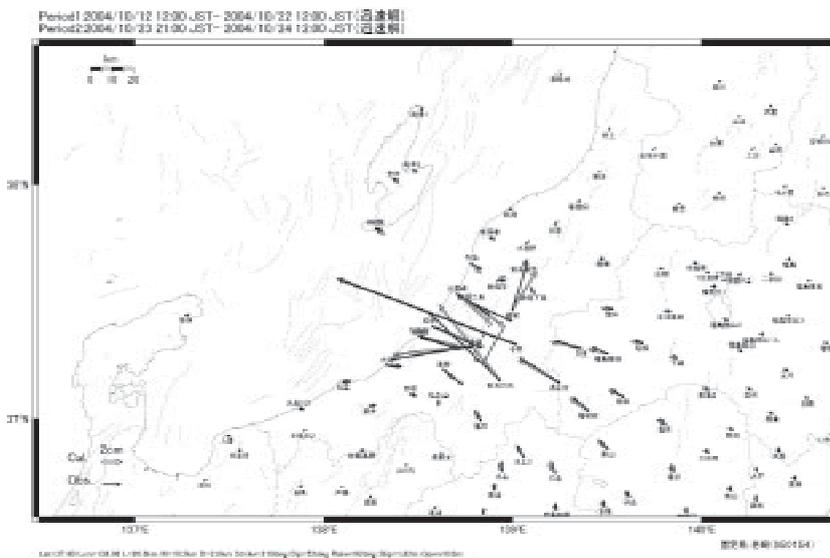
時間的な歪み速度の変化が見られなかったことを示す一例として、1996年4月から2004年11月までの大潟 - 新潟大和観測点間の距離の時系列グラフを図3に示す。この図ではフルスケールが±6cmであり、約8年間で約7cmの短縮があった

図3 大潟 - 新潟大和観測点間の斜距離の時系列グラフ

ことがわかる。回帰直線の傾きは約8.3mm / 年であるので、基線長は約54kmに対して0.15ppm / 年の短縮率である。季節的な変動がわずかに見られるが、変動速度の変化はほとんど見られない。

4. 地震時の地殻変動と断層モデル

2004年10月23日 新潟県中越地震に伴う地殻変動より推定した断層モデル(水平・暫定)



平成16年（2004年）新潟県中越地震（Mj=6.8）の震源域近傍にも電子基準点が配置されており、地震に伴う顕著な地殻変動が観測された。図4に示すのは、co-seismicな地殻水平変動ベクトルである。震源の東にある電子基準点「守門」では西北西方向に約21cmの変動が観測された。また、震源近傍の電子基準点「小千谷」では、水平変動は約8cmであったが、上下方向では約27cmの隆起と大きな変動が見られた。この

図4 平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う地殻水平変動と断層モデル

変動量には本震以外にも、その後約1日間に起きた余震を含めた影響も含まれるが、その大部分は本震によるものと考えられるので、1枚の矩形断層で近似して本震の震源断層モデルを作成した。

全体的に見て、震源の西側では東向きの変動が、震源の東側では西向きの変動が見られることから予想される通り、得られた断層モデルは東西圧縮の逆断層となった。北西から南東方向にのびる走向で、西側にむかって深くなる傾斜の断層面で、西側が東側に向かって約1.8m乗り上げる動きが推定された。上盤側に位置する小千谷観測点が西向きの変動であることが一見モデルと一致しないが、断層の傾斜が53度と高角であり隆起の中心近くに観測点があるために起きる現象である。この地殻変動から求められた断層モデルは、地震観測から求められた震源メカニズム、余震分布から推定される断層と調和的である

10月23日の本震時以外に10月27日の余震(Mj=6.1)、11月8日の余震(Mj=5.9)に伴う地殻変動も確認され、これを説明するための断層モデルも作成した。特に、10月27日の余震については、本震とは異なり東下がり断層面を持つことが、地殻変動から推定されたモデルでも確認することができた。いずれも北東-南西走向の東西圧縮の逆断層であり、この地域の定常的な歪場と整合している。(図5)

断層モデルの概念図

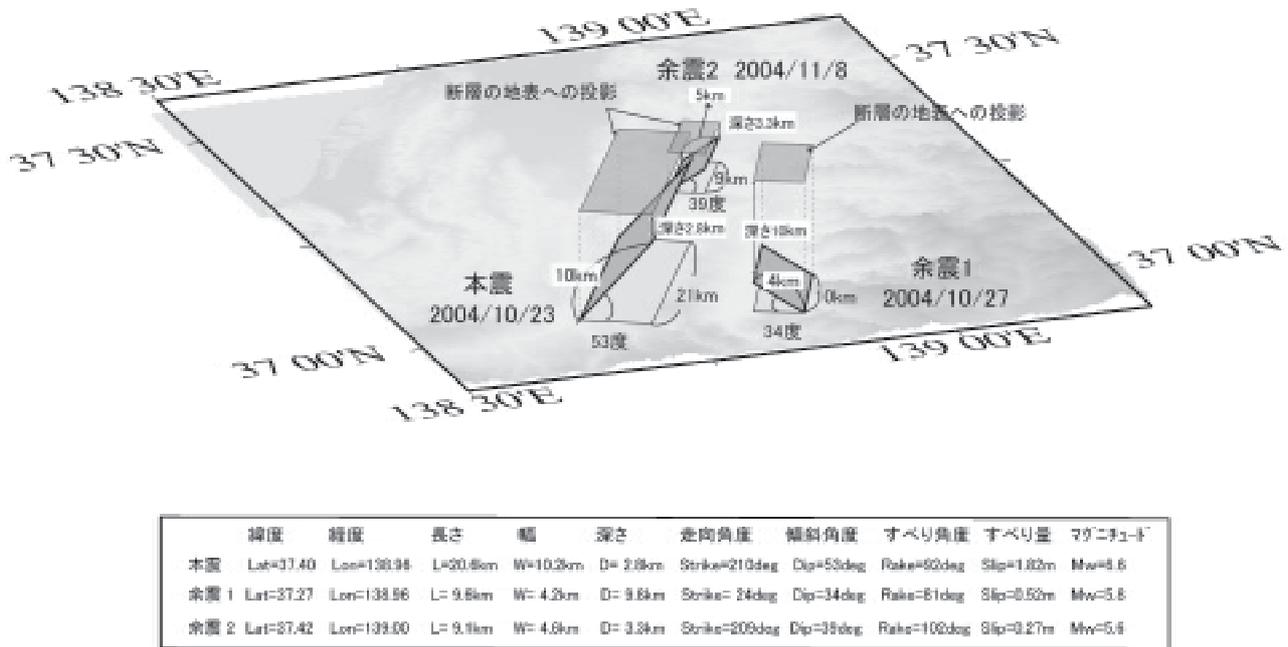


図5 本震および10月27日,11月8日の余震の断層モデル見取り図

6. 結論

地殻変動からみた新潟地方は、東西圧縮の地殻水平歪みが集中する場であり、平成16年(2004年)新潟県中越地震もその背景の中で発生した。co-seismicな地殻変動から推定される断層モデルも東西圧縮の逆断層であり、この地域のテクトニクスに合致している。

参考文献

Sagiya, T., S. Miyazaki and T. Tada, 2000, Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pur. Appl. Geophys.* **157**, 2302-2322

国土地理院, 1997, 日本の地殻水平歪, 国土地理院技術資料 F・1-No.10

2004年新潟県中越地震地域の活構造と地震断層

粟田泰夫¹⁾、丸山 正¹⁾、伏島祐一郎¹⁾、吉岡敏和¹⁾、石山達也¹⁾、
松浦旅人¹⁾、小松原 琢¹⁾、水野清秀¹⁾、井村隆介²⁾、
岡村行信¹⁾、遠田晋次¹⁾、吉田邦一¹⁾

1) 産業技術総合研究所 活断層研究センター

2) 鹿児島大学 理学部 地球環境科学科

1 はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震 (M_j 6.8) では、最大マグニチュード: M_j 6.5を含む活発な余震活動が続いた。また、比較的規模の大きな地震であったにも関わらず地表には顕著な地震断層は出現しなかったことから、この地震は既知の主要な活断層から発生した固有規模の地震ではなかったと考えられる。

著者らは、10月25日以降に、一連の地震活動域において主に地震断層の出現の有無を確認するための踏査を行ってきた。ここでは、本地域の地質構造と活構造を概観しながら一連の地震発生メカニズムの背景を考察するとともに、発見された地表断層について速報する。

2. 新潟県中越地震と地質構造・活構造

2.2 地質構造・活構造の概要

図1に、新潟県中越地震の本震および余震の分布と、地質構造および活構造の概略図を示す。

この地域は、先新第三系の基盤岩類からなる越後山地と、厚さ3-5kmの新第三系の堆積岩類が分布する新潟平野との境界にあたり、両地塊の境界に沿っては“新発田-小出構造線”が推定されている。新発田-小出構造線は、約1900-1500万年前の日本海拡大期においては正断層として活動したものが、約300万年前以降の圧縮応力場においては逆断層として反転して活動しているものと考えられている。今回の地震活動域は、おおむね新発田-小出構造線の西側に隣接し、最上部地殻の速度構造が急変する場に当たると予想される。

約300万年前以降の圧縮応力場において、新潟平野では、北北東-南南西に延びる断層・褶曲帯が形成されてきており、今回の地震活動域付近には幅15km程度の隆起帯が分布する。この隆起帯は、本震の震央付近を境に、隆起帯を東西に横切って流れる魚野川以北の“東山丘陵”と同以南の狭義の“魚沼丘陵”に分けられる。

基本的に、魚沼丘陵は、その東翼部を六日町断層帯に限られた傾動地塊であり、東山丘陵は複数の背斜構造が並行して発達する複背斜構造である¹⁾。ただし、魚沼丘陵の北西縁から東山丘陵の西縁にかけては、顕著な背斜構造(田麦山背斜および東山背斜)がつらなり、背斜の東翼部には、諏訪峠撓曲¹⁾および猪倉山断層が発達している。

2.1 主な活断層

今回の地震活動が起こった東山-魚沼丘陵の周辺には、六日町断層帯、悠久山断層、十日町盆地西縁断層帯などの、長さ約15-40kmで活動性の高い活断層が分布する。 M_j 6.8の本震では、発震機構や余震分布、地殻変動からは、六日町断層帯の地下中-深部が活動した可能性が指摘されている。

六日町断層帯：六日町断層帯³⁾は、魚沼丘陵の東縁から東山丘陵の南東縁を限る、西側隆起で長さ約40kmの逆断層である^{3, 4, 5, 6)}。この断層の活動に伴って、魚沼丘陵は全体として西側に傾動隆起している。金(2001)⁴⁾は、この断層により完新世の地形面が上下に最大10m変位していることを見いだしており、その平均変位速度は北部で0.8-1.0m/千年(上下成分)、南部では1.0-2.0m/千年に達するとしている。また、金(2004)²⁾は、約10-40万年前以降の魚沼丘陵の隆起速度を、北部で0.8-1.0m/千年、南部では1.3-2.0m/千年と求めている。

悠久山断層・山本山断層：東山丘陵の西縁には、長さ15kmの悠久山断層⁷⁾が分布する。悠久山断層そのものは西側隆起のセンスを示すが、その西側に沿っては東側隆起の活断層や地形面の傾動が認められている³⁾。また、悠久山断層の南南西方約15kmにあたる山本山断層付近においても、顕著な東側隆起の撓曲と西側隆起を示す副断層(山本山断層)が発達している³⁾。

十日町盆地西縁断層帯：魚沼丘陵の西側には、信濃川に沿って十日町盆地が発達している。この盆地は、

基本的には、その西縁を十日町西縁断層帯（池田ほか編、2002）と呼ばれる活動性の高い（上下変位速度が約1m/千年）活断層-活撓曲に限られた断層角盆地-非対称向斜である。盆地と魚沼丘陵の境界に沿って東側隆起の活断層が発達するとの指摘^{5,6}もあるが、その活動性は相対的に低い。

3. 今回の地震活動のテクトニクス

図2に、魚沼丘陵北部の六日町断層帯と複背斜構造を横切る地質断面図¹に基づいた、地下深部までの断層の推定形状を示す。この形状は、バランス断面法を使用して、深度が約15kmに達する西傾斜の断層が1枚だけ存在するという仮定をおいて丘陵下の断層の形態を求めたものである。その結果、地下深部から諏訪峠撓曲の地下にかけて比較的傾斜の急な断層面が延び、さらに浅部ではやや低角度となって地表に達する断層モデルが求められた。今回の地震活動では、*Mj* 6.8の本震と大きめの余震が多数発生したにもかかわらず、規模の大きな断層変位は地表には出現しなかった。しかし後述のように、六日町断層帯の北部とその延長部では小規模な変位を伴う断層が出現している。このような地震活動と断層の出現状況から、地下中-深部において本震に相当する震源断層が破壊し、その後、周辺および地下浅部での断層活動と地震発生を誘発してきたものと考えられる。

今回の地震活動では、大きめの余震が多く発生している。これは伏在断層に特有の応力再配分と、複雑な地質構造に起因した中規模の断層・褶曲構造の多さに関係するとみられる。図3は、逆断層の変位が地表まで達した場合（図3上）と、伏在した場合（図3中）での、応力再配分を示したものである。このDCFFの計算結果によると、伏在断層では地殻の歪みが解消しきれずに、周辺で逆断層運動を誘発する領域が広がることになる。

4. 新潟県中越地震に伴う地表断層と類似の地表変状

4.1 地表断層と類似の地表変状

一連の地震活動に伴って、六日町断層帯の北部とその延長部の長さ約10kmの範囲において、小規模な地表断層や類似の地表変状が断続的に地表にあらわれたことが確認できた（図1）。このうち南魚沼市の旧広神村小平尾付近では、長さ約2km余りにわたって明瞭な地表断層があらわれ、また同市の旧小出町市街地の西方から南南西方にかけても長さ約2.5kmにわたって類似の地表変状があらわれた。

小平尾付近：小平尾付近では、集落内の道路や畑において、消雪パイプやアスファルト舗装路面、コンクリート製水路などの構造物や地表面に10cm以下の水平短縮変形が多数認められた（図4）。また集落の南方の水田地帯では、長さ約350 m以上にわたって、10-15 cm西側隆起と僅かの左ずれ変位を伴う地表断層があらわれた。これらの変位のセンスは、断層がおおむね北西-南東方向の圧縮応力により活動したことを示す。この地表断層の北端は、小平尾断層⁶中央部との会合点まで連続するが、小平尾断層そのものに沿う断層変位は確認できなかった。

現地での聞き取り調査によれば、これらの地表断層の出現・形成時期について、「本震の翌朝（10月24日）には小さかったが、その後に余震が起こる度に見ると大きくなってきており、27日朝の余震（*Mj* 6.1）では一層大きくなった」、あるいは「本震では僅かな跳ね上がりがあったが、直後の2回の大きな余震で大きくなった」との証言が得られた。著者らの調査でも、集落内の旧国道で見られた断層活動に伴う消雪パイプやアスファルト舗装路面の水平短縮に伴う隆起量が、10月26日午後と28日午後の計測時の間で10-15%程度大きくなったことが確認できた。

なお、上記の断層変位の一部は、明らかに地震に伴って出現したもので“地震断層”と呼ばれるべきものであるが、変位の多くは本震の後にも最大数日間にわたって成長を続け、また10月27日に発生した明らかに本断層とつながらない震源断層面上での地震（*Mj* 6.1、図1）を挟む期間にも成長が見られた。したがって本報告では、この断層活動は必ずしも直接に地震を伴ってはいない可能性があると考え、“地表断層”（surface fault）と呼ぶことにした。

旧小出町付近：旧小出町市街地の西方では、魚野川左岸の沖積低地において丘陵の斜面基部に沿って約0.4mの区間で、また市街地の南南西方でも約1kmにわたって、舗装道路や消雪パイプ、コンクリート水路、畑の表面などに10cm未満の東-西方向の短縮成分と西側隆起成分とをもつ変状がほぼ連続して認められた。これらの変状には、小平尾付近にあらわれた地表断層に伴うそれらと類似した特徴が認められる。ただし、市街地西方および南南西方の両区間ともに、背後には大規模な地すべり地形が発達しており、それらの一部は今回の地震に伴い活動していることも現地で確認できた。したがって、両区間でみられた地表変状が、背後の地すべりによる圧縮変形である可能性は必ずしも否定できない。

4.2 地震に伴う地殻変動と地表断層

防災科学技術研究所（2004a）⁸によれば、合成開口レーダーのデータ解析によって、本震および10月25日

までの一連の余震では、震央付近の東山背斜付近を中心とする地殻変動が検出されたとのことである。また同研究所(2004b)⁹⁾によれば、10月25日-11月18日までの間には、六日町断層帯の北半部から小平尾断層にかけての約20km区間において断層の活動と推測されるわずかの地殻変動も検出されたとのことである。これらの地殻変動の分布範囲とセンスおよび変動量は、上記の地表断層・地表変状と概ね一致する様に見える。さらに、本震から10月25日までの間に大きな地殻変動が検出された東山背斜付近では、報道によれば上越新幹線の魚沼トンネルや国道17号線の和南津トンネルの一部が崩壊したことが伝えられている。これらのトンネルの崩壊については、六日町断層帯で見られたような小規模な断層変位による可能性も考慮した検討が必要である。

5 おわりに

新潟県中越地震の発生は、活断層から発生する地震の予測について、2つの新たな課題を提示した。一つは、活断層で発生する固有規模の以外の地震が最大震度7の揺れと大きな災害をもたらしたことであり、古地震学的な手法による調査・評価が可能であり、国の地震調査研究推進本部においても調査・評価の主な対象とされてきた。しかし、地表に痕跡を残さない大きめの地震発生をどのように予測するかは、今後の課題として残されている。二つには、大地震に誘発された可能性のある小規模な地表断層が出現したことである。断層の変位量が20cm程度以下と小さいことから断層活動による揺れそのものは小さいと考えられる。しかし、断層変位の出現場所や発生確率の予測は困難をとまなうことから、小さな地盤変位も許容出来ない重要構造物にとっては重要な問題ともなりうる。

参考文献

- 1) 柳沢幸夫、小林巖雄、竹内圭史、立石雅昭、茅原一也、加藤碩一：小千谷地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図副)、地質調査所、1986、177p
- 2) 金 幸隆：魚沼丘陵の隆起過程と見蒲池断層の活動累積、活断層研究、24、2004、63-75
- 3) 池田安隆、今泉俊文、東郷正美、平川一臣、宮内崇裕、佐藤比呂志 編、：第四紀逆断層アトラス、東京大学出版会、2002・月、253p
- 4) 金 幸隆：六日町盆地北西縁の活断層、第四紀研究、40、2、2001、161-168
- 5) 鈴木康弘・東郷正美・渡辺満久・金 幸隆・佐藤尚登：1:25,000都市圏活断層図「十日町」、国土地理院技術資料D・1-No. 388 2001
- 6) 渡辺満久・堤 浩之・鈴木康弘・金 幸隆・佐藤尚登：1:25,000都市圏活断層図「小千谷」、国土地理院技術資料D・1-No. 388、2001
- 7) 活断層研究会編：日本の活断層-分布図と資料、東京大学出版会、1991、437p
- 8) 防災科学技術研究所：人工衛星がとらえた新潟県中部地震に伴う面的地殻変動、http://www.bosai.go.jp/amatd/nigata_insar.pdf、2004a
- 9) 防災科学技術研究所：(速報)人工衛星がとらえた新潟県中越地震後の余震に伴う地殻変動、<http://www.Bosai.go.jp/amatd/sar2.html>、2004b
- 10) 堤 浩之、東郷正美、渡辺満久、金 幸隆、佐藤尚登：1:25,000都市圏活断層図「長岡」、国土地理院技術資料D・1-No. 388、2001
- 11) 加藤碩一、山崎晴雄：信越地域活構造図、構造図、5、地質調査所、1979

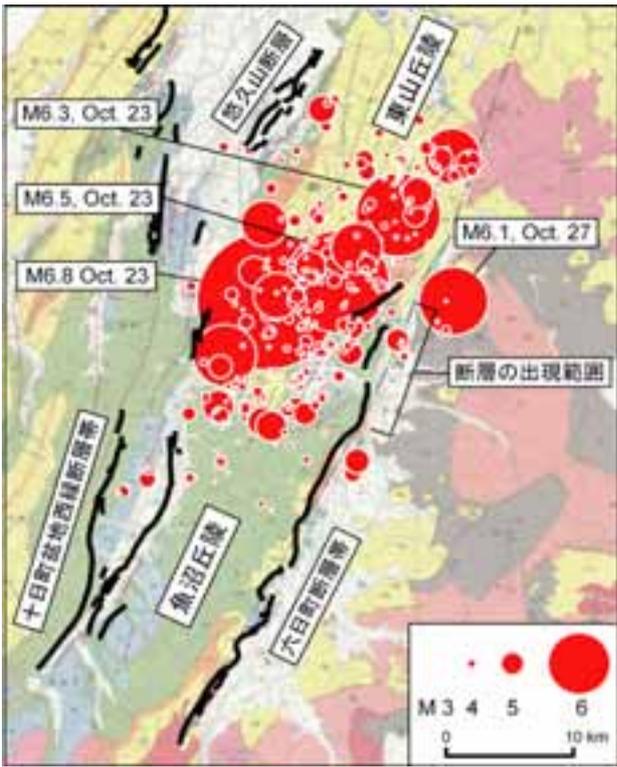


図1 新潟県中越地震の本震および余震の分布と活構造。震源は11月13日までの気象庁一元化処理による。活断層の分布は都市圏活断層図^{4, 5, 9}に基づく。地質基図は加藤・山崎 (1979)¹¹を使用。

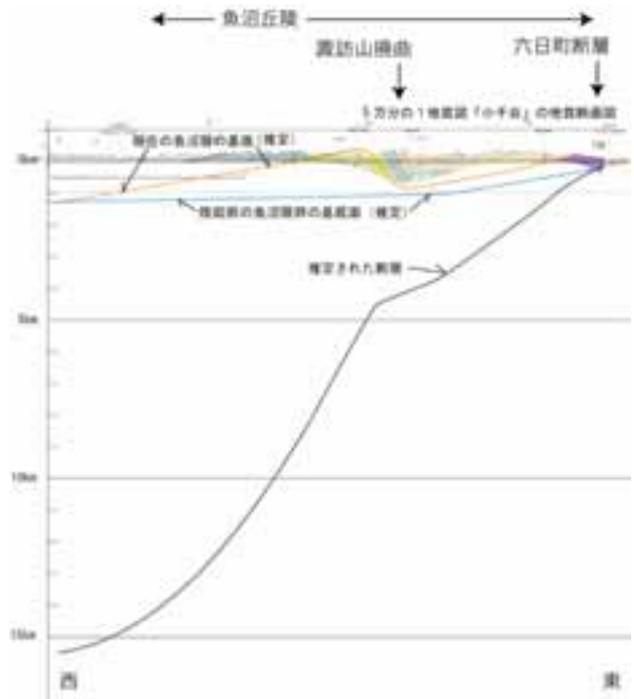


図2 バランス断面法で推定した六日町断層帯—魚沼丘陵の地下構造

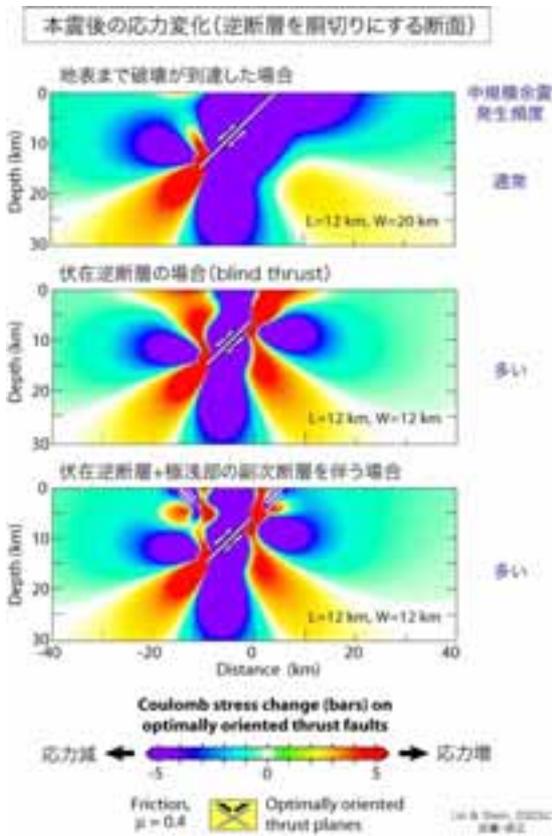


図3 逆断層活動による応力再配分の計算例

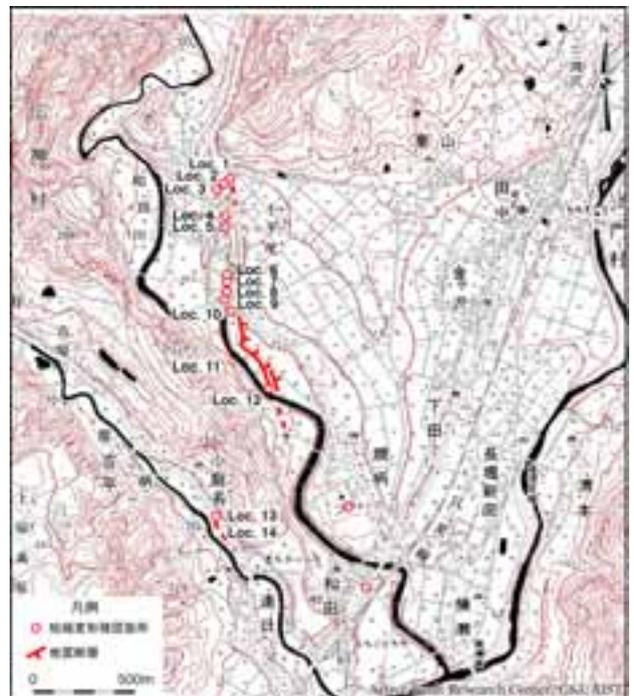


図4 六日町断層の北方に出現した地表断層。

2004年新潟県中越地震の本震と余震

平田 直¹⁾

1) 東京大学地震研究所、教授

1 はじめに

2004年10月23日17時56分（日本時）新潟県中越地方で $M_{JMA}6.8$ の地震が発生し、死者40人、負傷者約3000人、全壊住家2700棟の地震災害が発生した。この地震の起きた地域は、日本で有数の活褶曲帯で、軟弱な表層地質に覆われているため、多くの土砂災害が発生した（図1）。この地震では、23日中に M6以上の余震が3回、5.5以上が2回発生し、さらに、25日に M5.8、27日に M6.1、11月8日には M5.9の余震が発生するなど、活発な余震活動が続いた。これらの余震は、地震災害復旧の妨げにもなり、被災者は有感の余震に不安を感じる日々を過ごしている。さらに、この地震では最大震度7を記録し、強い揺れが発生したことも特徴の一つである。本震に伴う地表変位は少なく、この地域で知られている活断層との直接の対応は明瞭でない（活断層研究会、1991）。

本地震の発生機構を理解し、余震活動が活発である理由を解明するためには、まず、本震と余震の発生場所（震源）を精度良く知らなければならない。我が国では、日本全国で気象庁、防災科学技術研究所、大学が、広域の定常観測網を平均観測点間隔約20kmで展開し、地震活動がリアルタイムでモニターされている。しかし、この地域のように、地殻の水平方向の不均質性が大きく、深さが地表付近から深さ15km程度の余震分布を高精度（1km程度以下の誤差）で求めるためには、定常的な観測点からのデータだけでは足りない。また、余震活動は、本震から経過時間とともに、拡大したり移動したりすることがあるため、出来るだけ早期に臨時観測を始める必要があった。

2 緊急余震観測

地震研究所では、本震の震源過程の解明の基本となる震源断層の位置、形状、傾斜を推定し、余震活動の性質を調べるために震源域に臨時地震観測網を緊急に展開した。現地は、震災により商用電源の確保が難しく、また、土砂崩れ等によって道路が閉鎖されている場所も予想された。そこで、短期間に観測網を展開するために、乾電池で駆動できる現地収録型3成分地震計を14地点に設置した。観測資材は車で運搬したが、一部車両の入れない場所には徒歩で運搬した。そのうち9地点では、構造探査用に開発された単チャンネル型のデータロガー（データ長24bit、サンプリング周波数125Hz、4日間連続記録可能）を3台組み合わせる3成分観測を行った。その他の地点では、ハードディスクまたは、デジタルテープ収録の大容量レコーダ（16bit、100Hz、40日連続記録可能）を用いた。全ての記録装置は、GPSによって時計が校正されている。

10月23日の夕刻に本震が発生してから、観測の準備を始め、翌24日に現地に入り、夕刻からは6点の観測が始められた。25日は、さらに8地点が設置され、合計14点の観測網（緊急余震観測網）が形成された。これらの観測点のデータは、28日に回収され、引き続き観測点が増設されて11月末までの観測が継続されデータが回収された。本講演では、28日に回収された緊急余震観測によって得られたデータに基づいた成果について報告する。

3 余震分布

本地震の震源域では、新発田一小出線の西側には新潟堆積盆地が広がり、その東西で速度構造が異なる。そこで、Takeda et al. (2004)に基づいて、東側と西側の1次元速度構造モデルを作った。この構造に基づいて震源を求め（Hirata and Matsuura, 1987）たどきの観測点ごとの走時残差の平均値を観測点補正值とした。これらの観測点補正值は、14点の緊急余震観測点と、その周辺の定常観測点について求めて、24日18時から27日20時までの余震の震源を計算した。緊急臨時観測点と震央分布を日別にして図2に、震源の深さ分布を図3に示す。さらに、これらの余震震源を固定して、周辺の定常観測点補正值をもとめ、本震とM6以上の4つの余震震源の再計算を行った。これらの震源と、小区間に区切った深さ分布図を図4に示す。その結果、本震震源断層に対応する余震は、西北西へ高角に傾斜する面状に分布し、10月23日18時34分の最大

余震 (M6.5) は、それとは、平行の約5km 東南東にある別の面、さらに、4日後の M6.1の余震は本震や最大余震の震源断層面直行する低角の東南東傾斜の面状に分布することが分かる。余震分布は、以上の少なくとも3つの面上に分布していることが分かった

著者名の下に1行空白を設けて、所属を中央に記入する。フォントは本文と同じである。研究対象地域では、新発田一小出線の西側には新潟堆積盆地が広がり、その東西で速度構造が異なる。そこで、Takeda et al. (2004)に基づいて、東側と西側の1次元速度構造モデルを作った。この構造に基づいて震源を求め (Hirata and Matsuura, 1987) たときの観測点ごとの走時残差の平均値を観測点補正值とした。これらの観測点補正值は、14点の緊急余震観測点と、その周辺の定常観測点について求めて、24日18時から27日20時までの余震の震源を計算した。緊急臨時観測点と震央分布を日別にして図2に、震源の深さ分布を図3に示す。さらに、これらの余震震源を固定して、周辺の定常観測点補正值をもとめ、本震と M6以上の4つの余震震源の再計算を行った。これらの震源と、小区間に区切った深さ分布図を図4に示す。その結果、本震震源断層に対応する余震は、西北西へ高角に傾斜する面状に分布し、10月23日18時34分の最大余震 (M6.5) は、それとは、平行の約5km 東南東にある別の面、さらに、4日後の M6.1の余震は本震や最大余震の震源断層面直行する低角の東南東傾斜の面状に分布することが分かる。余震分布は、以上の少なくとも3つの面上に分布していることが分かった。本解析結果と、気象庁による一元化処理震源を比較した結果を図5に示す。24日18:00から27日12:00の間で422個の地震が比較できた。一元化震源は、本解析結果に比べ、震央は2から5km 東南東、深さは震源域の東側では浅く、西側では深めに報告されていることが分かった。

4 地質構造、深部地殻構造と震源断層分布

本震の震源地域周辺には、新発田一小出線の再活動である六日町盆地西縁断層帯とそれからステップオーバーして分布する西側隆起の小平尾断層 (おびろう) が魚沼丘陵の東縁に分布している。魚沼丘陵の北西縁には、東側隆起の悠久山 (ゆうきゅうざん) 断層が分布する。この丘陵には、日本海拡大時に形成された背弧リフトとしてたまった新潟堆積盆地が再活動して発達した褶曲と断層群が分布している (図6)。余震データに Double-Difference Tomography 法 (Zhang and Thurber, 2003) を適用して求めた震源域の速度構造をみると、本震震源断層は、高速度領域と低速度領域の境界域に位置する (図7)。27日の M6.1の余震断層も、高速度領域と低速度領域の境界域にある。一方、最大余震断層の地表への延長には、六日町盆地西縁断層帯 (新発田一小出線) が位置する (図8)。速度分布が地質構造の境界を示すとすると、これらの観測事実は、本震や余震の震源断層は、地表地質から推定される地殻の弱面が深さ15km 程度まで及んでいることを示唆する。

5 応力再配分

本震や大きな余震の震源断層が地殻内の地質構造境界やそれが再活動した活構造の深部延長を示しているとする、本地震によって大きな余震が多かったことは、次のように考えることができる。すなわち、この地域では、大きな余震に対応する広がりを持つ地殻内の弱面が予め分布していて、本震の発生に伴う応力の再配分により、近接した弱面が滑ったために、余震が発生した可能性がある。この考えの妥当性を検討するために、本震によるクーロン応力の変化を計算し、本震震源断層のすぐ東側でクーロン応力が低下して、ある程度離れているところで増加することを確かめた。また、27日の余震の震源に対応する場所でも応力の増加が認められる。これらは、仮定した断層パラメータや、地殻不均質構造の詳細に依存するが、大局的には、応力の再配分によって断層が滑りやすくなった結果余震が起きていると考えることができる。このモデルが正しければ、クーロン応力の増加部分は、東傾斜の断層に対しては、震源域の西側で浅い部分で大きくなっている。つまり、震源域の西側の浅い地震は、東傾斜であることが期待される。

6 まとめ

2004年新潟県中越地震が発生した次の日から緊急に余震観測を実施した。その結果、本震の震源断層の他に、2つの震源断層に対応する少なくとも3つの余震分布が見出された。本震と最大余震は、ほぼ平行な西北西傾斜の高角な面で、27日の余震は、それらと直交する東南東傾斜の面であった (図9)。これらは、表層地質とこの地域のテクトニクスから推定される活構造が、地殻深部15km 程度まで及んでいる可能性を示している。この地域の地殻内に存在する大規模弱面が、本震および大規模な余震による応力の再配分がきっかけとなって破壊することで、規模の大きな余震が誘発された。本地震によって規模の大きな余震が頻発した

原因が地殻構造にあるとすれば、地震発生の前に予め当該地域の調査を行うことによって、その発生を予測できる可能性がある。特に、本地震は、新潟から神戸に至るいわゆる歪み集中帯 (Iio *et al.*, 2004)に位置している。地質学的時間スケール(数百万年)でも、測地学的時間スケール(数十年から百年)でもこの地域に歪みが蓄積していたと言える。

謝辞

本講演で用いたデータは、「第160回地震予知連絡会(平成16年11月4日)資料・東京大学地震研究所」に基づいています。本調査研究は科学研究費補助金(特別研究促進費)「2004年新潟県中越地震の余震に関する調査研究」(課題番号:16800054)の補助を受けています。

9 参考文献

Hirata, N. and M. Matsu'ura (1987): Maximum likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using non-linear inverse technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50-61.

池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編(2002): 第四紀逆断層アトラス、東京大学出版会、254p.

Iio, Y., T. Sagiya, Y. Kobayashi (2004): Origin of the concentrated deformation zone in the Japanese Islands and stress accumulation process of intraplate earthquakes, *Earth Planets Space*, 56, 831-842.

活断層研究会編(1991): 新編 日本の活断層一分布図と資料、東京大学出版会、437p.

東京大学地震研究所(2004): 第160回地震予知連絡会(平成16年11月4日)資料。
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/hirata/chuetsu/0401104yotiren1.htm>

地質調査総合センター(1991)5万分の1地質図幅「長岡」.

堤浩之・東郷正美・渡辺満久・金 幸隆・佐藤尚登(2001): 1:25,000都市圏活断層図「長岡」. 国土地理院技術資料D. 1-N0. 388.

天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会(1992): 「改訂版日本の石油・天然ガス資源」. 520p.

Zhang, Z. and C. H. Thurber (2003): Double-difference tomography: the method and its application to the Hayward fault, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 1875-1889.

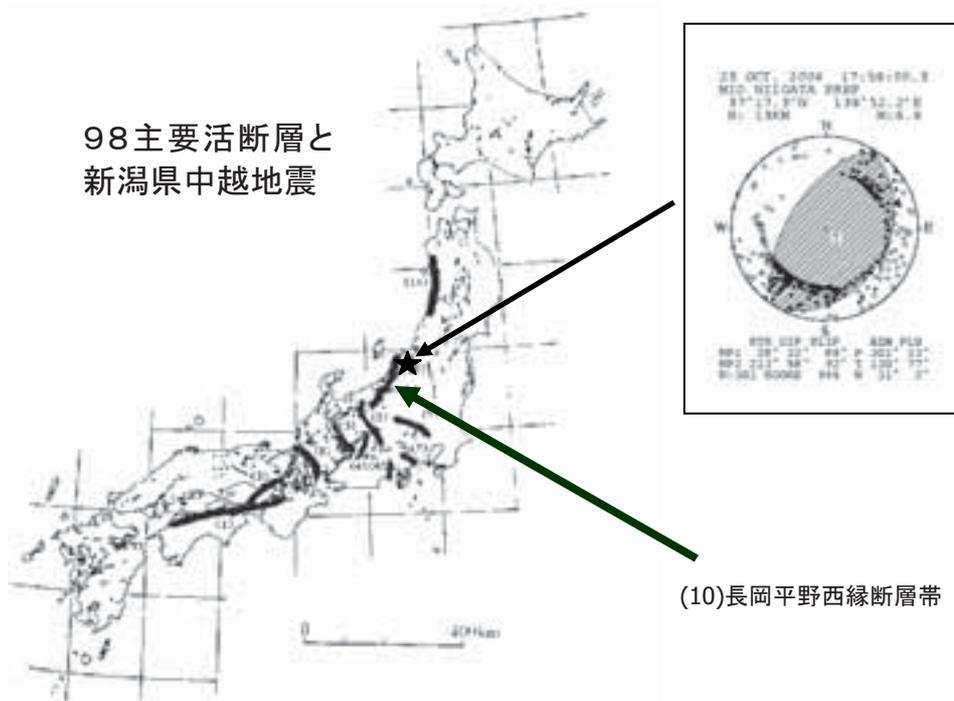


図1. 2004年新潟県中越地震の震央(★印)と発震機構解(下半球、気象庁による)。地震調査研究推進本部の選定した98の主要活断層を太い実線で示した。本地震に直接対応する活断層は知られていないが、長岡盆地西縁断層帯の東側で発生した。

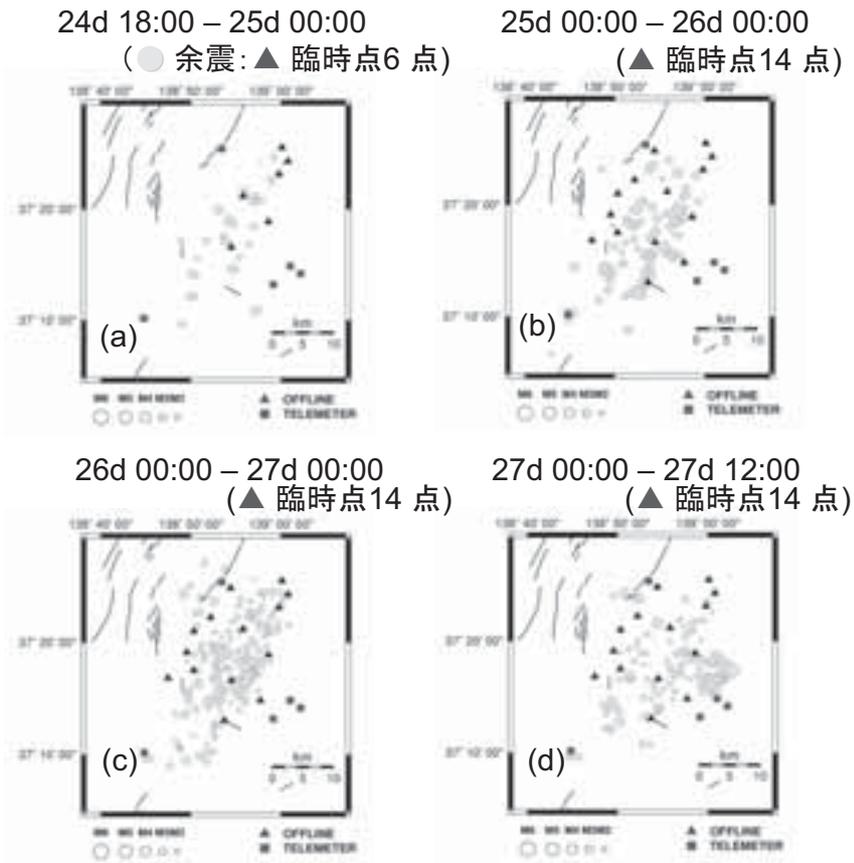


図2. 緊急余震観測点(14観測点) の設置状況と日別の余震分布

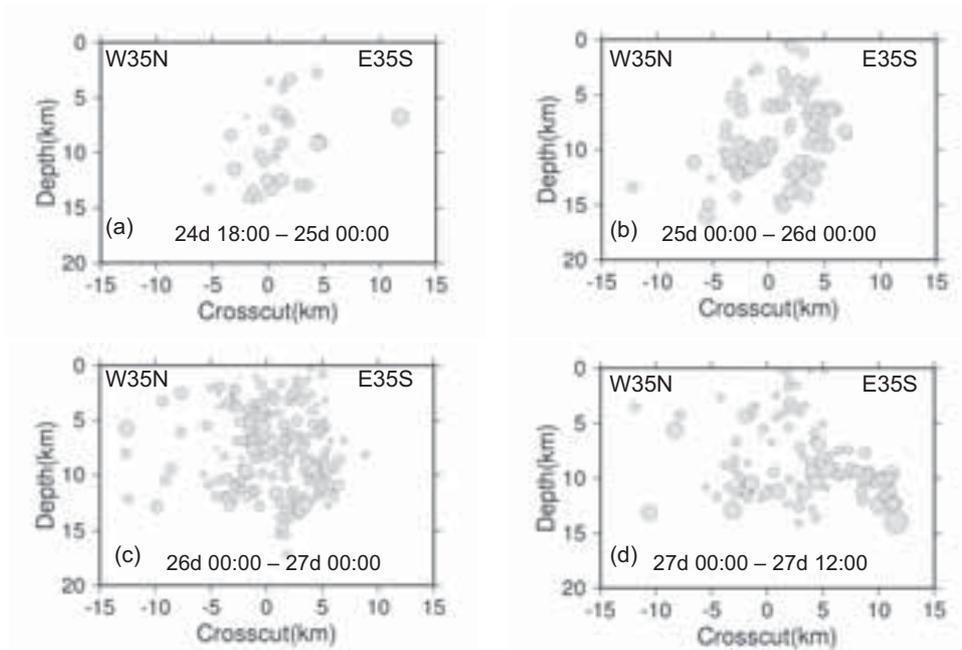


図3. 緊急余震観測点(14観測点) による日別の余震深さ分布。図2の(a)から (d)の震央に対応する深さ分布をN 3 5 Eに向かう方向で見た断面図。観測は、3成分の連続記録を行った。この解析では、気象庁1元化震源(10月30日現在) に基づいて抽出した地震を対象とした。

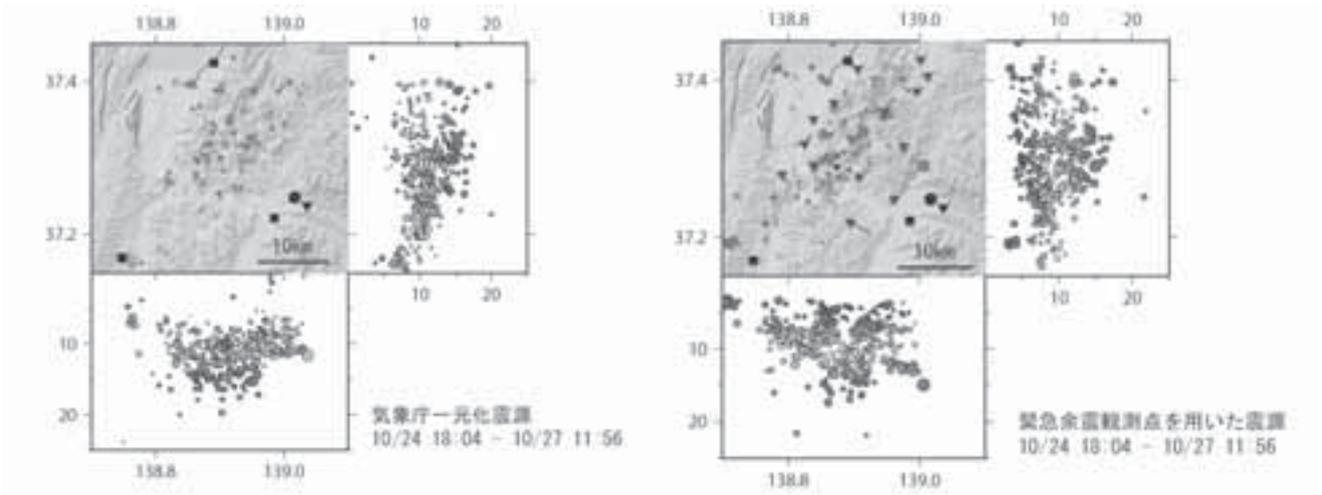


図4. 気象庁一元化震源（左）と、緊急余震観測による余震分布（右）の比較。気象庁一元化震源は、本解析結果に比べ、震央は2から5km 東南東、深さは震源域の東側では浅く、西側では深めに報告されている。

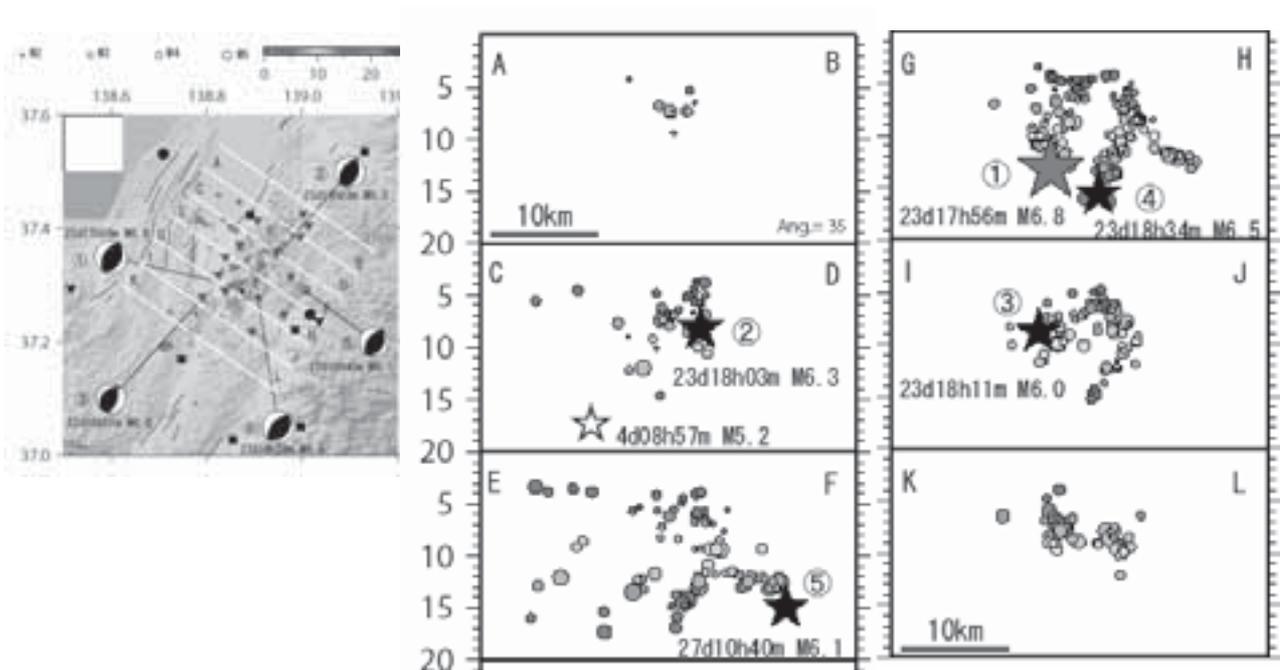


図5. 緊急余震観測によって求められた余震分布(断面図)。(酒井慎一・他、2004年11月5日予知連資料) 左上の図の小区間(A-B から K-L)の震源を南西からみた断面を下の図に示す。本震（赤い★）及び大きな余震（黒い★）は、緊急余震観測データを用いて定常観測点のデータを補正して求めた。



図6．震源域周辺の活断層（池田安隆・他編、2002、堤浩之・他：国土地理院（都市圏活断層図）2001による）。六日町盆地西縁断層帯、小平尾断層が、魚沼丘陵の当園に分布している。これらは、西側が隆起する逆断層。魚沼丘陵の北西縁には、東側隆起の悠久山断層が分布。震源域中南部では西傾斜の断層、北部では東傾斜の断層が推定されている。断層の名称は、都市圏活断層による。

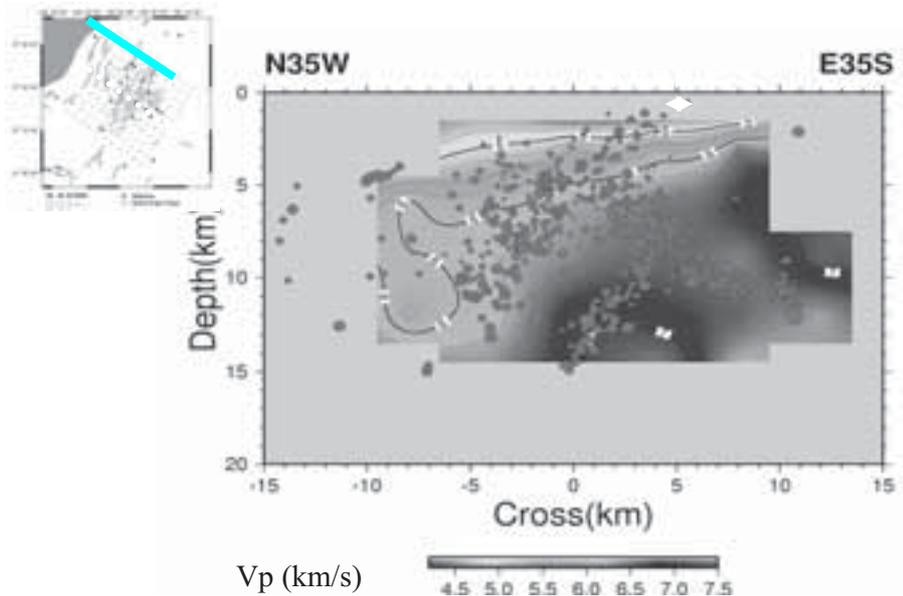


図7．トモグラフィー解析によって求められたP波速度構造（加藤愛太郎・他、2004年11月5日予知連資料）。57点の観測点（臨時観測：14点、定常：43点）用いて解析した。左上の図の水色の実線の断面を南西から見た。

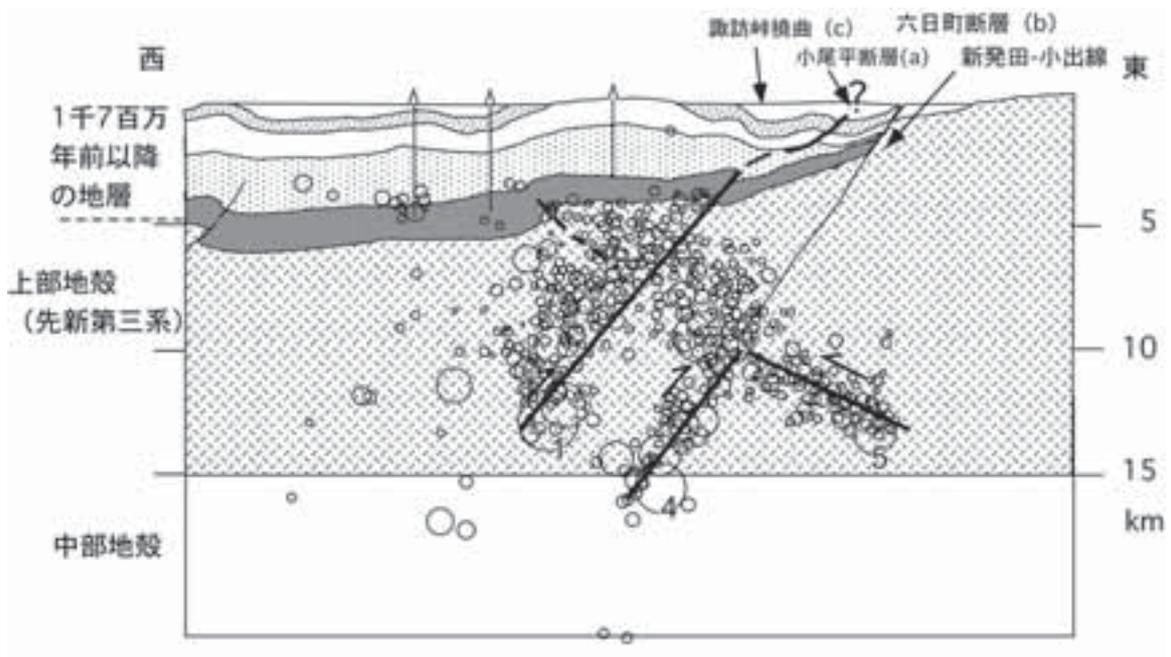


図8. 平成16年新潟県中越地震震源域の地質構造推定断面（佐藤比呂志・他、2004年11月5日予知連資料）。太い実線は余震も含めた推定震源断層。1: 本震（10月23日17時56分 M6.8）、2: 余震（23日18時3分 M6.3）、3: 余震（23日18時11分 M6.0）、4: 最大余震（23日18時34分 M6.5）、5: 余震（27日10時40分 M6.1）、○は余震分布、△はボーリング位置の断面への投影。ボーリング資料は、地質図幅「長岡」（地質調査総合センター、1991）、天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会（1992）による。地下の構造は、今後の地殻構造探査によって解明される。

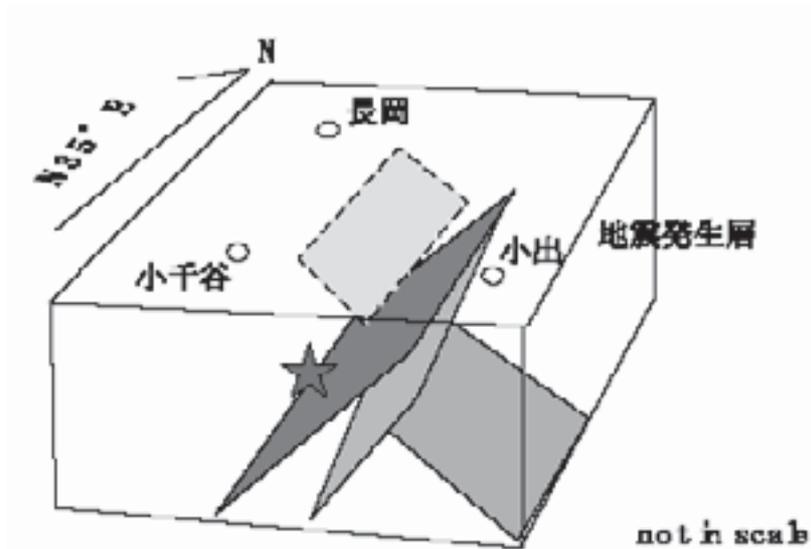


図9. 震源断層の空間配置概念図（佐藤比呂志・他、2004年11月5日予知連資料）。震源断層の空間配置の大まかな概念を示したもの。赤の断層は本震、オレンジ色は最大余震、緑色は27日 M6.1 の余震のそれぞれに対応する震源断層を示す（断層の大きさは、破壊領域に対応するものではない）。その他に例えば黄色で示すような余震の震源断層のある可能性もある。

2. 強震動

なぜ新潟県中越地震の地震動は大きかったのか？

青井真¹⁾・森川信之²⁾・本多亮²⁾・関口春子³⁾・功刀卓⁴⁾・藤原広行⁵⁾

- 1) 防災科学技術研究所、主任研究員
- 2) 防災科学技術研究所、特別研究員
- 3) 産業技術総合研究所、研究員
- 4) 防災科学技術研究所、任期付研究員
- 5) 防災科学技術研究所、プロジェクトディレクター

1 はじめに

2004年新潟県中越地震(37.289N,138.870E,13.1 km, Mj6.8; JMA; Mw6.5; F-net)では、死者40名、負傷者3000人、住家の全半壊一万棟以上(12月8日現在、消防庁)など、甚大な被害を生じた。この地震では、川口町・小千谷市(図1)で震度7(含む相当値)を記録するなど、断層の近傍、特に上盤側(平野側)で地震動・被害が大きかった。以下では、K-NET・KiK-net及び気象庁等のデータ等を元に、新潟県中越地震の地震動及び震源過程の特徴について報告する。

2 観測された地震動の空間分布および距離減衰

2004年新潟県中越地震の強震波形はK-NET¹⁾、KiK-net²⁾あわせて587観測点で記録され、発生後約12時間で大部分の記録が回収された。図2に示したように、やや短周期(周期0.5秒から1.0秒)～やや長周期(周期5秒から10秒)における速度応答スペクトルは、越後平野(新潟平野)内の広域で数十～数百cm/sと、非常に大きな値が観測された。これは、震源断層近傍であったことに加え、越後平野を覆う厚い堆積層により地震波が増幅されたことによるものである。また、今回の地震は震源から200～300km離れた関東地方でも有感であった。震央距離に比して強く揺れた地域は地震基盤の深度が大きい箇所と一致しており、越後平野と同様に厚い堆積層が地震動を増幅しているものと考えられる。特に、越後平野から関東平野中央部に向かって伸びる低地帯(利根川低地)、さらには栃木県中央部の鬼怒川低地など、地震基盤の深度が1000mを超えるような地域(=堆積層が厚く地震波速度が遅い)と地震動の間には強い相関がある(長周期成分では特に顕著)ことが分かる。

図3に、本震及び10/23 19:45 (Mj5.7)の余震に関して、観測された最大加速度(以下、PGA)及び最大速度(以下、PGV)と、司・翠川(1999)³⁾による距離減衰式の比較を示した。ただし、PGVは工学的基盤での値に補正して比較を行う。震源近傍において観測値は経験式値に比べ非常に大きくなっている。このうち、震度7相当を記録したK-NET小千谷では多くのMj5以上の余震でも、距離減衰式から期待されるPGA、PGVに比べ標準偏差を超えて大きかった。このことは、今回の一連の地震に伴う大きな地震動の原因として観測点のサイト特性が重要な役割を果たしていることを示唆する。

3 大振幅を記録した観測点の記録

図4に、本震で大きな加速度を記録したK-NET小千谷(NIG019)とK-NET十日町(NIG021)で観測された加速度波形及び積分して得られた速度波形を示した。K-NET小千谷ではPGAが1500galと大きかっただけでなくPGVも136cm/sで、震度7に相当する揺れであった。K-NET十日町(相当震度6強)ではPGAは1700galと大きかったが、卓越周期が5Hz前後と高いためPGVは65.6cm/s、1Hzローパスフィルターをかけたものは20cm/sにも満たず、速度はさほど大きくはなかった。震度7が記録された川口震度観測点(気象庁)では波形記録は得られていないものの計測震度計のデータが残されており、PGAが1772gal、1分間の記録全長の卓越周期は1.0ないし1.3秒であったことから、PGVも非常に大きかったことが示唆される。震源近傍の上盤側は褶曲帯が発達しており、向斜部に位置する観測点では数千mにも及ぶ堆積層があると考えられている⁴⁾。地震動が大きかった地点は、北西傾斜の逆断層の上盤側(直上及び西側)に集中している。

図5、6には、気象庁の小千谷観測点(以下、JMA小千谷)における波形と共に、1995年兵庫県南部地震(Mj7.3, Mw6.9)及び2000年鳥取県西部地震の代表的な観測波形及び速度応答スペクトルを示した。K-NET小千谷のパルス幅は0.6-0.7秒程度で、兵庫県南部地震の断層近傍記録の1秒前後よりは多少周期が短めである。

K-NET 小千谷における、周期1秒より長周期における応答スペクトルのレベルは、葺合（大阪ガス）とほぼ同程度、JR 鷹取と比べると概ね半分程度であった。表1、図7に、兵庫県南部地震以降の代表的な記録に関して、PGA、PGV 等を示した。近年1g を越える大加速度が比較的頻繁に記録されている。これは、観測点が稠密になったこと、多様な地盤条件で観測がなされていること、観測機器の進歩により高周波数まで記録されるようになったことなどによるものと考えられる。大加速度記録の中には、例えば2003年宮城県沖地震（表・図に④⑤で表示）のように、加速度に比して速度が極端に小さいため、通常の構造物に対しては被害を及ぼしにくいと考えられる記録もある。それに対し、今回の地震の断層近傍で記録された波形は、鳥取県西部地震(Mj7.3, Mw6.6)や兵庫県南部地震（表・図に③⑧⑨で表示）同様、1Hz 前後の木造・中低層構造物の被害を引き起こしやすい周波数帯の地震波が卓越しており、速度・加速度・計測震度ともに大きく、破壊力のある地震動であったと考えられる。

4 小千谷における強震波形：K-NET と JMA の比較

4.1 両観測点の波形記録の相違点

JMA 小千谷は K-NET 小千谷の約700 m 北側に位置しているが、本震の際の震度は6強であった。加速度・速度波形共に K-NET 小千谷の方が1.5倍程度大きい、周期1秒より長周期に限れば、波形・振幅共に良い対応が見られる（図5）。これは、図8に太実線示した、K-NET 小千谷と JMA 小千谷の本震記録のスペクトル比が1Hz より低周波では概ね1.0で、両者のスペクトルレベルはほぼ同じであることから分かる。一方、1Hz より短周期側では、1.5Hz 前後に顕著なピークが、7-8 Hz に谷があり、K-NET 小千谷と JMA 小千谷の震度値、PGA、PGV の違いの主要因となっている。

4.2 非線形挙動

本震時の大振幅の非線形挙動を考察するために、本震以前に起きた小さな地震、本震、本震後一週間以内に起きた小さな余震に関して、水平動と上下動のスペクトル比（以下、H/V）を、図9に示す（本節で、『小さな』地震とは200gal 以下を意味する）。本震以前の小さな地震による H/V では3Hz にピークを持つことから、線形挙動時の K-NET 小千谷の地盤は3Hz にピークを持っていると考えられる。一方、本震時の H/V は1.5Hz を中心とする緩やかなピークを持っており、本震時の大きな加速度の入射により剛性が低下し、長周期化したと考えられる。さらに、小さな余震の H/V のピークは本震前に比べ若干長周期に寄っており、剛性が完全には戻っていない。ただし、K-NET 小千谷において明瞭な液状化の痕跡は見られない。JMA 小千谷に関しても、本震、余震の H/V のピークがそれぞれ1.5-2 Hz・6 Hz 前後であり、非線形挙動をしていたことが分かる。また、解析に用いた本震前の地震記録が2記録しかないため、本震前との比較は困難であるが、K-NET 小千谷と同様に地震直後に剛性が元に戻らない現象が起きているとすると、図9（b）の細実線で8 Hz に見られるピークは、線形挙動時のピークに相当する可能性がある。両観測点では本震においてスペクトルのピークが共に1-2Hz に長周期化（低周波数化）しているが、その比も長周期化している（図8）。このことは、JMA 小千谷に比べ K-NET 小千谷の方が長周期化による1.5 Hz 付近の増幅効果が強かったことを意味する。

図8に灰色の太実線で示した、小さな余震に関する両観測点のスペクトル比は3Hz 前後に顕著なピークが、7 Hz に谷があり、それぞれ K-NET 小千谷と JMA 小千谷の地盤増幅特性のピークに対応している。ただし、剛性が完全には戻っていない状態でのピークであるため、本来のピークはより高周波数であると考えられる。

JMA 小千谷に比べ K-NET 小千谷の地盤特性の方が低周波数にピークを持っていることから、低周波数成分が卓越する大きな地震では K-NET 小千谷の方が大きな地震動となる（概ね300 gal、20 cm/s を越える場合）。一方、小さな地震では JMA 小千谷の方が最大振幅が大きくなる傾向にあり、これは PGA においてより顕著である。

計測震度を求める際のフィルター⁵⁾は約0.6Hz にピークを持っているため、長周期化の影響により計測震度に効く周波数帯にシフトし、結果として非線形挙動が計測震度値を大きくする効果を果たした可能性がある。

5 震源過程

震央距離50km 以内に位置する観測点のうち、表層の堆積層による影響が比較的少ないと考えられる K-NET 及び KiK-net の7観測点（図1）の強震記録を選択し、線形波形インバージョン法⁶⁾により震源インバージョン解析を行った。記録された加速度波形に0.1から0.6Hz のバンドパスフィルターをかけ、積分することにより得られた速度波形から S 波部分10秒間を切り出し（S 波到達時刻1秒前から9秒後）、データとした。

解析に用いる断層モデルの破壊開始点は防災科研 Hi-net により推定された37.284N、138.8793E、深さ13.3km (再検測) を、メカニズムは F-net⁷⁾ 記録によるモーメントテンソル逆解析から得られた走向角・傾斜角を211°・52°、断層面は防災科研 Hi-net の余震群の広がり及び予備解析の結果を参考にして30km x 18km とした(図1)。断層面上のすべり破壊過程は、時間・空間的に離散化して表現されている。空間的には2km 四方の小断層に分けた。時間的には各小断層において破壊開始点から一定速度で広がる同心円が到達してから時間幅1秒のスムーズランプ関数を0.5秒間隔で6つ並べることによって表現した。各小断層からの理論地震波形は、一次元速度構造モデル⁸⁾ を仮定し、離散化波数法と反射透過係数法により点震源の波形を計算し、これに小断層内部の破壊伝播の効果を付加することにより求めた。

図10に推定されたすべり分布を、図11に観測波形と合成波形の比較を示す。波形は観測点ごとに最大値で規格化されている。破壊開始点付近で、最大のすべり4.5m が得られた。すべりの大きな破壊は、上向き南方向及び真上方向に進展している。F-net モーメントテンソル解による震源深さは5km であり、Hi-net の走時による震源深さに比べ浅い。このことは、破壊が浅い方向に進展したと整合する。モーメント M_0 は 1.68×10^{19} Nm ($M_w = 6.8$)、最適モデルを与える断層破壊モデルの「第一タイムウィンドウをトリガーする同心円の伝播速度」は2.0km/s であった。

6 議論とまとめ

新潟県中越地震では、断層の近傍、特に上盤側(平野側)において、司・翠川(1999)³⁾ による距離減衰式により期待される地震動に比べ非常に大きく、被害も甚大であった。ここでは、震度7(相当値)の波形が得られた K-NET 小千谷に注目して、その理由について議論する。

一般的に逆断層の地震では、上盤側の観測点は断層面からの距離が近いため地震動が大きくなる。さらにこの地方は、インバージョンテクトニクスにより褶曲帯が発達しており、向斜部に属する観測点においては数千 m にもおよぶ非常に厚い堆積層により地震波が増幅される。厚い堆積層を考慮した一次元モデルによる余震の波形合成(周期1.5秒より長周期)を行うと、小千谷における大きな地震動がある程度は再現される。

より直接的な要因として、浅い地盤構造の影響が考えられる。K-NET 小千谷から700 m しか離れていない JMA 小千谷で記録された波形に比べ最大振幅が約1.5倍大きいことから、極表層の非常に軟弱なシルトによる増幅効果を挙げることが出来る。また、非線形挙動の影響により、線形時にはその増幅特性が3Hz にピークを持つ地盤の特性が長周期化し、概ね1.5Hz にピークをもつ波形となることが震度を大きくする要因の一つとなったと考えられる。

以上挙げたいくつかの要因が重なり、新潟県中越地震に伴う地震動は大きくなったと考えられる。今後、これらの要因の寄与を定量的に見積もるに当たり、表層から深部までの詳細な地下構造が非常に重要である。

謝辞：地質との関連に関しては林広樹氏に、液状化に関しては藤川智氏に情報提供いただきました。山中浩明氏には、小千谷の地下構造をご提供いただきました。解析には、気象庁、JR、大阪ガスのデータを使用させていただきました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara, and Y. Okada (2000). New strong-motion observation network : KiK-net, EOS Trans. AGU 81, F863.
- 2) Kinoshita, S., Kyoshin net (k-net) (1998). Seism. Res. Lett., 69, 309-332.
- 3) 司宏俊、翠川三郎 (1999). 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、No.523、pp.63-70.
- 4) 小林巖雄・大野隆一郎 (1988). 新第三系：新潟油田地域、日本の地質4「中部地方I」、共立出版、65-71.
- 5) 気象庁 (1996). 震度を知る - 基礎知識とその活用 -、株式会社ぎょうせい.
- 6) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton (1983). Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1553-1583.
- 7) F-net, www.fnet.bosai.go.jp/freesia/index-j.html
- 8) 鶴川元雄、石田瑞穂、松村正三、笠原敬司 (1984). 関東・東海地域地震観測網による震源決定法について、国立防災科学技術センター研究速報.
- 9) 川瀬博 (1998). 断層近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能、第10回日本地震工学シンポジウム、パネルディスカッション資料集、29-34.

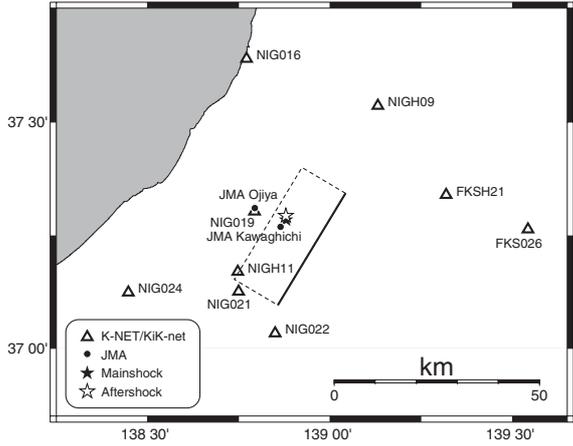
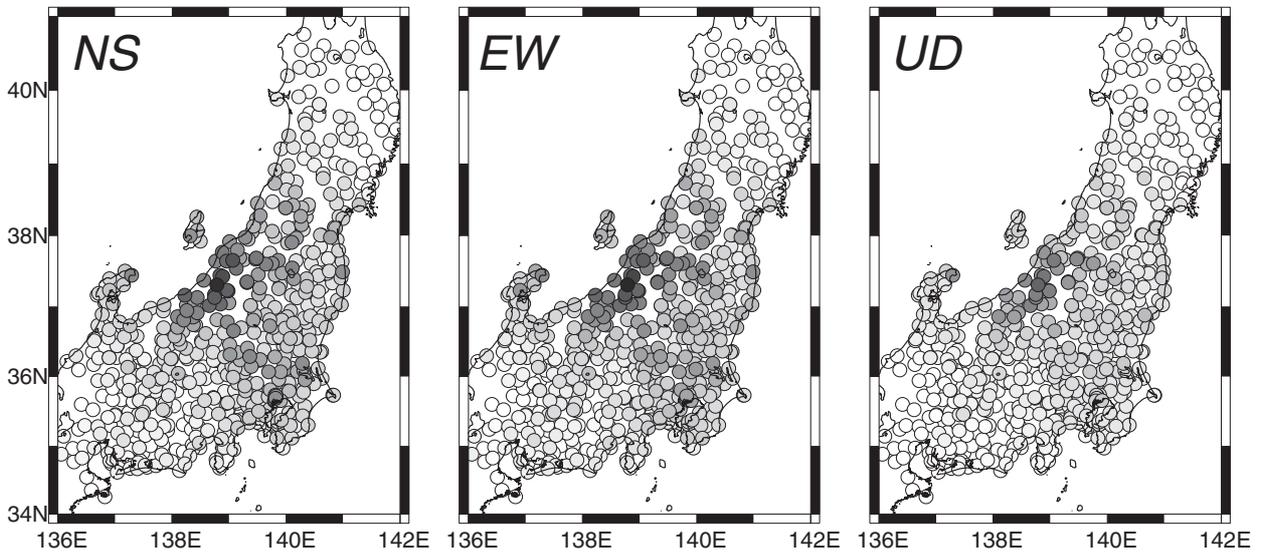


図1. 解析に用いた観測点の地図。△で示したものはK-NET, KiK-net、●で示したものは気象庁震度観測点である。長方形で示したのは、解析に仮定した本震の断層面で、★は本震の破壊開始点 (Hi-net)、☆は解析に用いた余震(10/23 19:45)の震央。

(A) S_v $h = 0.05$
average of 1-2 Hz



(B) S_v $h = 0.01$
average of 5-10 sec

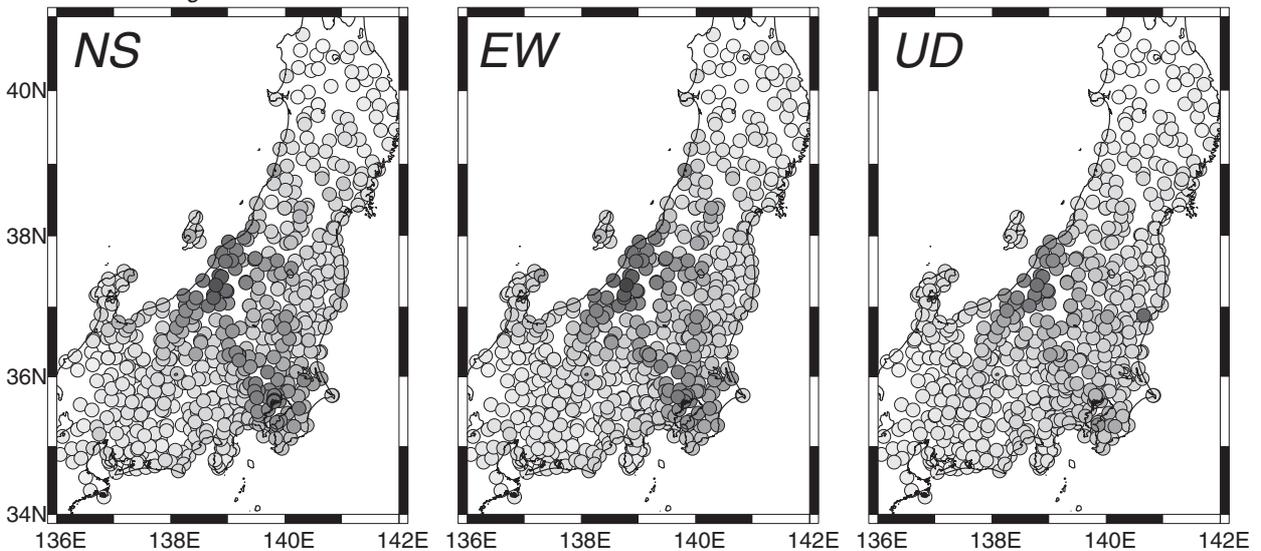


図2. 2004年新潟県中越地震(Mj6.8, Mw6.6)の(A) 周期0.5秒から1.0秒の速度応答スペクトル(減衰5%)の平均値の空間分布、(B) 周期5秒から10秒の速度応答スペクトル(減衰1%)の平均値の空間分布。

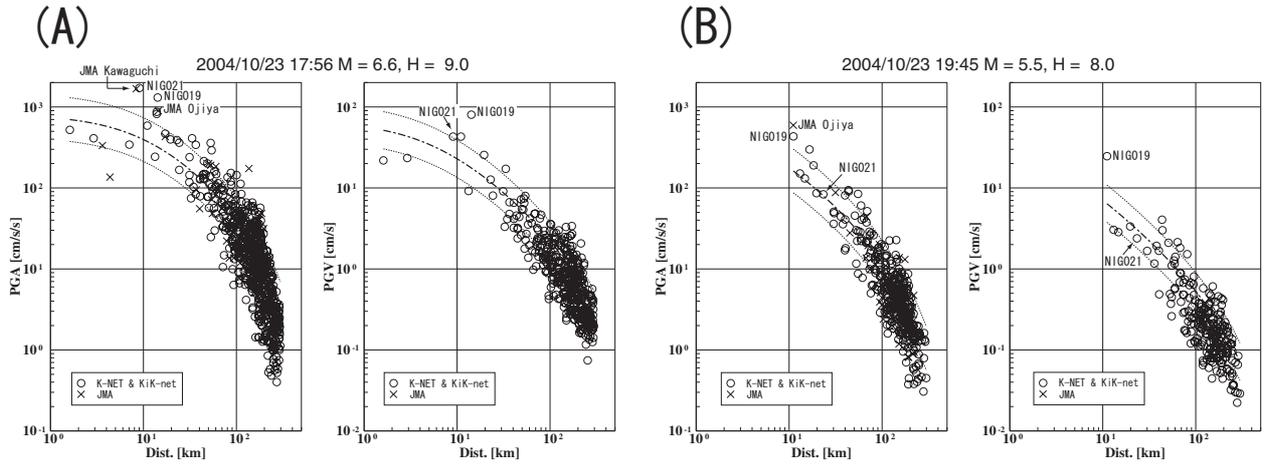


図3. 最大加速度及び最大速度の距離減衰式（司・翠川, 1999）と観測値の比較。地表における最大加速度と工学的基盤 ($V_s=600\text{m/s}$) 上における最大速度を示した。(A) 本震。断層最短距離を求める際に仮定した断層面は図1に示した。仮定したモーメントマグニチュードはF-netのモーメントテンソル解による6.6。(B) 2004/10/23 19:45の余震。Mw=5.5で、深さ8 km (F-net) の点震源を仮定。

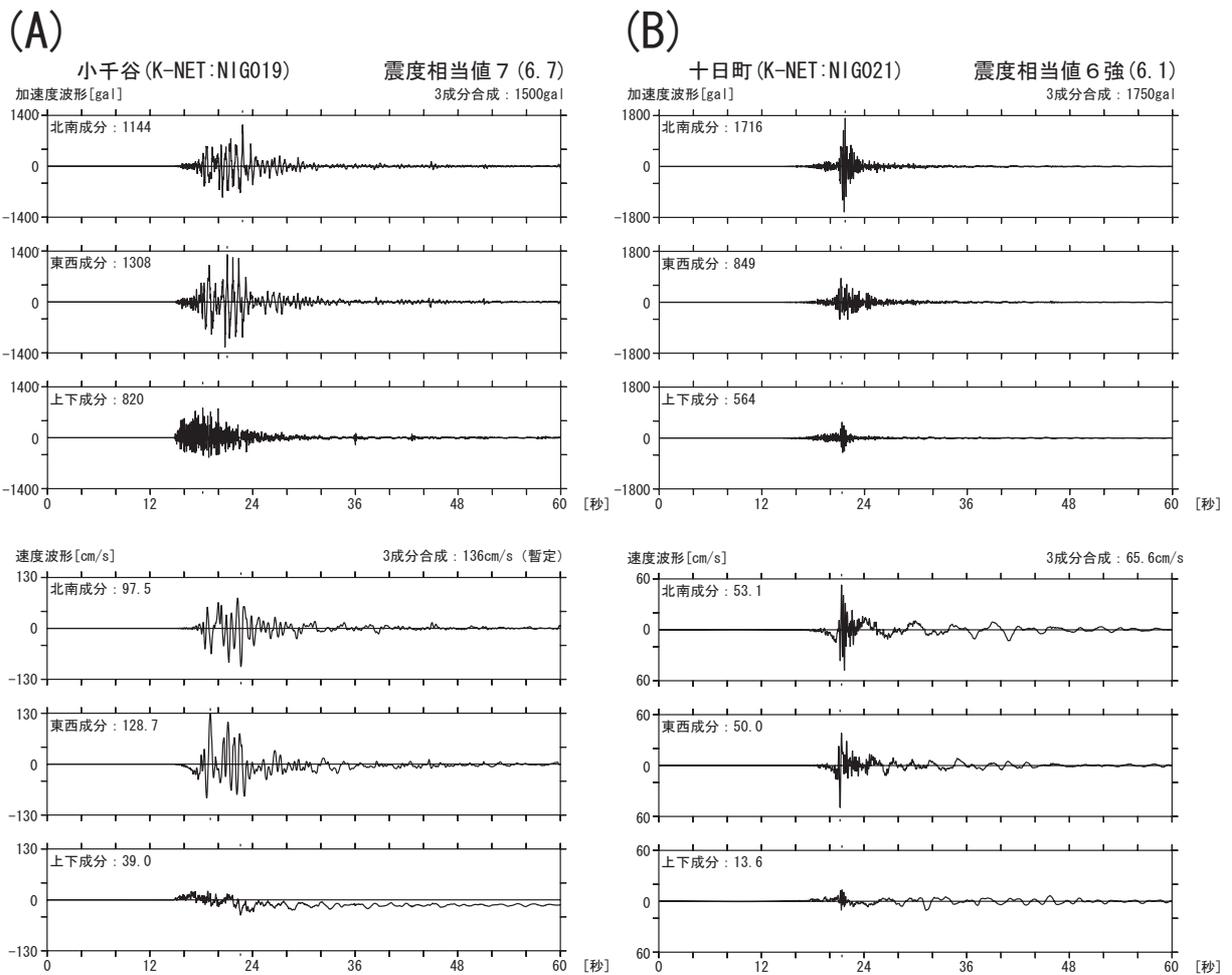


図4. 2004年新潟県中越地震 (Mj6.8, Mw6.6) の(A) K-NET小千谷 (NIG019)、(B) K-NET十日町 (NIG021) で観測された加速度波形及び積分して得られた速度波形。

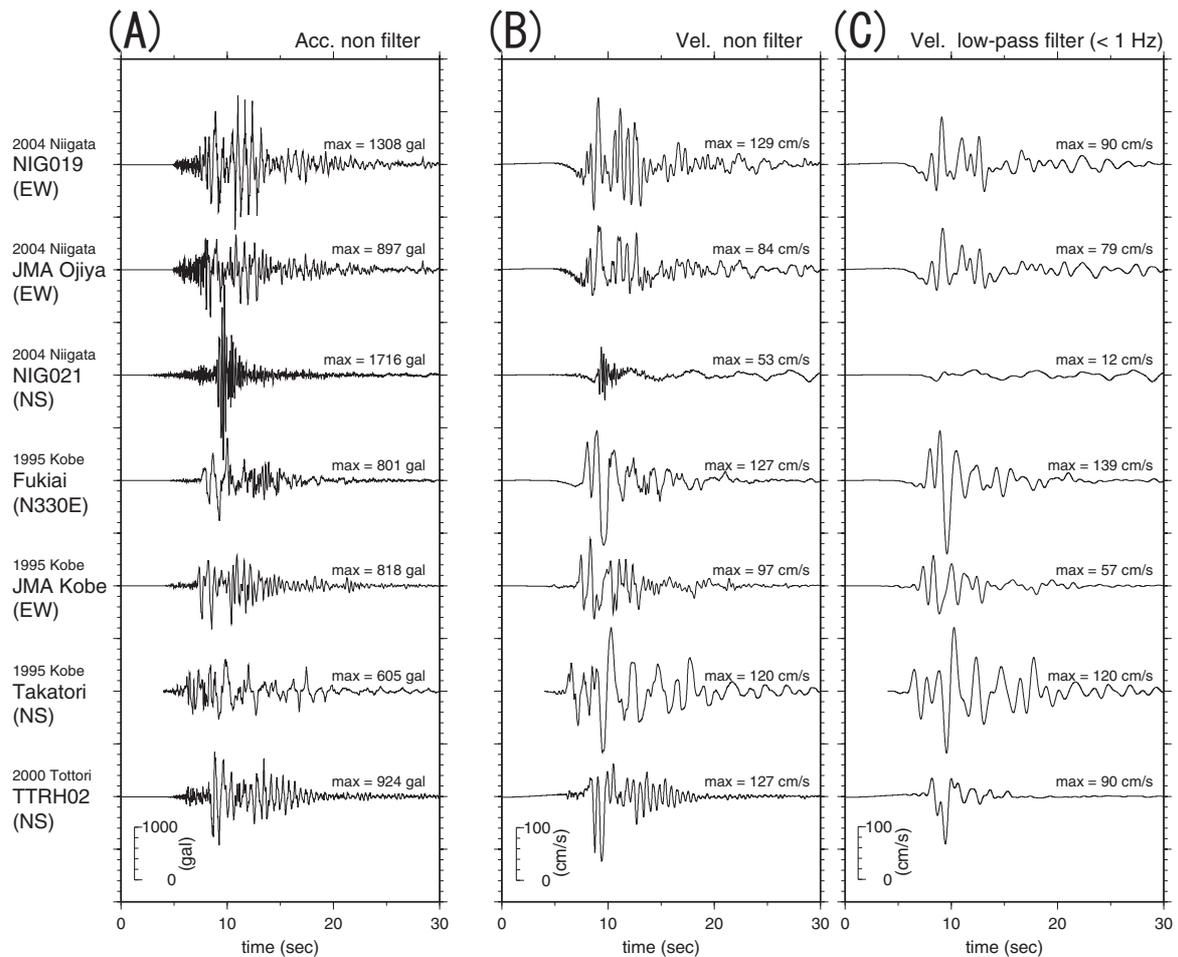


図5. 2004年新潟県中越地震(Mj6.8, Mw6.6)のK-NET小千谷(NIG019)、JMA小千谷、K-NET十日町(NIG021)、1995年兵庫県南部地震(Mj7.3, Mw6.9)の葦合(大阪ガス)、神戸海洋気象台、鷹取(JR)及び2000年鳥取県西部地震(Mj7.3, Mw6.6)のKiK-net日野(TTRH02)の(A)加速度記録、(B)速度記録、(C)1 Hzローパスフィルター速度記録。

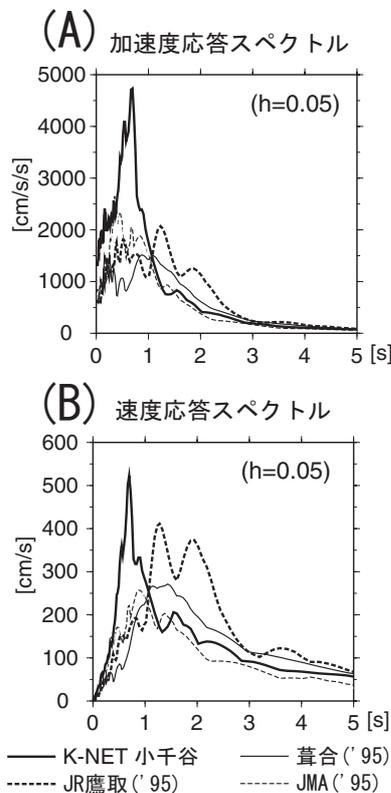


図6. 2004年新潟県中越地震(Mj6.8, Mw6.6)のK-NET小千谷(NIG019)、1995年兵庫県南部地震(Mj7.3, Mw6.9)の葦合(大阪ガス)、神戸海洋気象台、鷹取(JR)の(A)加速度応答スペクトル、(B)速度応答スペクトル。

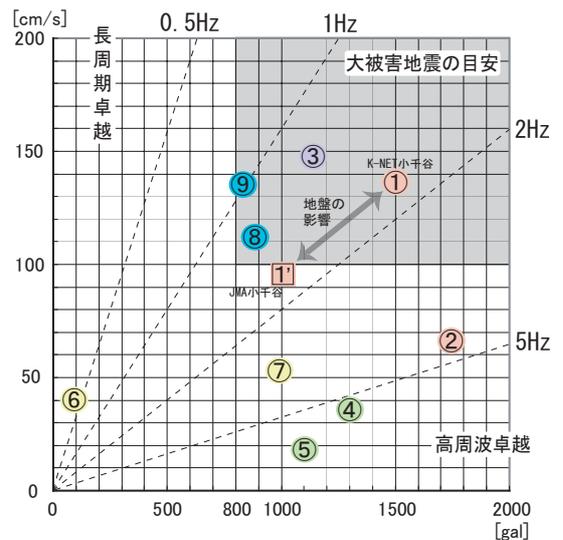


図7. 表1に示した地震のPGA-PGVダイアグラム。灰色のハッチは、PGVが100cm/s以上かつPGAが800gal以上の領域で、川瀬(1998)⁹⁾が示した、構造物に大きな被害が生じる目安である。点線で示したのは、等価卓越周波数(PGA/PGV/2π)が、0.5, 1.0, 2, 5Hz。

表1. 兵庫県南部地震以降の代表的な地震記録のPGA, PGV, 震度(含む、相当値)。最右欄に示した数字は、図7のダイアグラムの数字に対応する。

地震名	日時(JST)	観測点名	最大加速度 [gal]				最大速度 [cm/s]				備考	
			北南	東西	上下	3成分	北南	東西	上下	3成分		
新潟県中越地震	2004/10/23. 17:56	K-NET小千谷(NIG019)	1144	1308	820	1500	97.5	128.7	39	136	震度相当値7	①
		JMA小千谷	779	897	730	1007	65.6	84.1	28.1	95.3	震度6強	①'
		JMA川口	1141.9	1675.8	869.6	1722	NA	NA	NA	NA	震度7	
		K-NET十日町(NIG021)	1716	849	564	1750	53.1	50	13.6	65.5	震度相当値6強、加速度大	②
鳥取県西部地震	2000/10/06. 13:30	KiK-net日野(TTRH02)	923.9	755.9	775.9	1142	127.1	83.3	56	147.2	震度相当値7	③
宮城県沖地震	2003/05/26. 18:24	KiK-net住吉(IWTH04)	729.6	723.1	1280	1304.5	31.4	31.8	17	36.6	高周波(短周期)卓越	④
		KiK-net陸前高田(IWTH27)	887.9	555.8	636.6	1098	17.2	12	9.47	18.2	高周波(短周期)卓越	⑤
十勝沖地震	2003/09/26. 04:50	K-NET苫小牧(HKD129)	86.7	72.9	33	89.3	31.4	38.9	16	40	長周期(低周波)卓越	⑥
		K-NET広尾(HKD100)	809.5	969.8	461.2	985.8	43.5	46.7	24.3	52.4		⑦
兵庫県南部地震	1995/01/17. 05:46	神戸海洋気象台(JMA)	617.3	818	332.2	891	80.3	96.5	42.9	112.1		⑧
		葺合(大阪ガス)	688(N240E)	800.7(N330E)	NA	835.8	59.6	126.9	NA	134.6	上下動なし。2成分合成。	⑨

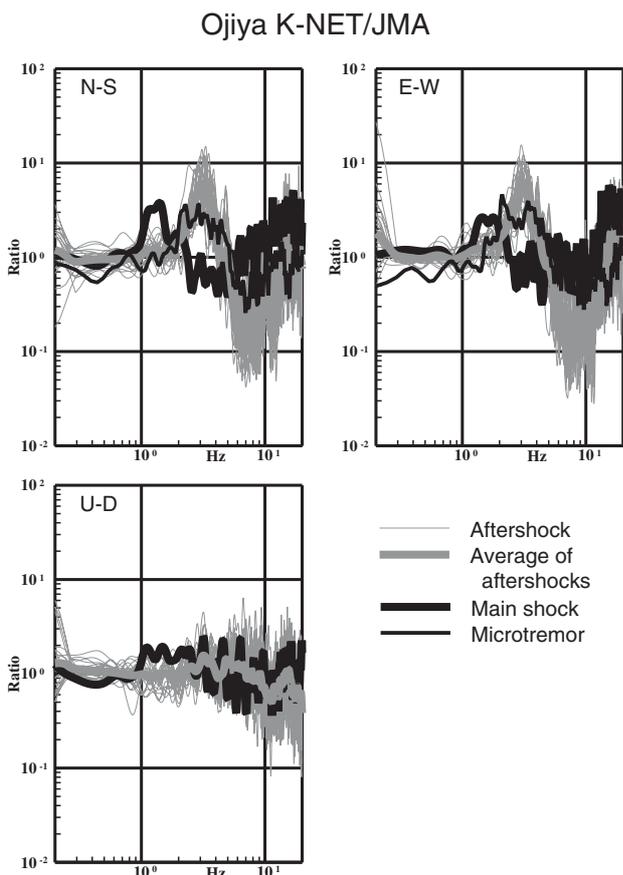


図8. K-NET小千谷とJMA小千谷のスペクトル比(K-NET/JMA)。スペクトル比の図は、黒の太実線が本震、灰色の細実線はPGAが200gal以下の小さな余震(灰色の太実線はその平均)を示す。黒の細太線は、微動の各観測点のH/Vの比を表している。

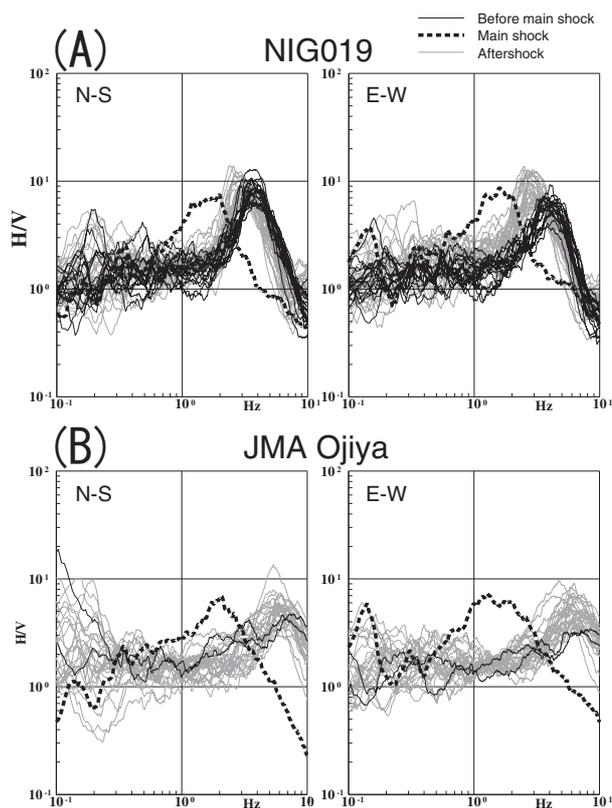


図9. (A) K-NET小千谷と(B) JMA小千谷におけるH/V(水平動と上下動のスペクトル比)。黒実線は本震以前に起きたの小さな地震(PGAが200gal以下)、黒の点線が本震、灰色の実線は本震後2日間に起きた小さな余震を意味する。

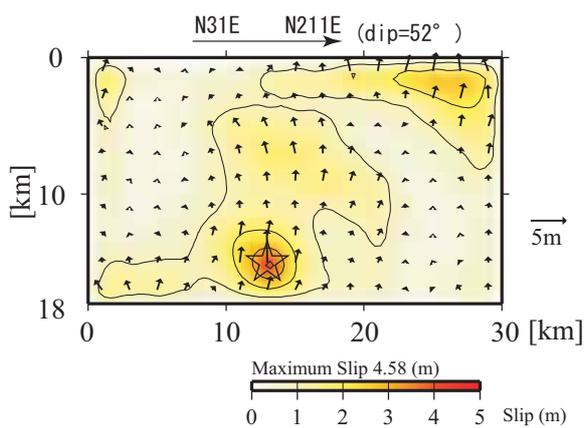
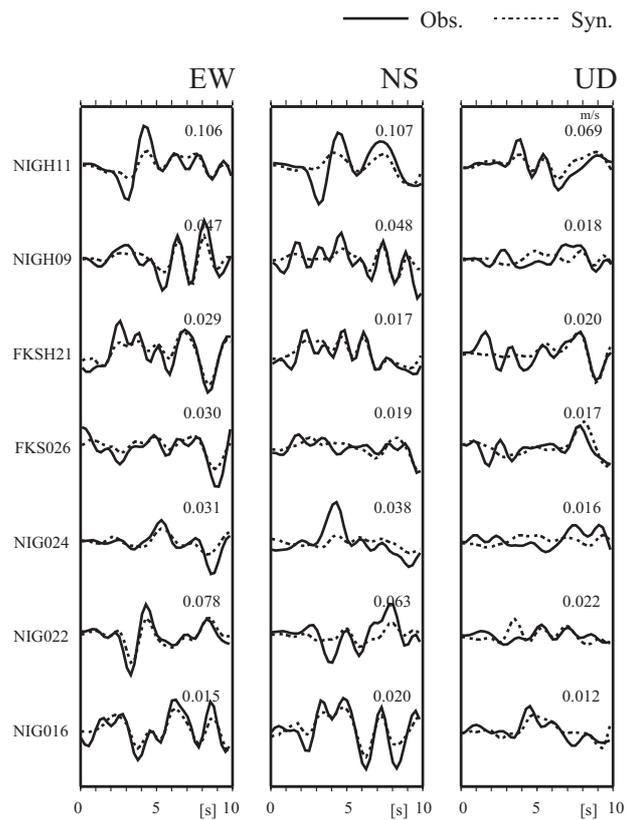


図10. 逆解析により推定された断層面上のすべり分布。☆印は破壊開始点、矢印はすべりの方向を示す。

図11. 観測波形と合成波形の比較（速度波形、0.1-0.6Hz）。振幅は各観測点ごとに規格化されており、各波形の右上に示した値は最大速度値 (m/s)。



強震動と建物被害

境有紀¹⁾、小杉慎司²⁾、大月俊典²⁾、中村友紀子³⁾

1) 正会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科

2) 筑波大学第三学群工学システム学類

3) 正会員 新潟大学工学部建設学科

1 はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、数多くの震度観測点で震度6弱以上の非常に大きな震度を記録した(表1)。特に本震では川口町川口で震度7を記録し、また、度重なる余震でも多くの観測点で震度6弱以上を観測した。防災科学技術研究所のK-NET, KiK-netでも同様に数多くの点で震度6弱以上の高震度が観測され、本震ではK-NET 小千谷で震度7相当を記録した。そこで、本震で震度6弱以上を記録した観測点について、波形が回収され、強震動の性質の検討が可能な防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net、気象庁観測点の全点と震度計の一部の観測点周辺を対象として、主として家屋など建物の被害調査を行った。そして、調査した建物被害と観測された震度および強震動の性質との対応性について検討した。



図1 調査した強震観測点

2 被害調査概要

調査を行った地点の位置と本震で記録された計測震度を図1に示す。川口町震度計と K-NET 小千谷の2点で震度7、JMA 小千谷、K-NET 長岡支所、K-NET 十日町の3点で震度6強を記録し、これ以外の7点で震度6弱となっている。これら震度6弱以上の12点と震度5強を記録した点の一部の2点を加えた計14点の強震観測点周りの被害調査を行った。調査は、強震観測点を中心とした半径200m 以内の全ての建物を対象とし、地盤被害、崖崩れなどによるものを除いた強震動による被害を対象とした。

3 強震観測点周辺の様子

調査を行った強震観測点周辺(半径200m 以内)のうち本震で震度6弱以上を記録したものについて、その概要を紹介する。より詳細については、URL1)を参照されたい。

- ・ JMA 小千谷(震度6強(本震の計測震度、以下同じ)) : 観測点は、消防署建物(写真1)の裏に設置。半径200m 以内には170棟程度の建物があり(写真2)、大きな被害を受けた建物は、全壊した木造建物が2棟(写真3, 4)。ただしいずれも非常に古く、用途も倉庫、あるいは作業所と思われる。やや大きな被害を受けた木造家屋(写真5)、鉄筋コンクリート造建物(写真6)が1棟ずつある。屋根瓦の家屋は少ないが、その多くに屋根瓦の被害。その他にブロック塀の転倒、道路の陥没。
- ・ K-NET 小千谷(震度7) : 観測点は、小千谷小学校(写真7)の敷地の端にあり、すぐ隣は田んぼになっ

表1 地震の諸元と震度6弱以上の観測点

地震発生日時	D	M	震度6弱以上の観測点
10月23日17:56	13km	6.8	7: 川口町 K小千谷, 6強: 小千谷市 山古志村 小国町 K長岡 K十日町, 6弱: 十日町市 堀之内町* 中里村 守門村* 川西村 越路町 刈羽村 長岡市 栃尾市 三島町 広神村* 入広瀬村* K長岡 KiK加茂 K小出
" 18:11	12km	6.0	6強: 小千谷市, 6弱: 越路町 小国町
" 18:34	14km	6.5	6強: 川口町 十日町 小国町 K十日町, 6弱: 川西町 小千谷市 六日町** 松代町 堀之内町* 広神村* 大和町** 安塚町 入広瀬村* 中里村 K小出
" 19:45	12km	5.7	6弱: 小千谷市 K小千谷
10月27日10:40	12km	6.1	6弱: 広神村* 守門村* 入広瀬村* K小出 KiK長岡

D: 震源深さ, M: マグニチュード(いずれも暫定値), *: 現魚沼市, **: 現南魚沼市

ている（写真8）。小千谷小学校は、非構造壁に軽微にひび割れが見られ、渡り廊下に被害がある程度。隣の小千谷市民体育館の外壁とガラスに被害。半径200m 以内には120棟程度の建物がある（写真9）。半壊程度の家屋が数棟あるが、大きな被害を受けた建物はない。ただし、半径200m のすぐ外側には数棟の全壊、倒壊家屋がある（写真10, 11）。屋根瓦の家屋は少ないが、その多くに屋根瓦の被害。その他に塀の転倒、電信柱の傾き。

- ・ **中里村震度計（震度6弱）**：震度計は、役場建物（写真12）の脇に設置。役場建物の1階柱の1本にやや大きなせん断ひび割れ（写真13）。周辺には、140棟程度の建物があるが（写真14）、大きな被害建物はなく、軽微な被害建物が数棟程度の被害。
- ・ **十日町市震度計（震度6弱）**：震度計は、役場建物（写真15）の裏に設置。半径200m 以内には、120棟程度の建物があるが（写真16）、1階の駐車スペースが傾いた木造家屋が1棟（写真17）。役場建物のすぐ隣の鉄骨造建物の外壁、ガラスが大きな被害を受けているが（写真18）構造躯体ではない。その他、外壁に軽微にひび割れが見られる家屋が数棟、非構造壁にやや大きなひび割れが見られる鉄筋コンクリート造が1棟、ブロック塀の転倒、道路の陥没、ガラスの破損、ショッピングセンターの外壁の落下。
- ・ **K-NET 十日町（震度6強）**：観測点は、南中学校（写真19）の敷地の端に設置。南中学校は、非構造壁に軽微なひび割れ、エキスパンションジョイントの衝突による軽微な被害。半径200m 以内には、50棟程度の建物があるが（写真20）、ガラスの破損、屋根瓦のずれ、鉄骨造の非構造壁の軽微なひび割れ程度の被害。
- ・ **K-NET 小出（震度6弱）**：観測点は、タンクの脇に設置（写真21）。半径200m 以内には、170棟程度の建物があるが（写真22）、外壁にわずかなひび割れやモルタルの落下がある家屋、壁にわずかなひび割れがある体育館がある程度の被害。
- ・ **K-NET 長岡支所（震度6強）**：観測点は、丘の上にある防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所建物（写真23）の横の崖をやや下った草むらの中に設置。周辺は地盤の被害がひどい（写真24）。半径200m 以内は、50棟程度の建物があるが（写真25）、多くの建物が何らかの被害を受けている。ただし、大きな被害を受けた建物は、崖崩れによって倒壊した家屋（写真26）のみで、それ以外は、屋根瓦のずれ、ガラスの破損の被害。その他には、大きな岩の落下、塀の転倒、電信柱の傾き。
- ・ **K-NET 長岡（震度6弱）**：観測点は、千手小学校（写真27）の敷地の端に設置。半径200m 以内には、240棟程度の建物があるが（写真28）、大きな被害はなく、屋根瓦のずれ、家屋の壁に軽微なひび割れ、ブロック塀の傾き、灯籠の転倒。
- ・ **JMA 長岡（震度6弱）**：観測点は長岡市役所建物の幸町分室（写真29）の脇の駐車場に設置。半径200m 以内には、120棟程度の建物があるが（写真30）、被害は屋根瓦のずれ（ただし割合は少ない）、外壁の軽微なひび割れ程度。
- ・ **KiK-net 加茂（震度6弱）**：観測点は若宮中学校（写真31）の裏手の崖下に設置。半径200m 以内には、140棟程度の建物があるが（写真32）、軽微なひび割れが見られる家屋、石垣の損傷が見られる程度。
- ・ **栃尾市震度計（震度6弱）**：震度計は消防署建物（写真33）の内部の倉庫に設置。半径200m 以内には、200棟程度の建物がある（写真34）。大きな被害建物はないが、非構造壁が落下した鉄骨造建物（写真35）、非構造壁にやや大きなひび割れが入った鉄筋コンクリート造（写真36）がそれぞれ1棟。その他はガラスの破損、外壁にわずかなひび割れ程度の軽微な被害。
- ・ **川口町震度計（震度7）**：震度計は川口町役場建物（写真37）のすぐ裏手に設置。半径200m 以内には、230棟程度の建物がある。甚大な被害が生じており、全ての建物について詳細な記録を行い、被害レベルも中程度以下（木造は一部損壊、鉄筋コンクリート造、鉄骨造は小破以下）の判定も行った。被害分布を図2に、被害レベルの割合を図3に示す。全体の16%が全壊または大破で、全体の73%を占める木造建物だと全壊率は20%に達した（写真38, 39）。全壊率20%は、福井地震当時の倒壊率に換算するとほぼ30%に対応し²⁾、被害レベルは震度7相当と言える。ただし、これらのほとんどが老朽化した非常に古い家屋や1階が商店で1階の剛性が極端に低くなっているものであり、比較的新しい建物はほとんど被害を受けていない（写真40）。また、非木造建物に大破以上の被害を受けた建物はない（非構造壁が大きな被害を受けた中破の被害建物はある）。

4 建物被害と強震記録の対応性

調査を行った観測点周辺について、計測震度などの地震動強さ指標、被害状況を表2に示す。被害レベルは木造建物被害状況から判断した。非常に大きな計測震度や地動最大加速度にも関わらず、さほど大きな被害は生じていない。そこで、波形が回収された K-NET、KiK-net、JMA 観測点について弾性加速度スペクトル（減衰定数5%、水平2方向ベクトル合成）を図2に示す。そのほとんどは0.5秒以下の短周期が卓越した地震動であることがわかる。ただし、K-NET 小千谷は卓越周期が0.5秒よりやや長く、他の記録とやや性質が異なる。震度6強以上の記録と1995年兵庫県南部地震の JR 鷹取、葺合と比較すると、建物の大きな被害を引

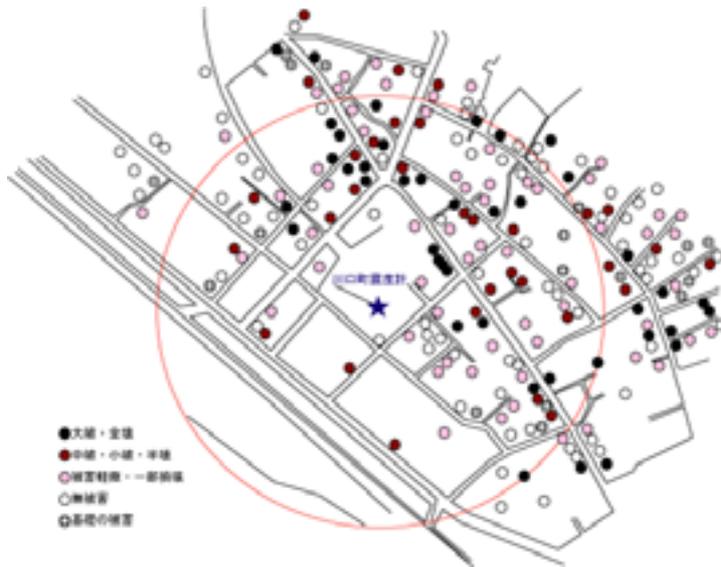


図2 川口町震度計周辺の建物被害分布

き起こす1～2秒という周期帯³⁾は、1995年兵庫県南部地震の記録の半分以下であることがわかる。よって、今回の地震の地震動は、0.5秒以下の短周期が卓越し、計測震度や地動最大加速度は非常に大きな値となる³⁾が、建物の大きな被害を引き起こす性質のものではなかったと考えられる。表2には、建物の大きな被害を引き起こす1～2秒応答などを基した提案する算定法による震度³⁾も示しているが、こちらは実際の被害レベルとほぼ対応している。

5 まとめ

強震観測点周り（半径200m 以内）の木造家屋を中心とした被害調査を行い、地震動と建物被害の関係について検討した。その結果、今回の地震で発生した地震動は、0.5秒以下の短周期が卓越し、計測震度や地動最大加速度は非常に大きな値となるが、建物の大きな被害を引き起こす性質のものではなかったと考えられる。

謝辞

防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の強震記録を使用させていただきました。1995年兵庫県南部地震の JR 鷹取、葺合はそれぞれ JR 総合技術研究所、大阪ガスより提供していただきました。JMA の強震記録は気象庁より提供していただきました。

被害調査の際、現地の方々には、被災されていたにもかかわらず、様々なご協力をいただきました。

参考文献および URL

- 1) 境有紀, 大月俊典, 小杉慎司, 中村友紀子, 新潟県中越地震で発生した地震動と建物被害, <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/ngc.htm>, 2004.10.
- 2) 諸井孝文, 武村雅之, 1995年兵庫県南部地震による気象庁震度と住家全壊率の関係, 地震2, 第52巻, 11-24, 1999.
- 3) 境有紀, 神野達夫, 瀨瀬一起, 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第585号, 71-76, 2004.

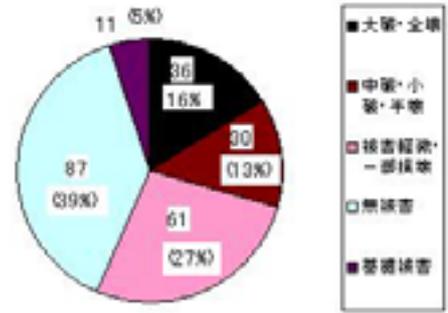


図3 川口町震度計周辺の建物被害レベルの割合

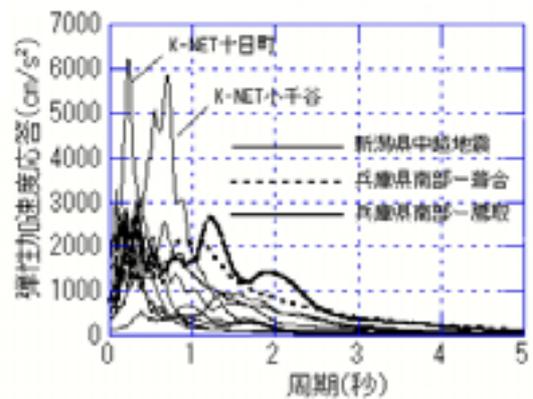


図4 弾性加速度応答スペクトル (減衰定数5%、水平2方向ベクトル合成)

表2 調査を行った観測点の地震動強さ指標と被害状況

観測点	地震動強さ指標				被害レベル	木造建物被害状況
	計測震度	PGA	PGV	提案震度		
K-NET小千谷	6.73	1500.7	133.4	6.29	6弱	全壊建物数棟(やや範囲外)
JMA小千谷	6.34	973.3	98.6	6.03	6弱	全壊建物数棟
K-NET十日町	6.19	1746.5	65.6	5.24	5強	軽微な被害数棟
K-NET長岡支所	6.10	912.0	71.4	5.75	6弱	軽微な被害多数
KiK-net加茂	5.65	412.0	28.8	5.32	5強	軽微な被害数棟
K-NET小出	5.54	639.3	39.7	5.02	5強	軽微な被害数棟
JMA長岡	5.53	424.6	38.3	4.93	5強	軽微な被害数棟
K-NET長岡	5.50	542.7	51.0	4.93	5強	軽微な被害数棟
JMA六日町	5.45	153.0	27.8	5.00	5強	軽微な被害数棟
川口町震度計	(7)	-	-	-	7	家屋の20%程度が全壊
十日町市震度計	(6弱)	-	-	-	6弱	全壊家屋数棟
中里村震度計	(6弱)	-	-	-	5強	軽微な被害数棟
栃尾市震度計	(6弱)	-	-	-	5強	軽微な被害やや多い
小出市震度計	(5強)	-	-	-	5強	軽微な被害数棟

PGA: 地動最大加速度 (cm/s²)、PGV: 地動最大速度 (cm/s)



写真1 JMA 小千谷の脇にある消防署建物



写真2 JMA 小千谷周辺の様子



写真3 倒壊した木造建物



写真4 全壊した木造建物



写真5 やや大きな被害を受けた木造建物



写真6 やや大きな被害を受けた鉄筋コンクリート造建物



写真7 K-NET 小千谷の脇にある小千谷小学校



写真8 K-NET 小千谷の設置状況



写真9 K-NET 小千谷周辺の様子



写真10 倒壊した木造倉庫建物



写真11 大きな被害を受けた木造家屋



写真12 中里村震度計の脇にある役場建物



写真13 中里村役場建物の1階柱のせん断ひび割れ



写真14 中里村震度計周辺の様子



写真15 十日町市震度計の脇にある役場建物



写真16 十日町市震度計周辺の様子



写真17 1階駐車スペースが傾いた家屋



写真18 非構造部材が大きな被害を受けた鉄骨造建物



写真19 K-NET 十日町の脇にある南中学校



写真20 K-NET 十日町周辺の様子



写真21 K-NET 小出の設置状況



写真22 K-NET 小出周辺の様子



写真23 K-NET 長岡支所近くの研究所建物



写真24 地盤の被害



写真25 K-NET 長岡支所周辺の様子



写真26 崖崩れによって大きく傾いた家屋



写真27 K-NET 長岡の脇にある千手小学校



写真28 K-NET 長岡周辺の様子



写真29 JMA 長岡の脇にある長岡市庁舎分室建物



写真30 JMA 長岡様子



写真31 KiK-net 加茂の近くにある若宮中学校



写真32 KiK-net 加茂周辺の様子



写真33 栃尾市震度計が設置されている消防署建物



写真34 栃尾市震度計周辺の様子



写真35 外壁が崩落した鉄骨造建物



写真36 非構造壁にやや大きな被害が見られたRC造建物



写真37 川口町震度計の脇の役場建物



写真38 川口町震度計周辺の様子



写真39 川口町震度計周辺の様子



写真40 川口町震度計周辺の様子

2004年新潟県中越地震の余震および微動の観測

山中浩明¹⁾，元木健太郎¹⁾，福元俊一²⁾，高橋寿幸²⁾

1) 東京工業大学・大学院総合理工学研究科

2) 東京ソイルリサーチ

1. はじめに

2004年10月23日新潟県中越地震はM6.8の内陸の浅発地震であり，新潟県小千谷市，川口町，山古志村を中心とした比較的狭い地域で大きな被害を生じた。この地震直後にK-NETや気象庁により強震記録が公開され，被災地では大きな最大加速度・速度が得られていることが非常に早い段階でわかった。こうした点を鑑み，著者らは本震発生直後から，小千谷市および川口町での強震動特性を評価し，被害との関係を解明する基礎的な資料を得ることを目的として，同地域で余震および微動の観測を実施した。ここでは，観測の概要と結果の一部について説明する。

2. 余震および微動の観測

観測は，10月25日から29日に行った。10月25日午前中に上越，柏崎経由で長岡に向かい，夕方には小千谷市に入ることができた。現地に到着した後，直ちに地震計を設置し始めた。この日の深夜までかかって9地点に地震計を設置した。これらの9観測点は，図1の観測点1-9で示されているように小千谷市中心部から長岡市の間に展開された。さらに，26日の午前中には一部の観測点を撤収し，小千谷市に新たに地震計を設置した（観測点10-15）。その後，川口町へ入ることを試みたが，通行規制が厳しく，渋滞も激しくなり，川口町の調査は後日とした。27日には，小千谷市および長岡市において微動のアレイ観測および単点観測を行った。28日になって，小千谷市から川口町に入ることができ，川口町内の4地点に機器を設置することができた（図1の観測点K1-4）。29日午前中まで観測を実施し，すべての調査・観測を終えた。

小千谷市中心部の余震観測点のうち，観測点10は山地にあり，表層地質は第三紀砂岩もしくは砂礫となっている（柳沢・ほか，1986）。しかし，その付近にある小規模な墓地での墓石の転倒率は約7割と高かった（図2）。観測点11付近の中子墓苑での墓石の転倒率は2割程度と少ない（図3）。一方，観測点7は小千谷総合病院の近くの観測点であり，病院の建物のうちの古い3階建てのRC建物の柱にせん断亀裂がみられた（図4）。また，その付近の成就院では，図5に示すように約9割の墓石が転倒していた。この寺は崖上にあり，その影響の可能性もあると考えられる。観測点14の船岡公園は小高い丘の麓にあり，観測点付近では図6に示すようにコンクリート製のベンチのスラブが跳躍したような跡があった。また，20cmぐらいの石もソケット部からずれていた。

各余震観測点では，データロガー（白山工業 SH8000）と地震計（アカシ 6A3）が設置された。これらの機器はバッテリーで数日間連続駆動するので，機器の設置を迅速に行うことができた。余震観測では11台の機器を用意し，設置場所を変えながら観測を行ったので，観測点のうちのいくつかで観測期間が一晩だけの地点もある。

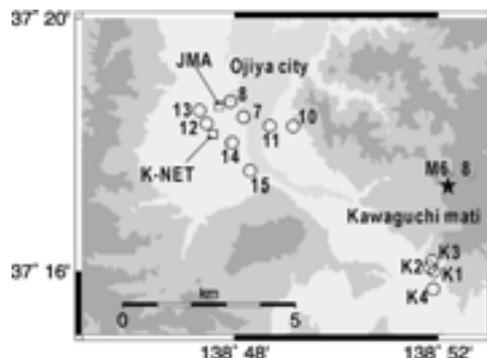
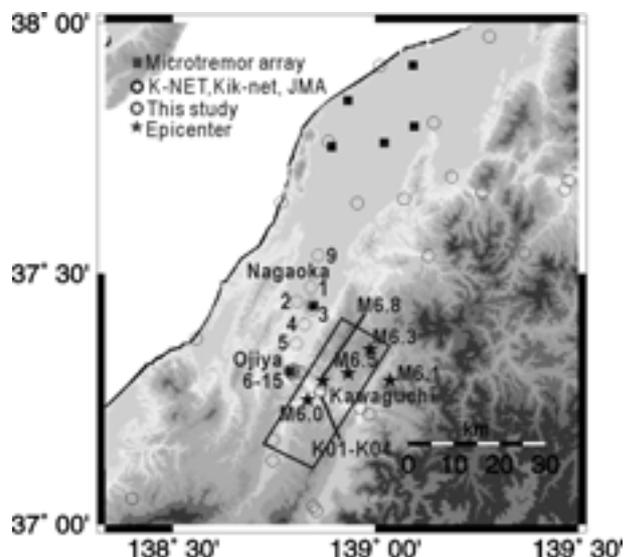


図1：余震観測点の位置



図2：観測点10付近の墓地



図3：観測点11付近の墓地



図4：観測点7付近の小千谷総合病院



図5：観測点7付近の成就院の墓地



図6：船岡公園（観測点14）でのベンチや石の跳躍があったのか？

3. 解析結果

余震観測点のうち、観測点6とK1ではアンプの故障があり、1成分しか記録が得られていない。また、川口町での余震観測は観測期間が非常に短く、解析可能な記録は2-3個程度となってしまった。観測記録の処理は現在進めているところであり、ここでは、小千谷市中心部で得られた記録のなかで最も大きいM6.1の余震の観測結果についてを主に説明する。

10月27日に10:40に発生した余震はM6.1であり、小千谷市では震度5強が観測された。図7には、小千谷市中心部で観測された加速度および積分して得られる速度波形が示されている。図中には、K-NET (NIG019) および気象庁 (532) による記録も含まれている。NIG019 および観測点12では、短周期成分が顕著になることがわかる。一方、これらの観測点の西側にある観測点13では、この短周期成分は非常に小さい。各地点での計測震度相当の値、最大速度、最大加速度を比較すると図8のようになる。計測震度は、K-NET 小千谷と観測点12で5.5と最大であり、観測点7,8では4.7と小さい。最大速度も同様であるが、1.8倍程度の差がある。さらに、最大加速度では、3倍以上の差があることがわかる。これらの観測点の震源距離は20km程度であり、観測点間隔よりは大きく、上述の強震動特性の差異は地盤特性による可能性が高いと考えられる。この記録の2次元応答スペクトルは図9に示すごとくであり、震度や最大速度と同様に周期1秒以下の成分については、K-NET 小千谷や観測点12で大きい。JMAではピークが小さく、その周期も短くなる。さらに、観測点8から東側の観測点でのピーク周期は、より短くなる。一方、最も西に位置している観測点13では、卓越周期は0.7秒と長くなっている。また、周期2-3秒の応答値については、西側にある観測点(12, 13, K-NET, JMA)で大きく、東側の地点では小さくなり、より深い地盤の影響の差を示唆している。このように、小千谷市中心部の数kmの範囲でも、地盤の影響は広い周期範囲で異なる可能性があり、本震時の強震動評価には、こうした地盤の影響を考慮することが重要であると考えられる。

微動のアレイ観測のデータは現在解析中であり、ここでは小千谷市中心部での単点3成分の微動観測およびアレイ観測の結果について説明する。単点微動観測は、余震観測点を含めた17点で行われた。図10には、東西方向に並んだ微動観測点での微動のH/Vスペクトルが示されている。微動観測点の4とA1を除く5地点は上述した余震観測点と同じ位置である。周期1秒以下については、微動観測点A1と11のH/Vスペクトルはフラットであるが、その間では観測点9から13へ向かって徐々にピーク周期が長くなっており、地盤の影響の差を反映したものであると考えられる。

小千谷市での微動の上下成分のアレイ観測では、同市西部の余震観測点13を中心にして行われた。観測では、直径1.5km程度の大アレイと同30m程度の小アレイが展開された。アレイ記録の周波数波数スペクトル法およびSPAC法による解析からレイリー波の位相速度を求めた結果が図11に示されている。周期0.1秒から5秒の間で分散性の位相速度が得られている。この位相速度の逆解析を行い、図12のように1次元S波速度構造を推定した。S

波速度 3.4km/s の基盤までの深さは 6km と非常に厚く、堆積層が厚いといわれている新潟市中心部とそれほど変わらない基盤深度である。小千谷市で得られた 1 次元 S 波速度構造を用いて、余震記録のシミュレーションを行なった。計算では、F-NET による震源情報による点震源を仮定して、図 12 に示した堆積層構造のモデルに工藤・坂上 (1984) による地殻構造モデルを付け加えた 1 次元地下構造を用いた。図 13 は、余震観測点 13 での周期 0.5 から 10 秒のフィルター処理をした速度記録と計算結果を比較している。観測記録の EW 成分の最大値が計算結果より大きいことを除けば、観測記録が非常によく再現されており、地下構造モデルが妥当なものであると考えられる。

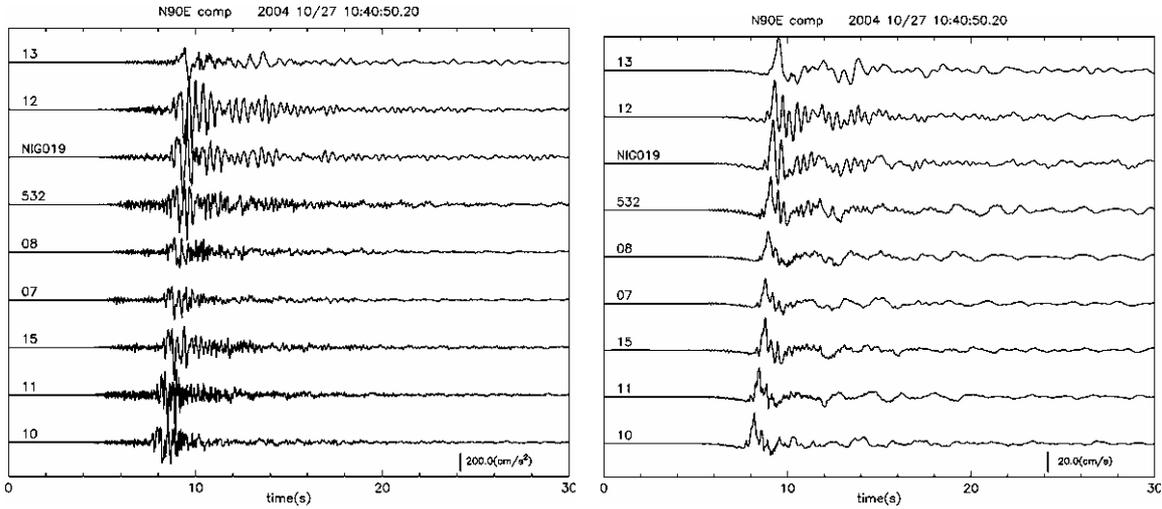


図 7：小千谷市中心部での 10 月 27 日 M6.1 の余震の加速度および速度波形 (EW 成分)

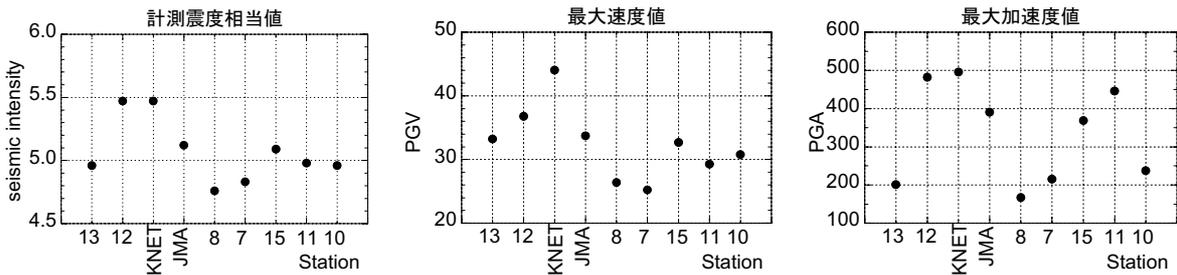


図 8：10 月 27 日 M6.1 の余震の計測震度相当の値，最大加速度および最大速度の分布

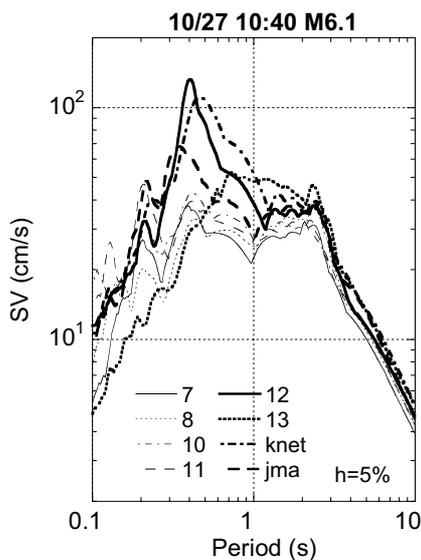


図 9：10 月 27 日の余震の応答スペクトル

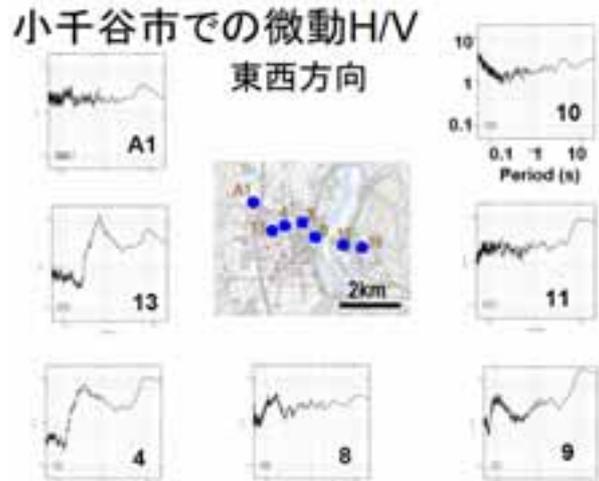


図 10：小千谷市での微動の H/V スペクトル

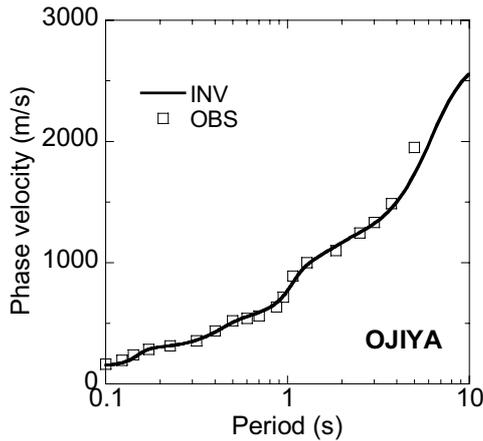


図 11:小千谷市での微動の観測位相速度と図 12 の逆解析モデルに対する理論値の比較

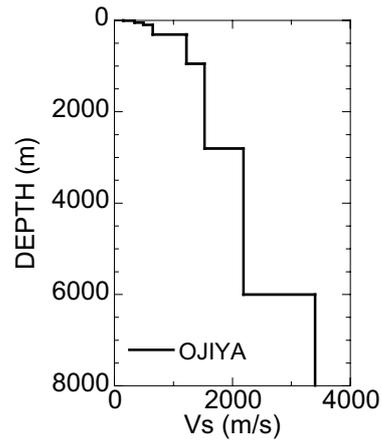


図 12:小千谷市での微動アレイ観測から得られた S 波速度構造

4. まとめ

2004 年新潟県中越地震で大きな被害が生じた小千谷市中心部および川口町を中心にして余震と微動の観測を実施した. 小千谷市の余震観測では, 10 月 27 日の M6.1 の余震を含めて多数の地震記録を観測することができた. 得られた観測データの初期的な解析により, 小千谷市中心部では周期 1 秒以下の成分と周期 2 – 3 秒の成分に明瞭な地域性が認められ, 地盤の影響である可能性が高いことがわかった. この地域での微動の単点観測の結果には余震記録と同様に短周期成分の地域性が認められた. また, 微動のアレイ観測により地震基盤までに S 波速度構造を小千谷市で推定することができた. この結果を用いて余震記録を再現することができ, 地盤モデルの妥当性が確認できた. 今後も, 小千谷市を中心として微動観測を実施する予定であり, その観測結果を踏まえて, 地盤増幅特性や強震動特性の空間的分布を明らかにしたい.

【謝辞】

現地での余震観測に際しては, 多くの方々にご協力を頂きました. K-NET および気象庁による強震記録を使わせて頂きました. この初動調査は, COE プロジェクト「都市地震工学の体系化と展開 (代表者: 大町達夫)」および文部科学省科学研究費補助金「2004 年新潟県中越地震の余震に関する調査研究 (代表者: 平田 直)」の支援を受けて実施されました. 記して, 関係する皆様に感謝いたします.

【引用文献】

工藤一嘉・坂上 実: 1983 年日本海中部地震による石油タンク被害と地震動の特徴について, 地震研究所彙報, 59, 361-382, 1984
柳沢幸夫・ほか: 5 万分の 1 地質図幅「小千谷」, 地質調査所, 1986

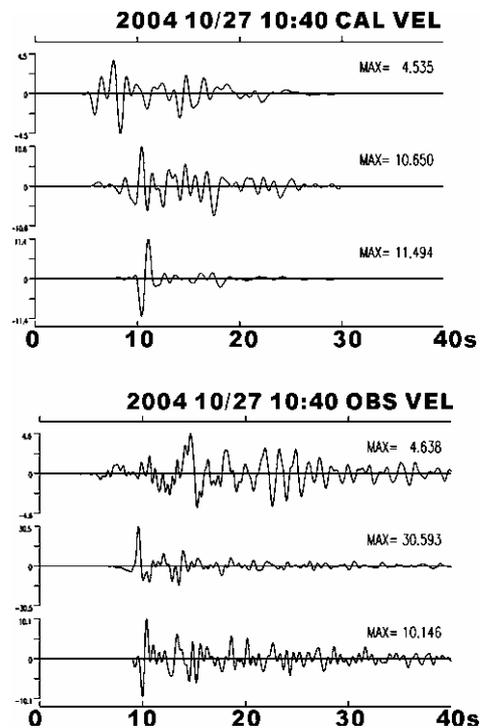


図 13: 10 月 27 日 10:40 の余震 (M6.1) の余震観測点 13 での観測速度波形 (下) と計算速度波形 (上) の比較

3. 地盤災害

新潟県中越地震による山古志村の土砂災害の状況 —特に芋川流域の地すべりダムについて—

渡部直喜¹⁾，丸井英明¹⁾，川邊 洋²⁾，権田 豊²⁾，山岸宏光³⁾，稲葉一成⁴⁾

1) 新潟大学積雪地域災害研究センター

2) 新潟大学農学部生産環境科学科

3) 新潟大学理学部自然環境科学科

4) 新潟大学大学院自然科学研究科

1. はじめに

2004年10月23日17時56分に新潟県中越地方においてM6.8の地震(2004年新潟県中越地震)が発生した。川口町では震度7を記録した。その後も震度6強を複数回観測するなど、活発な余震活動があり、各地で甚大な被害があった。

新潟県中越地震は新潟県古志郡山古志村の直近で発生し、山古志村は深度6強であった。山古志村は全国でも有数の地すべり多発地域であり、新潟県中越地震の余震域のほぼ直上に位置する。新潟県中越地震によって、山古志村では多数の斜面崩壊・地すべりが発生し、道路施設、農業施設、ライフライン、家屋・建築構造物等に大きな被害があった。国土交通省が航空写真を分析した結果、1,662箇所では斜面崩壊・地すべりが発生しており、土砂量は全体で約70,000,000m²に上ると推定される。土砂量1,000,000m²以上の大規模な崩壊・地すべりが10箇所あり、そのうち5箇所は芋川流域に集中している。また、芋川流域では本流支流をあわせて10箇所以上で地すべりダムが形成されており、決壊による土石流等の二次災害が想定される。このため、決壊防止のための緊急対応として、規模の大きい2箇所の地すべりダムでポンプによる排水が実施されている。

2. 地質・地形の概要

山古志村は、北北東-南南西に標高400m~700mの峰々が連なる東山丘陵に位置する。丘陵の中心部を芋川が北から南に流れている。芋川は、流域面積約38km²、最高標高680m、最低標高75mで、魚野川に合流する。流路長は約16km、平均河床勾配は約1/70である。

東山丘陵には、新第三紀中新世~第四紀更新世の地層が分布し、岩相は主として泥岩、砂岩泥岩互層、砂岩である。丘陵北部には局所的にデイサイトと安山岩がみられる。地質構造は北北東-南南西方向に延びるいくつかの背斜と向斜に支配され、大局的には北北東-南南西に地層が配列している。褶曲軸が局所的にブランチしているため、地層の走向が東-西方向を示す場所もある。褶曲軸は西から東に向かって、東山背斜、金毘羅向斜、峠背斜、梶金向斜、松倉背斜の順で配列し、それぞれの間隔は約1kmである(小林ほか、1991; 柳沢ほか、1986)。

3. 斜面崩壊・地すべりの概況

3-1. 斜面崩壊・地すべりのタイプ

全国有数の地すべり地域の直近で強い直下型地震が発生したために、山古志村を中心とする東山丘陵の広い範囲で斜面崩壊・地すべりが数多く発生した。

山古志村で発生した多数の斜面崩壊・地すべりのタイプは以下のように大別される。

(1) 標高の高い、尾根付近の急斜面における崩壊:

厚さ1~2mの表土が稜線付近から河床あるいは下位の平坦面まで一気に崩落しており、いわゆる表層崩壊である。場所によっては崩壊土砂の一部が斜面上に残留している。

(2) 河川沿いの溪岸における崩壊:

河川の浸食によって形成された小規模の段丘地形の縁辺部、あるいは遷急線から崩壊し、土砂の大部分は河床に到達している。これも表層崩壊である。

(3) 地層の傾斜方向に土塊が移動した流れ盤地すべり：

山稜部と溪岸斜面の中間に位置する比較的緩い斜面において、地層の層理面に沿って発生した地すべりである。

(4) 崩土が再移動した地すべり：

過去の地すべり活動で堆積した崩土で形成された緩斜面において発生した地すべりである。過去の地すべり崩土の一部、あるいは全体が滑動している。

(5) 盛土の崩壊：

道路、圃場、宅地等の盛土部分が崩壊し、道路等については場所によって完全に滑落している。盛土部分に生じた変状はいたるところで観察できる。

3-2. 地すべりと地質の関係

国土地理院によってまとめられた「新潟県中越地震災害状況図」によれば、斜面崩壊・地すべりは芋川流域、梶金向斜の両翼でとくに多く発生している。山古志村のある東山丘陵の地形は、地質構造に規制されており、大局的には北北東-南南西方向に延びる山稜部は背斜構造を、芋川など北北東-南南西方向に流れる河川・谷部は向斜構造を反映している。したがって、地すべりは地層の傾斜方向に移動する（やや斜行して移動するものも含めて）流れ盤地すべりが多く発生している。

毎年、新潟県では、第三紀の泥質岩の分布域で数多くの地すべりが発生している。これらは、「第三紀層泥岩地すべり」と呼称され、学界でも広く認知されている。山古志村もこの例外ではなく、虫亀地区等を中心とする第三紀の泥質岩分布域で多くの地すべりが発生している。ところが、今回の地震では、泥質岩分布域で地すべりの発生が極端に少なく、ほとんどの地すべりは砂岩あるいは砂岩シルト岩互層の分布域で発生している。今後、地震時における地すべりの発生メカニズムを考える上で大変興味深い。

3-3. 地すべりと地下水の関係

地すべりの発生が地下水の挙動と密接に関係していることは広く知られている。地震発生前の10月20日から新潟地方は台風23号の影響で、まとまった降雨にみまわれた。10月20日～22日の3日間における山古志村周辺の気象庁AMeDAS観測点の雨量データは次のとおりである。栃尾 108mm、長岡 116mm、小出 120mm、守門岳 121mm、入広瀬 106mm。残念ながら山古志村にはAMeDAS観測点がない。周辺のデータから類推すると、山古志村にも100mmを超える降雨量があったと推定される。地すべり地では地下水の湧出も認められた。しかし、湧水量が格段に多いようには見えなかった。強い地震動に相乗して、地下水がどのように地すべりに寄与したかは不明である。新潟県中越地震による地すべり発生と台風23号の通過に伴う降雨の影響の関係についても今後検討する必要がある。

4. 地すべりダムの概要

芋川流域で本流、支流をあわせて10箇所以上で形成された地すべりダムのうち、主要なものは奔流の5箇所である。ダムは上流から、寺野、南平、楢木、東竹沢、十二平の各地区に形成されている。上記5箇所のうち、規模の点から特に重要なものは、東竹沢地区と寺野地区の地すべりダムである。

4-1. 東竹沢地区地すべりダム

ダムを形成した地すべりは芋川左岸の西へ緩傾斜する斜面で発生した（写真1、写真2）。その規模は、延長約360m、幅約265mである。地すべり地の地形を見ると、頭部では比高が25m、傾斜が約25°の滑落崖が形成され、その延長は約100mに涉っている（図1、図2）。中央部には、地すべり崩土の厚い堆積が見られる。上流側には地すべり崩土の押し出しによる圧縮亀裂が生じており、下流側には側方崖が形成され、その下部には沢が形成されている。芋川右岸の道路付近には、地すべり移動体前面の土砂が盛り上がり、地塊状に堆積している。その手前に比高約12mの凹地が形成されている。この盛り上がり地塊の山側斜面付近が地すべり移動体の末端部であると推定される。末端部の盛り上がり地塊付近では、すべり方向に直角方向の階段状の亀裂が多数発生している。

地震以前の空中写真を判読すると、今回滑動した地すべりの背後には明瞭な地すべり地形が認められる。古い地すべり移動体の一部が分離して滑動しており、古い移動体の上部と南側側部は滑動せずに残留している。基岩地質は砂質シルト岩および中粒～細粒砂岩の互層からなる。地層の走向、傾斜はN15°E、20°Wである。地すべりは地層の傾斜方向に移動する「流れ盤地すべり」の形態を示しており、頭部で約70mの移動量が見られる。シルト岩の層面をすべり面とし、上位の砂岩層が地すべり移動体となっている。



写真1 山古志村東竹沢地区の地すべり頭部の滑落崖。地すべり土塊は写真右下の滑落崖から左上の方向へ移動し、芋川を堰き止めた（10月27日撮影）



写真2 山古志村東竹沢地区の地すべり。地すべり土塊は写真右側から左の方向へ移動し、芋川を堰き止めた（11月3日撮影）

4-2. 東竹沢地区地すべりダムの安定性

地すべり移動地塊によって堰き止められた範囲は、延長約 265mあり、貯水池の水圧（水圧高 28m）の作用する堤体比高の 10 倍近い値を示す。水深に比して地すべりダムの堤体の規模がかなり大きいため、水圧による決壊の危険性は小さいと考えられる。また堤体の延長が約 265mにもわたることから、パイピングの発生による破壊の可能性も小さいと考えられる。最も懸念されるのは、越流侵食に伴う地すべりダムの決壊である。貯水池の水位を抑制するため、緊急には排水ポンプの導入し、来春の融雪期に備えて排水路を設け

る必要がある.

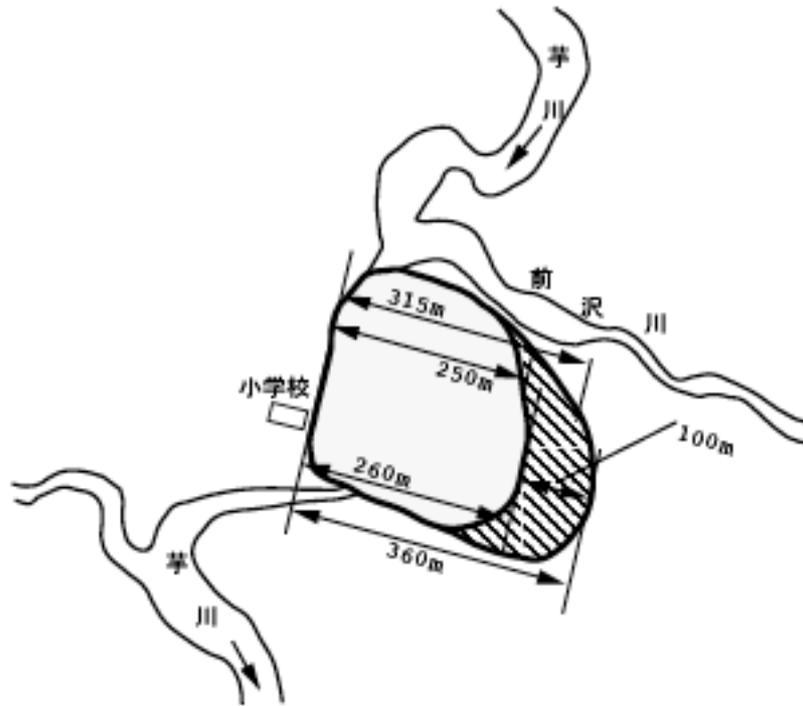


図1 東竹沢地区地すべりダムの平面図

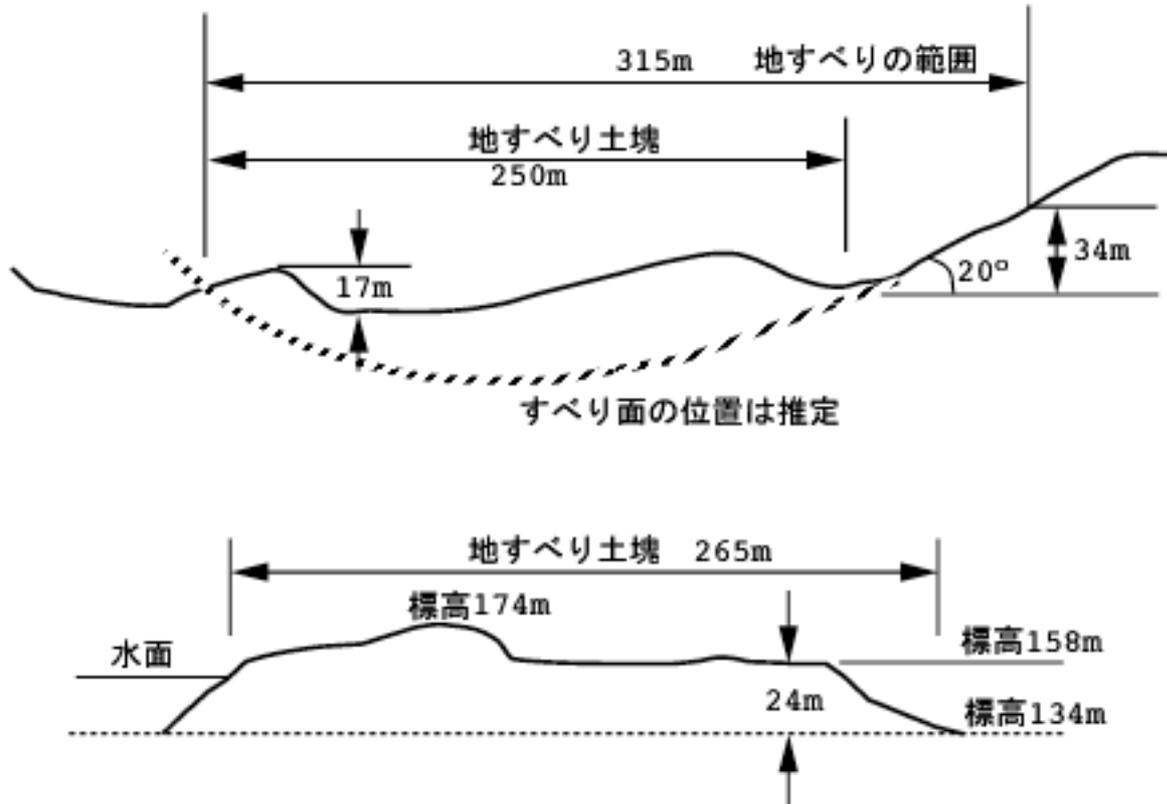


図2 東竹沢地区地すべりダムの断面図. 断面は河川の横断方向(上)と縦断方向(下)

4-3. 寺野地区地すべりダム

寺野地区においては左岸側において、延長約 350m、幅約 230mの地すべりが南西に緩傾斜する斜面で発生している（写真3、写真4）。右岸側においても、急傾斜の崩壊が3箇所発生しており、その最大のものは、長さ約100m、幅約110m、比高約50mの規模である（図3、図4）。



写真3 山古志村寺野地区 地すべり土塊は写真右から中央の方向へ移動し、芋川を堰き止めた（10月27日撮影）



写真4 山古志村寺野地区 地すべりダムは左岸側（左）からの地すべりによって形成された。右岸側（右）からは斜面崩壊が発生（10月27日撮影）

この地すべりも地形的に見ると、東竹沢と同様、古い地すべり地に発生している。地すべりは、古い地すべりの輪郭とほぼ一致する。地すべりの発生した斜面は、向斜軸の軸部付近に位置するため、基岩の走向、傾斜は $N70\sim 80^{\circ}W$ 、 $10\sim 15^{\circ}$ となっている。したがって、地層の傾斜方向は地すべり斜面の傾斜方向と斜交している。基岩地質は主として砂岩主体の砂岩シルト岩互層である。攪乱を受けていない移動体の断面を

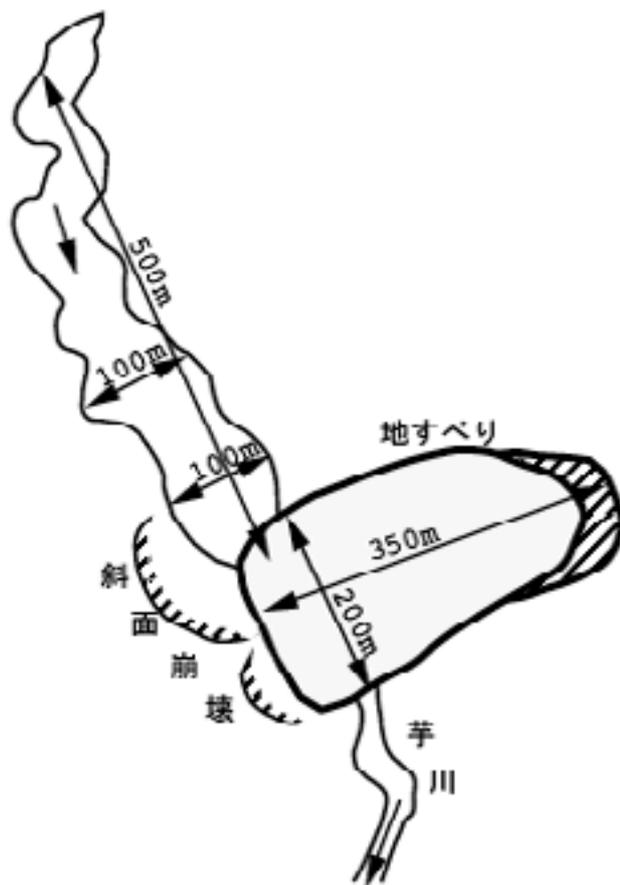


図3 寺野地区地すべりダムの平面図

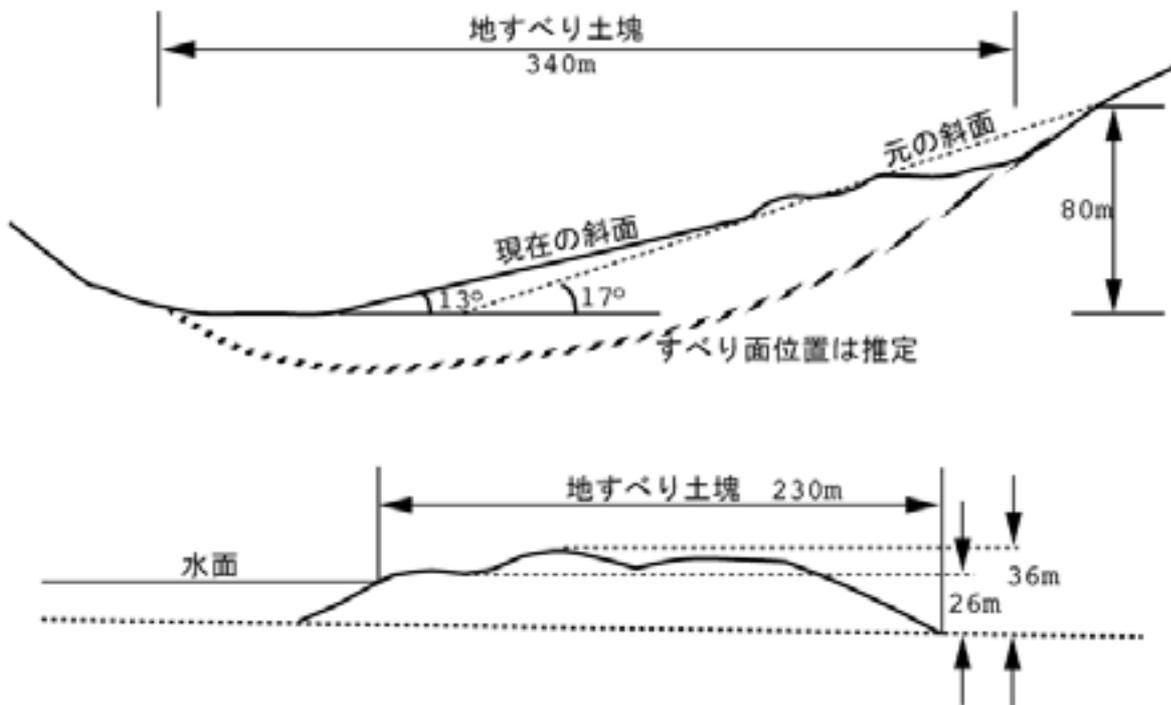


図4 寺野地区地すべりダムの断面図. 断面は河川の横断方向 (上) と縦断方向 (下)

観察すると、砂岩ブロックとシルト岩ブロックが混在している。シルト岩ブロックの一部は角礫状に破碎されていることもある。これらは、過去の地すべりによって形成された堆積物と考えられ、今回の地すべりが古い地すべりの再活動であることを示している。

4-4. 寺野地区地すべりダムの安定性

東竹沢地区と同様に、水深に比して地すべりダムの堤体の規模がかなり大きいため、現状では水圧による決壊の危険性は小さいと考えられる。しかしながら、埋塞したスノーシェッドを伝い貯水池から若干の水量が自然流下していた。この流水による侵食量の増加については十分に留意する必要がある。寺野地区地すべりダムについても、貯水池の水位を抑制するため、緊急には排水ポンプの導入し、来春の融雪期に備えて排水路を設ける必要がある。

謝 辞：調査に当たっては、国土交通省北陸地方整備局、同湯沢砂防事務所、新潟県土木部砂防課、山古志村新潟県中越地震災害対策本部に数々の便宜を図っていただいた。現地調査では、(財)砂防・地すべり技術センター、(社)砂防学会、(社)日本地すべり学会、日本応用地質学会からご協力をいただいた。以上の機関・関係者に深く感謝申し上げます。

参考文献

小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫(1991)：長岡地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），132p，地質調査所。

柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一(1986)：小千谷地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），177p，地質調査所。

気象庁ホームページ（平成16年(2004年)新潟県中越地震の被災地及び周辺地域に関する地震・気象情報）：
http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/niigata.html

国土交通省ホームページ（新潟県中越地震関連情報）：<http://www.mlit.go.jp/chuetsujishin/index.html>

国土地理院ホームページ（平成16年(2004年)新潟県中越地震関連ページ）：
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/NIIGATAJISIN/index.html>

(2) 盛土崩壊

大塚 悟¹⁾

1)正会員 長岡技術科学大学環境・建設系，助教授

1 はじめに

中越地震では多数の盛土構造物が被害を受けた。原因に震度7または6を超える地震が繰り返し生じたことが挙げられるが、盛土構造物の強度が他の構造物に比べて小さいことも被害を大きくした原因である。中越地域が中山間地のために盛土構造物の多いことや、地震の直前に台風23号による降雨のために盛土の強度低下が生じたことも、盛土構造物の被害を大きくした。その一方で、盛土構造物の特徴は被災時の復旧の速さにある。国道や高速道路などの社会基盤施設は極めて短時間で機能が復旧されたことは特筆すべきである。しかし、個人住宅や宅地造成地では今なお復旧の目処が立たず、大きな社会問題となっている。

盛土を用いた土構造物には多様な構造物があるが、本小文では盛土被害の事例について道路盛土と宅地造成盛土を中心に取りまとめる。地震から1ヶ月余りが経過したが、各機関では復旧作業が続いており、本格的な災害調査は未だほとんど行われていない。被災の原因究明や盛土構造物の設計・施工についての検討は災害調査結果の報告を待つこととしたい。

2 盛土の被災形態

2.1 道路盛土

道路盛土に見られる一般的な被害について取りまとめる。道路盛土の被害に舗装のクラックがある。比較的軽微な被害といえるが、盛土の変形に起因して発生することから盛土が何らかの変状を生じたことの証左といえる。振動中の一時的な変位により発生するものを別にすれば、概ね地盤の残留変位に起因して生じている。クラックの発生箇所は舗装の継ぎ目や路肩が大半を占める。車線ごとに舗装することから、車線間にてクラックが発生・開口する事例が多い。新潟県中越地域では地下水を利用した消雪施設が道路に敷設されることも多く、消雪施設と舗装との間にクラックが発生する例が数多く見られた(写真1)。消雪施設は一般にコンクリートで作られることから道路との剛性差によって振動特性が異なる。そのために消雪施設と舗装間にてギャップが生じやすい。

道路盛土の路肩は盛土高さの高低によらず、沈下や側方変形を起こした。中でも農地の隣接道路は1m以下の低盛土であっても、顕著な沈下や側方変形を起こす事例が数多く観察された。これは低盛土の場合に地表面付近の強度が大きく影響するために、農地などの軟弱地盤では盛土の変形が生じやすいことによる。盛土高さが少し高くなると変形がむしろ小さくなる事例も見られた。拘束圧力の差に起因すると考えられる。

道路盛土では他の構造形式との境界部での変状が顕著であった。橋台やボックス・カルバートなどの取り付け部では盛土の沈下のために大きな段差が生じて、交通障害を起こす事例が随所で見られた(写真2)。この原因には盛土と他の構造物との振動特性の違いから、取り付け部盛土に大きなせん断ひずみが作用することによる揺すり込み圧縮が考えられる。建物の周囲に沈下が起きる現象も基本的に建物基礎と地盤間の相互作用によって地盤の揺すり込み圧縮が生じたことによると思われる。橋台やボックス・カルバートなどの取り付け部では盛土が側方にはらみ出すことも多いために、沈下量も余計に大きくなる傾向にある。写真1は越路町における信越本線跨線橋の盛土部の写真である。後方に橋桁が見えるが、手前の盛土は大きく波打っており、橋桁の取り付け部が著しく沈下(約0.9m)した。

盛土の崩壊では谷筋、沢筋に当たる箇所での崩壊事例が多い。写真3は国道117号線の塩殿における盛土の崩壊事例である。谷を渡るように盛土が建設されていることから、河川堆積物の軟弱地盤上に高い盛土が構築されている。河川の流下方向は写真右側から左方向であり、左側の盛土厚が大きい構造である。盛土は写真左側部分が大きく崩壊して谷に流下している。また、写真4は国道291号東栄での盛土の崩壊事例である。



写真1 跨線橋(越路町)

傾斜地に盛土が構築されていたが、沢筋に当たる地点にて大きく崩壊した。崩壊地では多量の水が湧出しており、集水地形を形成していた。



写真2 ボックスカルバートの段差 (日本道路公団)



写真3 国道117号・塩殿の崩壊

2.2 河川堤防

堤防盛土の破壊例を写真5に示す。写真は中之島における刈谷田川左岸堤防の崩壊状況である。堤防の天端に縦断方向に深い亀裂が2本平行に入っている。盛土は亀裂を頭部として左右方向にすべり破壊を起こした。上部の段差は約50cmほどであり、河川にまで到達する土塊が変状を生じている。堤防基礎地盤の土質情報は不明であるが、周囲に液状化痕跡は確認できなかった。同地区では右岸にも堤防天端に縦断方向に亀裂が複数生じており、一部天端全体が沈下するような変形が生じていた。盛土構造物は一般に、地震時の振動によって引張力が作用すると構造物表面に亀裂が生じる。写真では盛土天端の縦断に亀裂が大きく生じていることから、横断方向に大きな地震動が作用した可能性が高い。写真は亀裂の進展に伴って堤体が一部すべり破壊を伴いながら側方へ変形したと考えられる。



写真4 国道291号・東栄の崩壊



写真5 刈谷田川・中之島の堤体損傷

3 高速道路盛土の被災事例

関越自動車道では地震により盛土が大きな被害を受けた。路面の亀裂やのり肩の沈下は長岡 IC から堀ノ内 IC 付近にかけて広い範囲で散見される。激震ゾーンといわれている竜光付近では盛土が大きく崩壊した。

3.1 低盛土の崩壊事例

小千谷市桜町では盛土が側方に変形することにより、盛土中央付近にて沈下が生じた。高速道路に交差するボックスカルバートは側方変位のために、写真6に示すように盛土中央にて開口が生じた。開口幅は最大で約50cmほどであり、盛土が全体的に左右に各々約20-30cmほど側方へ移動している。断面形状を図1に示すが、本線の左右にある側道はともに側方へ押されて側溝が一部損傷を受けていた(写真7)。側溝付近にて小規模な液状化による噴砂跡が見られた。高速道路施行時の調査によると当該地盤は上部8.5mほどまで概ね粘性土であり、4m付近に一部砂層が介在している。4.5mから6.5m間は腐植土層であり、砂質土と粘土層の互層地盤が堆積している。また、盛土材は小国層と言われる泥質または砂質泥岩が用いられており、施

行時に土砂化して取り扱いにくいことが報告されている。ボーリングなどの詳細調査が実施されていないことから確定的なことは言えないが、液状化の規模は限定的であり、軟弱な地表面地盤をせん断する形で盛土が変形したと考えられる。台風23号による降雨により盛土部のせん断強度が低下していたことも変形を助長したと思われる。

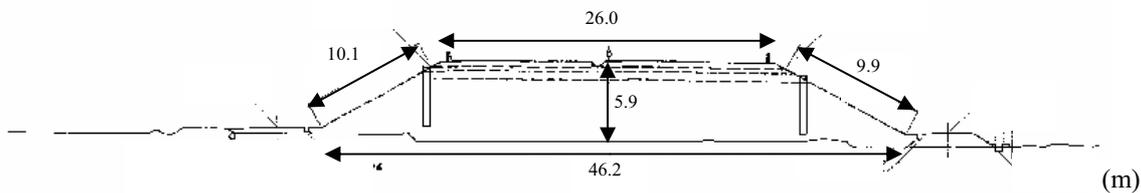


図1 関越自動車道盛土断面・桜町（日本道路公団）



写真6 ボックスカルバートの開口（日本道路公団）



写真7 側道の変形

3.2 傾斜地盤上盛土の崩壊事例

堀之内町竜光付近における斜面崩壊事例を図2, 3に示す。両図は地震前の盛土断面である。写真8, 9は図2, 3の横断面の崩壊状況を示している。図2では延長約200m, 図3では延長約100m にわたって盛土が崩壊した。2つの崩壊地の間隔距離は600m ほどであり、地質条件はほぼ類似と考えられる。施行時の調査によると地盤は河岸段丘層と下位の固結度の低い魚沼層群からなる。上部7m ほどは一部砂質土を混在するがレキが優勢である。7m から19m にかけては粘性土と一部腐植土が介在する砂質土の互層地盤である。19m 以深は

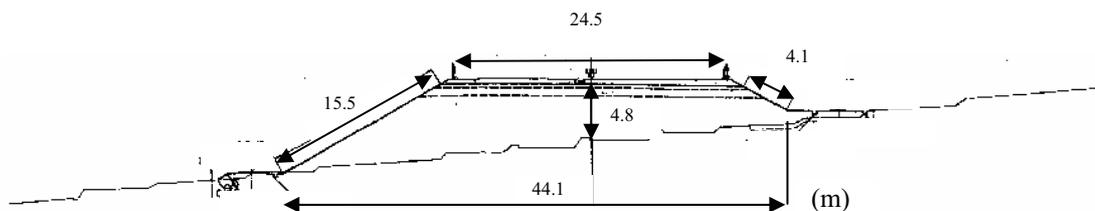


図2 関越自動車道盛土断面・竜光 A（日本道路公団）

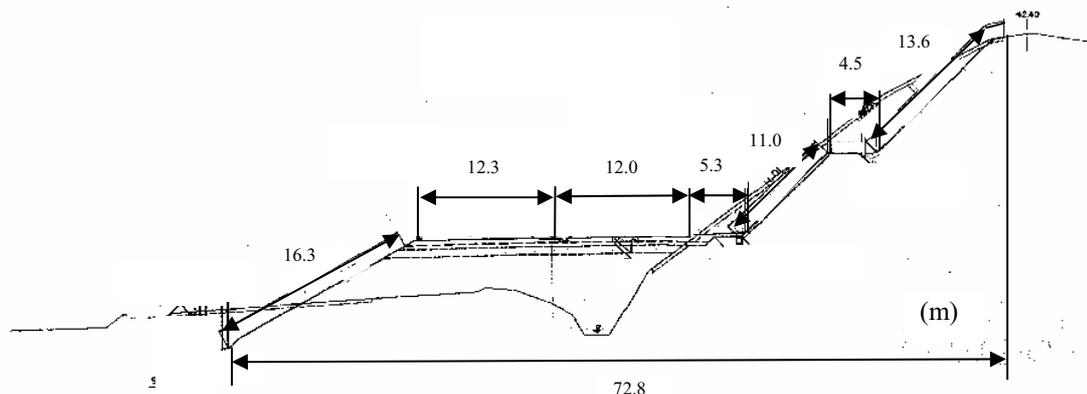


図3 関越自動車道盛土断面・竜光 B（日本道路公団）

魚沼層であるが、スレーキングを起こしやすく、水を含むと土砂化してせん断強度が低下する傾向を示す。自然地盤が断面図に示すように緩やかな傾斜を有することを反映して、盛土は谷側に向かって大規模に崩壊した。この区間はほぼ直線区間のために、崩壊箇所では自然斜面の地形特性の影響が大きく、集水特性の差違が崩壊に影響したと考えられる。



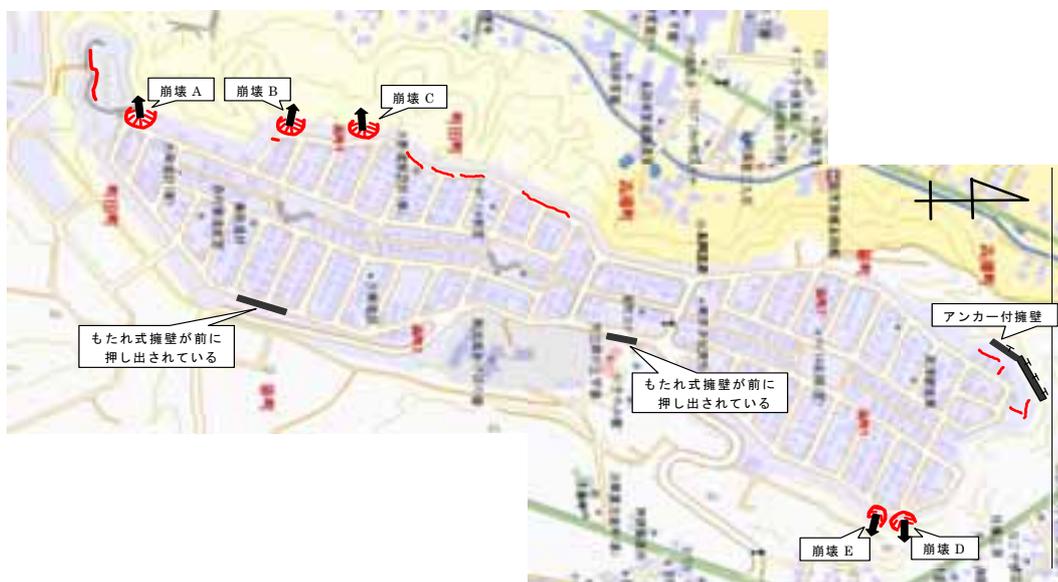
写真8 斜面崩壊・竜光 A (日本道路公団)



写真9 斜面崩壊・竜光 B (日本道路公団)

4 造成宅地の被災事例

長岡市高町における宅地造成地では地震によって造成地の周縁部が被災した。地震発生直後から電気・ガス・水道などのライフライン施設をはじめ、道路などの社会基盤施設が機能しない状況になり、住民は避難所での生活を強いられた。造成地周縁部に被害が大きい、幸い道路として利用されていたことから宅地が直接斜面崩壊に巻き込まれる事例はなかった。しかし、周縁部をはじめとして地盤に亀裂が生じたり、地盤が沈下・側方移動したために宅地が大きな被害を受けた。



地図：ZENRIN Datacom より

図4 高町団地の平面図と被害状況

4.1 宅地造成の概要

高町地区は長岡市の東に位置しており、東山丘陵の一角にある。図4に示すようにひょうたん型の高台の地形である。原地盤も同様の形状を成しており、標高の高い地盤の切土により谷筋および周縁部の盛土を実施した。盛土には概略高さ5m、基礎幅1mのコンクリートもたれ式擁壁により、のり面対策が行われている。

地質は上部より御山層の盛土区間があり、その下に御山層の原地盤、魚沼層、西山層の構成である。御山層は段丘であり、砂およびシルトから構成される。盛土は御山層の切土試料であることから、砂質粘土または粘土質砂によって構成されている。粘土分が含有されることから飽和すると泥濁化する性質がある。

4.2 被害の特徴

高町地区の周縁部は場所によって範囲が異なるが、概ね盛土が施工されている。盛土上には周回道路が設置されており、地震により著しく損壊した。被害状況は図4に示している。周回道路を中心に調査したために、造成地内部については被害が記されていないが、亀裂や側方変位は各所で生じている。

写真10は図4に示した崩壊地点 A の斜面崩壊状況である。上部で延長約50m にわたり崩壊した。上部にあったと推定されるもたれ式擁壁は斜面中央付近まで移動しており、一部はほぼ下端にまで到達していた。簡易計測の結果による平面図を図5に示した。また、旧地形を図6に併せて示す。切盛りの境界線の推定線を図中に示した。これらの図より崩壊地点は原地盤の谷筋に当たり、盛土高さが高く、且つ集水地形となっていたことが分かる。斜面崩壊はほぼ盛土部分を中心に生じている。



写真10 高町団地・斜面崩壊 A

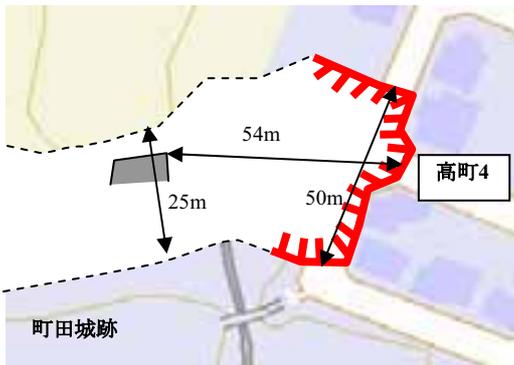


図5 崩壊地点 A の平面図

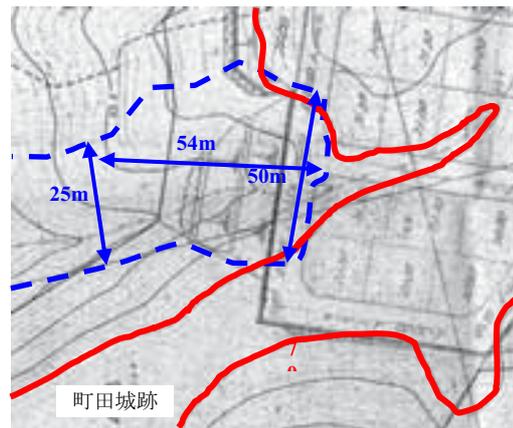


図6 崩壊地点 A の旧地形と破壊状況

写真11は崩壊地点 B の斜面崩壊状況である。上部で延長約40m にわたって崩壊した。崩壊地点 A と同様にやや谷地形を形成しているが、崩壊地点 A と比較すると旧地形の谷は深くない。むしろ、崩壊地点 B は図4の平面図から分かるように盛土の角部に当たることから、地震動が盛土の線形部より増幅した可能性がある。この視点から図4を再度見直すと崩壊各地点は造成地盛土の角部およびその周辺に当たる事例が多く、地震動の3次元的作用が影響した可能性が指摘される。

写真12は崩壊地点 C における状況である。地形的には谷筋に当たり、やや盛土高さは高く集水地形である。斜面上部にあったもたれ式擁壁は土砂とともに押し出されて斜面中央付近まで移動した。擁壁は転倒せずに運ばれており、擁壁支持地盤がすべり破壊を起こした可能性が高い。図4の造成地平面図にて北西部に一部擁壁にアンカーが打設されている。盛土上部には亀裂や沈下が顕著に観察され、一部宅地にまで被害が及んでいる。旧地形から読み取ると谷地形であることから考えて、無補強の場合には斜面が大きく崩壊した可能性が極めて高い。

写真13は崩壊地点 E における斜面の崩壊状況である。急傾斜上に一部盛土を行ったと考えられ、盛土部を中心に崩壊したと推定される。崩壊土砂は急傾斜地を落下したが、危うく送電用鉄塔の横をすり抜けた。崩壊位置が少しずれると直撃した可能性があり、計画上の課題を残した。



写真11 高町団地・崩壊地点 B



写真12 高町団地・崩壊地点 C



写真13 高町団地・崩壊地点 E

おわりに

中越地震のように、レベル2の地震動が作用すると盛土構造物は大きな被害を受けることが明らかになった。しかし、これらの盛土構造物を全て壊れないように対策を行うのは現実的でない。しかし、重要な社会基盤施設や人命にかかわる施設については機能維持や重大な災害を引き起こさないための対策が必要である。中越地震による被害を教訓にして、今後起こり得る地震災害の軽減を図る努力が強く求められているように思う。

本報告を取りまとめるにあたり、長岡市および日本道路公団北陸支社にデータを提供頂いた。また、調査に当たっては長岡技術科学大学大学院・河野智也氏、井上由美子氏、久米田繕臣氏および長岡技術科学大学・保坂長寿氏に協力いただいた。末筆ながら、心より感謝の意を表します。

液状化とその特徴

若松加寿江¹⁾、吉田望²⁾、規矩大義³⁾

- 1)正会員 防災科学技術研究所川崎ラボラトリー、副チームリーダー
- 2)正会員 応用地質(株) 技術本部地震防災センター、技師長
- 3) 正会員 関東学院大学工学部社会環境システム学科、助教授

1 はじめに

筆者らは、地震発生3日後の10月26日～28日、および11月18日、23日、29日の合計4回延6日現地踏査を実施した。また、国土地理院による空中写真(10月24日、28日撮影)の判読により、噴砂発生地域の抽出を行った。本報では、上記の調査に基づく液状化発生とその特徴、地形・地盤条件との関係について報告する。

2 液状化の分布

図1に、本地震により液状化の発生を確認した地点を示す。液状化は、震源地に近い小千谷市、川口町などの信濃川沿岸地域をはじめとして、北は三島郡与板町・中之島町、西は柏崎市などで発生している。上記地域のうち、信濃川に架かる与板橋から越の大橋にかけての信濃川沿岸には特に高密度に噴砂が確認された。また、極めて局所的にはあるが柏崎市南部の新興住宅地でも液状化による住宅等の不同沈下が発生した。以下に地域別に液状化の特徴と地形・地盤特性との関係について述べる。

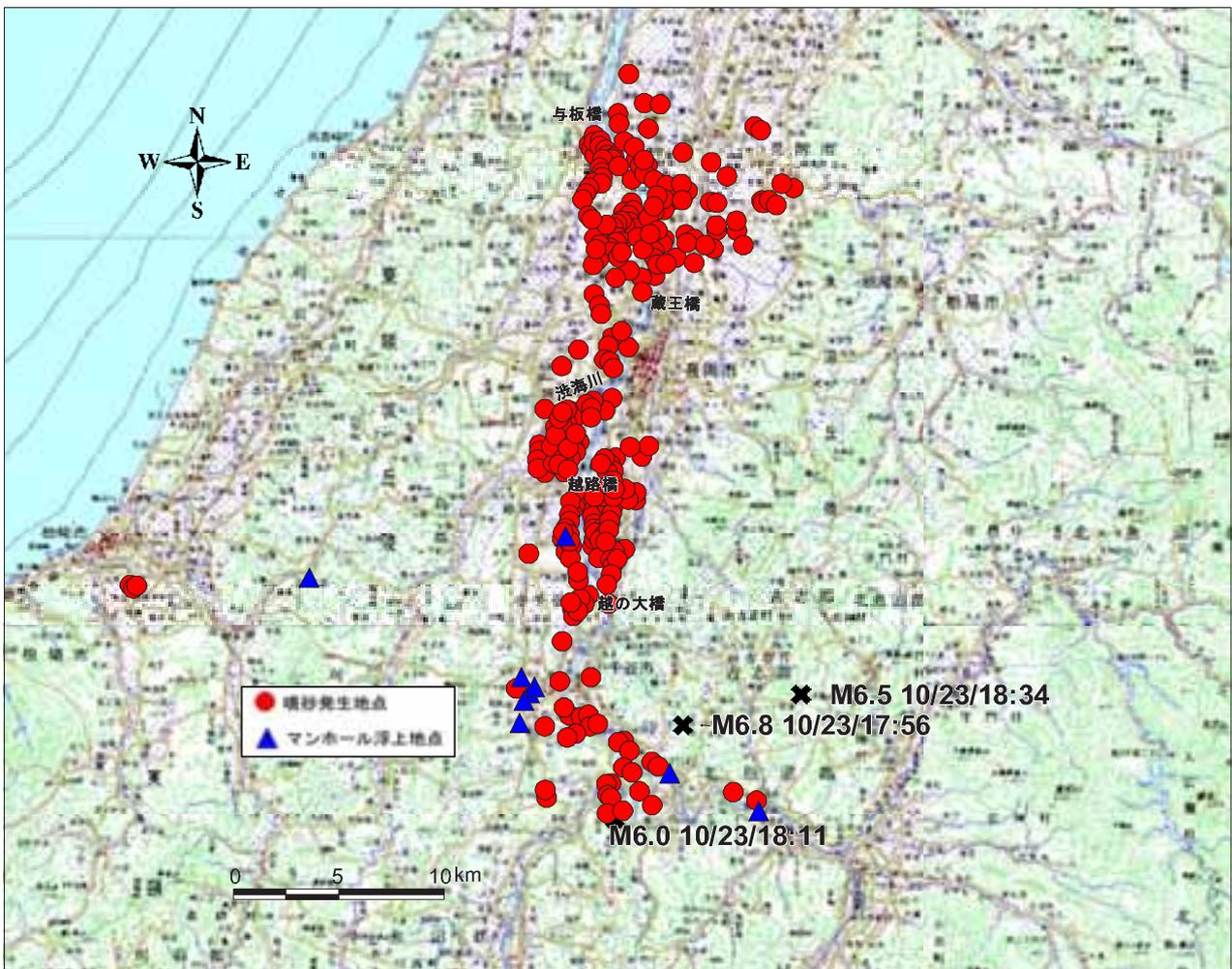


図1 新潟県中越地震による液状化発生地点の分布 (現地踏査と空中写真判読による)

3 液状化発生の特徴と地形・地盤特性

3.1 見附市付近

図2に見附市付近の液状化発生地点を示す。調査漏れもあろうが、液状化の発生は散発的であり、噴砂量は総じて軽微であった。しかし、中には写真1に見られるように畑一面大量の噴砂が確認された地点もある。ここでの噴砂は自然堆積と推定される灰色のきれいな砂であった。図2のA地点では新潟地震でも液状化が確認されている¹⁾。また、噴砂地点の大部分は刈谷田川の沿岸に位置しているが、図2のB、C地点のように川から離れた市街地でも噴砂が見られた。南本町2丁目(B地点)では、スーパーの駐車場に噴砂と地盤沈下が見られた(写真2)。被害は駐車場のみにとどまらず、付近一帯に噴砂や歩道の変状が認められた。

図3に、図2の地域の昭和6年の地形図を示す。見附市において液状化が確認された地点は、すべてこの時代の刈谷田川の流路およびこれに隣接する自然堤防(地形図で桑畑Yマークの部分)で発生していることがわかる。図4に旧河道におけるボーリング柱状図を示す。表層は腐植土混じりの軟弱な粘性土層であり、地下水位はGL.-1.1mと浅い。この粘性土層は旧河道が湿地化していた時代の堆積物であり、建物建設に際して盛土が施されたと推定される。市街地といっても周囲より低く、すり鉢状の集水地形となっていることなどから、盛土材料が液状化したものと推定される。また、盛土直下の地盤が極めて軟弱で、そのため揺れやすかったことも液状化を誘発した一因と考えられる。

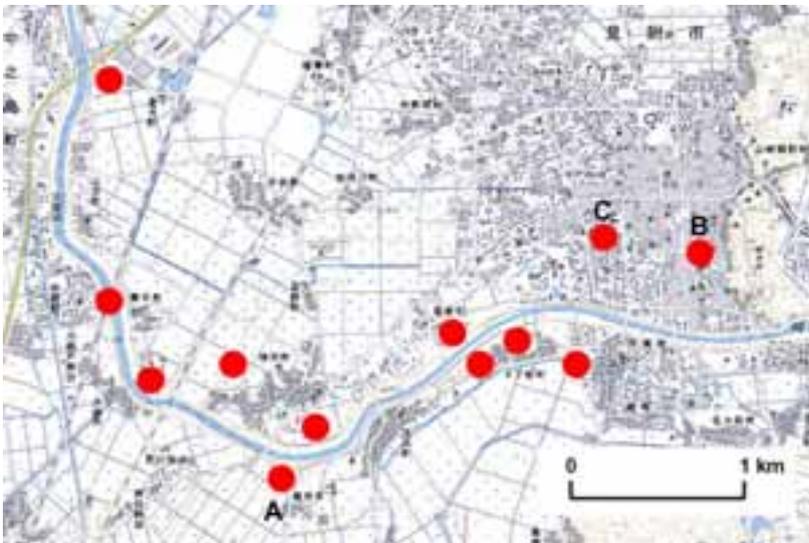


図2 見附市付近の液状化発生地点
(国土地理院1/2.5万地形図「見附」を使用)



写真1 見附市下新町の畑における噴砂



写真2 見附市南本町2丁目の駐車場で
の噴砂とアスファルトの波打ち

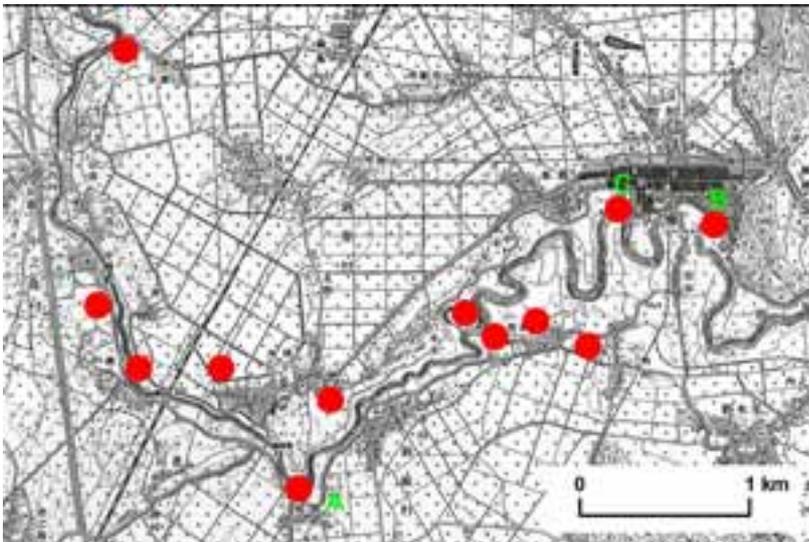


図3 見附市の液状化発生地点と旧地形との関係
(昭和6年測図1/2.5万地形図「見附」を使用)



図4 刈谷田川旧河道の土質柱状図²⁾
(図2のC地点)

3.2 三島郡与板町・中之島町・長岡市北部（与板橋～蔵王橋）

与板橋から蔵王橋にかけての信濃川沿岸の水田には、写真3に見られるように多数の噴砂が見られた。図5に噴砂地点の分布の一例を示すが、噴砂は地形的に見ると信濃川の旧河道やポイントバー（蛇行州）にあたる所で発生しており、大きいものでは噴砂孔の直径が約2mのものもあった(写真4)。これらの地点の中には、1964年新潟地震で液状化した記録がある地点¹⁾も多く含まれている。

構造物への影響は少なかったが、水田に噴砂の発生した地域では電柱の傾斜や沈下、道路の変状などが見られた(写真5)。図6に、与板高校における土質柱状図を示す。ここでは、校庭に噴砂を生じていたが、新潟地震でも液状化が発生した記録がある¹⁾。地表から7m付近まで信濃川の河成堆積物と推定される緩い砂が堆積しており、このような地盤条件が震源地から30km程度離れているにもかかわらず、この地域に広範囲・高密度に噴砂が発生した原因と考えられる。



写真3 東与板水田における噴砂(白く筋状に写っているのが噴砂)³⁾



写真4 信濃川沿岸の水田。噴砂孔の孔径は約2m（長岡市川袋町）

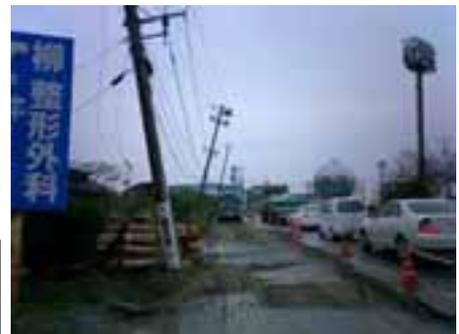


写真5 電柱の沈下・傾斜と道路の変状（県道22号線与板町江西2丁目）

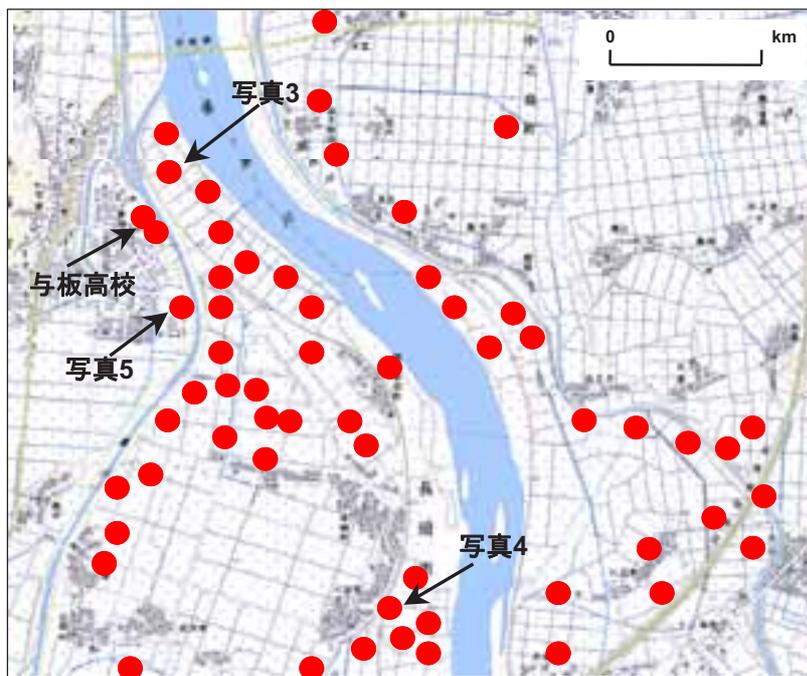


図5 与板町・中之島町・長岡市北部における液状化発生地点

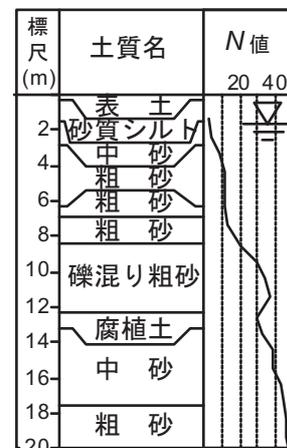


図6 液状化発生地点の土質柱状図²⁾（与板町与板高校）

3.3 長岡市南部・越路町・小千谷市北部（蔵王橋～越の大橋）

信濃川沿岸の地盤は、蔵王橋付近を境に砂質地盤（自然堤防地帯）から、砂礫地盤（扇状地）に移行する。従って、現地踏査前には蔵王橋より上流には液状化は余り生じていないと予想された。しかし実際には、洪海川合流点（越路町）付近より越の大橋に至る信濃川兩岸の水田におびただしい噴砂が確認された（図1）。また、同じ水田でも噴砂が全く生じていない地域もあり画然とした相違が認められた。東京大学古閑研究室のヒアリング調査⁴⁾によると、越路町岩野（信濃川左岸）での水田の噴砂箇所は、砂利を採掘した跡地の埋め戻し地盤とのことである。このことから、筆者らは上記の地域で砂利採掘業者より採取地域・方法についてヒアリングを行った。以下に砂利の採掘状況と噴砂発生との関係を記す。

(1) 信濃川左岸地域（越路町岩野～小千谷市高梨町）

写真6に左岸地域の地震の翌日24日撮影された航空写真を示す。採掘業者によれば、越路町岩野の送電鉄塔より北側の地域でかつて砂利採取を行っており、現在は小千谷市鴻巣町や高梨町の上流側で採取しているとのことである。これらの証言と写真6の噴砂を比較すると、砂利採取が行われた地域では噴砂が高密度に発生していたが、未採取の地域においても噴砂を生じていた。写真7は未採取の地域において撮影したものである。農道は波状に変形しており沈下・亀裂を生じ、農道両側の水田には一面噴砂を生じていた。写真7の近傍で配管の敷設替え工事現場を観察したところ、客土の下は黒っぽい大礫混じりの砂地盤であった。一方、写真8は砂利採取が行なわれた場所の噴砂状況である。写真7の噴砂は、暗灰色であったのに対して、砂利採取が行なわれた水田の噴砂は茶褐色で採取後に埋め戻した山砂が液状化したことを示唆している。

(2) 信濃川右岸地域（長岡市上前島町～三俣野町）

写真9に右岸地域で地震の翌日24日撮影された航空写真を示す。左岸側よりさらに広範囲な地域で水田に噴砂を生じている。生コン会社でヒアリングを行ったところ、現在は長岡市滝谷町で砂利採取中であるが、かつては、上前島町～大河原町にかけてランダムに砂利採取を行なったとのことであった。

写真9のA地点において、住民に話を聞いたところ、「この辺りは砂利採取が行なわれた場所と行われなかった場所があり、砂利採取が行なわれた水田は地震の際に大量の水を噴き、地震後1ヶ月以上経過した今も水が引かないが、砂利採取をしなかった水田は無被害または被害軽微であった。この場所は約20年前に砂利



写真6 越路町岩野～小千谷市高梨町の信濃川左岸地域における噴砂
（国土地理院10月24日撮影空中写真）



写真7 砂利未採掘地点における農道の被害と水田の噴砂。鉄塔の向こう側で砂利の採掘が行われた。



写真8 砂利採掘跡地の埋め戻し地盤における噴砂

採取を行なったが、最近採取した南方の田はもっと被害がひどかった」そうである。

砂利採取業者によると、採取事業は県の許可事業で、水田のみで行われ期間は最長1年半。掘削方法は写真10に示すように素掘りで、地盤から採取した掘削土をそのままダンプに乗せて骨材プラントに運び、骨材プラントで粗骨材と細骨材を選別して、残りの土は再びダンプに載せて掘削した場所に戻す(写真11)。もとの地表面の-1m程度まで掘削残土で埋め戻した後、約70cmの厚さで山砂を撒き出し、最後の30cmは耕作土を入れて、農地に戻して返却するとのことである。埋め戻した場所は、写真12に示すように液状化していた。

右岸地域においても、砂利採取が行われた水田では顕著な噴砂噴水が認められたが、採取が行われなかった水田や採取の対象外であった農道などにも液状化が関与していると考えられる被害を生じていた。図7に大川原町における土質柱状図を示す。地下水位はGL-1.1mと極めて高いが、表土の下は厚い砂礫地盤で、砂利採掘が行われていない自然地盤のものと推定される。水田地帯におけるボーリングデータはほとんどなく、自然地盤で噴砂を生じた場所には局所的に緩い砂層が存在するのか、あるいは図7に示すような地盤でも液状化したのか現時点では判断できない。

なお、砂利採掘地域の東側では、上越新幹線滝谷トンネルを出てから脱線現場(越路橋東方)に至る新幹線橋脚部にも、泥水を噴き上げた痕跡が多数認められたが、橋脚と周辺地盤の地震時の動きの違いによって両者に相対変位が生じ、その隙間から地下水が押されて吹き上がっただけの可能性もある。新幹線脱線現場付近の水田にごく軽微な噴砂が散見され、マンホールの浮上が認められた。付近の土質柱状図を図8に示すが、大規模な液状化を引き起こすような厚い砂層は認められない。



写真9 長岡市上前島町～大川原町の信濃川右岸地域における噴砂
(国土地理院10月24日撮影空中写真)



写真10 砂利掘削の状況



写真11 砂利採取後の埋戻しの状況



写真12 埋戻し地盤における噴砂

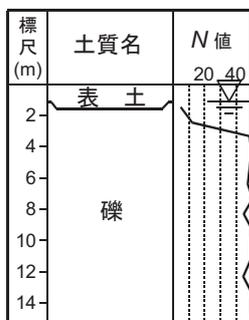


図7 大川原町における土質柱状図²⁾

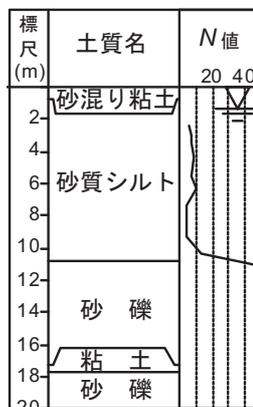


図8 新幹線脱線現場付近の土質柱状図²⁾

3.4 小千谷市・川口町・魚沼市（越の大橋以南）

信濃川の形成した平野の南限は、右岸地域では越の大橋まで、左岸は山辺橋までであり、これ以南の地域では丘陵・山地が大部分を占めている。従って、液状化が起りやすい沖積地盤は限られ、事実、長岡市以北の地域のような大規模で広範囲な液状化は生じていない。

この地域の液状化の様相は2種類に大別できる。一つは、軟弱粘性土地盤におけるマンホールの浮き上がりであり、もう一つは山間の河岸の低地・段丘の水田における噴砂である。

マンホールの浮き上がりは、小千谷市若葉町1丁目交差点付近をはじめとして小千谷市内の多くの箇所を観察され、また川口町、堀の内町でも起こっている。詳細は別報⁵⁾に譲るが、若葉町1丁目交差点付近では筆者らが確認しただけでも15基のマンホールが最大1.2m程度浮き上がっていた(写真13)。下水管路に沿って地盤が沈下し、所々に噴砂も見られた。また、小千谷市上村地区ではFRP製のマンホールが完全に地上に飛び出し倒れていた(写真14)。図9に写真14の近傍の土質柱状図を示す。GL-7.5m以浅は、透水性の悪い軟弱粘性土層と腐植土層であり砂層は見当たらないことから、1993年十勝沖地震・北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、2003年の十勝沖地震の際に北海道の泥炭地盤で見られた埋戻し材料の液状化によるマンホールの浮き上がりと同じメカニズムと考えられる。

信濃川は小千谷市より上流で著しく蛇行しポイントバーを形成しており、多くは氾濫原よりやや高く段丘化し水田として利用されている(写真15)。この段丘上の水田で写真15に示すような噴砂が散見された。段丘は沖積低地に比べて、液状化が一般に起こりにくいというのが通説であるが、この地域の河岸段丘の場合、背後の丘陵から多量の地下水の供給があり地下水位が極めて高いこと、ポイントバーは写真16に見られるように元々砂ないし砂礫質地盤であることから、液状化が発生したと推定される。なお、小千谷市稗生にある小千谷第二トンネルの小千谷側出口にある橋梁直下の水田では、写真17に見られるような直径4mの陥没が発生した。付近に軽微な噴砂があることから液状化による噴砂孔との説⁶⁾もあったが、筆者らが付近の住民に聞いたところ、この孔は、昔、石炭の採掘を行なった孔で、地震後、陥没したとのことである。地盤中で間隙水圧が上がったかは不明であるが、少なくとも噴砂孔ではないようである。

堀之内町新道島の魚野川に面した堀ノ内浄化センターの敷地(盛土地盤と推定される)では、魚野川堤防と敷地内の全域に沈下・亀裂・噴砂などを生じ、施設の沈下や配管類に亀裂・破断を生じていた(写真18)。



写真13 小千谷市若葉町におけるマンホールの浮上



写真14 小千谷市上村におけるFRP製マンホールの浮上・転倒



写真16 川口町八郎場の堤外地に見られるポイントバー



写真17 小千谷市稗生の水田に生じた陥没⁶⁾

標尺 (m)	土質名	N値
0	表土	20
1	砂質シルト	10
2	粘土混じり砂質シルト	10
3	砂質シルト	10
4	砂礫	10
5	腐植土	10
6	腐植土	10
7	腐植土	10
8	腐植土	10
9	腐植土	10
10	砂礫	10

図9 写真14の近傍の土質柱状図²⁾



写真15 川口町付近の信濃川のポイントバーと噴砂地点 (○で囲んだ範囲) (国土地理院10月24日撮影空中写真)

3.5 柏崎市

柏崎市内では、市街地南東の半田・希望ヶ丘・朝日ヶ丘などの新興住宅地で噴砂噴水があり、住宅20棟余りに不同沈下や水道管破裂などの被害が発生した(図10)。また、数年前に敷設された下水管路に沿って道路が沈下した(写真19)。住民によれば、被害地域は元水田で平成元年頃付近の丘陵を削った山砂で盛土造成し住宅が建てられたとのことである。被害家屋は外観上は顕著な傾斜は生じていないが、建具類の開閉不能、外壁の亀裂などを生じており、転居を余儀なくされた家もある。また、付近の佐藤池運動広場では、グラウンドに噴水を生じ、施設に沈下・陥没などの被害を生じた(写真20)。

図11に、図10の地域の明治44年の地形図を示す。住宅被害があった希望ヶ丘をはじめとする地域は、丘陵地に囲まれた水はけの悪い湿田である。また佐藤池運動広場は、その名の通り池であることがわかる。この池は旧版地形図の図歴より1970~1980年の間に埋立てられたようである。



図10 柏崎市の液状化発生地点
(国土地理院1/2.5万地形図「柏崎」を使用)

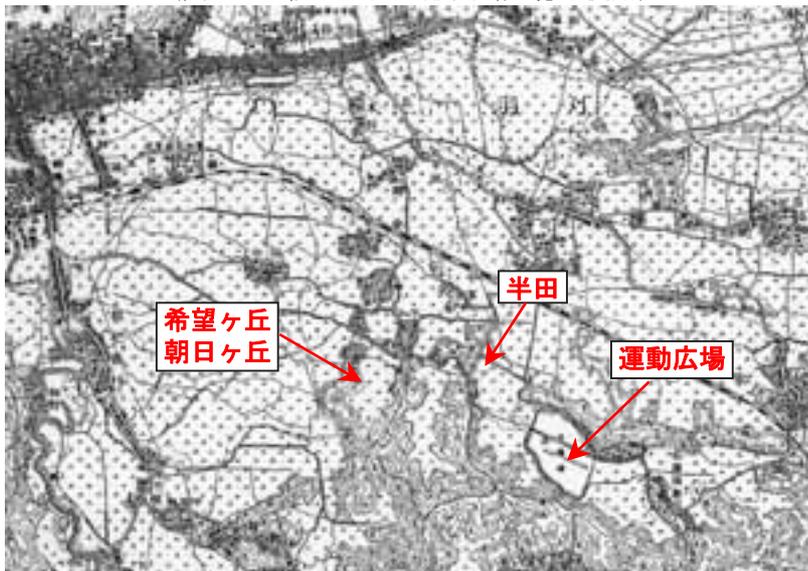


図11 柏崎市の液状化発生地点と旧地形との関係
(明治44年測図1/2.5万地形図「柏崎」を使用)



写真18 堀ノ内浄化センター管理棟アプローチの変状



写真19 柏崎市半田2丁目における道路の沈下(宮山陽子氏提供)



写真20 佐藤池運動広場クラブハウス周囲の沈下(宮山陽子氏提供)

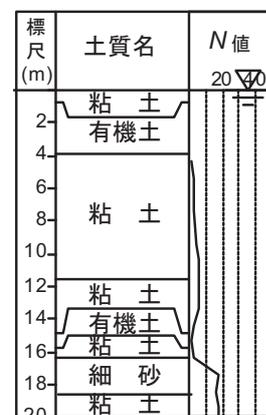


図12 液状化発生地点付近の土質柱状図²⁾

図12に半田と運動場の間を走る北陸自動車道の土質柱状図を示す。表層4mは有機土、その下10mは極めて軟弱な粘土となっており、地下水位は地表に近い。半田2丁目の被害家屋敷地内で地震後実施したスウェーデン式サウンディング調査によれば、盛土厚さは約4mであった。現地を観察すると、周囲の丘陵地は造成のために掘削されたため低地との比高は小さいが、丘陵から低地に向かって地下水が流出しており、丘陵との境界を流れる水路の鋼矢板護岸の隙間から地下水がザーと音を立てて水路に流れ込んでいた。また、被害を受けた住宅の敷地の地表面も、降雨後でないにもかかわらず湿気を帯びており地下水位が極めて高い状態であると推察された。

以上のことから、柏崎市の造成地では、周囲を丘陵で囲まれ集水地形となっていることなどから、盛土材料が液状化したものと推定される。また、見附市南本町での事例と同様、盛土直下の地盤が極めて軟弱で、そのため揺れやすかったことも液状化を誘発した一因と考えられる。

4 まとめ

今回の地震では、震源地から約30kmの範囲に液状化が発生し、特に信濃川沿岸では多数の噴砂が見られた。与板町、見附町付近の信濃川や刈谷田川沿岸では、1964年新潟地震で液状化が発生した同じ場所でも今回も噴砂が確認された。

液状化による被害は、農地の噴砂、道路亀裂・沈下、マンホールの浮き上がり、ライフラインの破断が主で、建物への影響は液状化の発生範囲が広がった割には少なかった。

液状化発生したと推定される土を、地形・地盤特性から分類すると以下ようになる。

- 1) 信濃川の旧河道、自然堤防、ポイントバーなど河成砂
- 2) 扇状地性の砂礫地盤における砂利採取跡地の埋戻し土
- 3) 腐植土が堆積する軟弱地盤上の盛土
- 4) 腐植土が堆積する軟弱地盤上の埋戻し土

5 謝辞

現地踏査を実施するに当たり(株)興和の柴田 東氏と中野義仁氏には多大なご協力を頂いた。また関東学院大学大学院生 伊藤 忠君にも現地踏査に同行して頂きお世話になった。柏崎市在住の宮山陽子さんには柏崎市内の新興住宅地での液状化被害に関する情報を提供して頂いた。以上の方々に記して深謝の意を表します。

6 参考文献

- 1) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図、東海大学出版会、1991.
- 2) 北陸建設弘済会：新潟県平野部の地盤図集、1981.
- 3) 朝日航洋ホームページ：www.aeroasahi.co.jp
- 4) 東京大学生産技術研究所古関研究室：2004年新潟県中越地震調査速報(11月2日)、<http://soil.iis.u-tokyo.ac.jp/index-j.htm>
- 5) 安田 進・規矩大義：下水道施設の被害、平成16年新潟県中越地震被害調査報告会梗概集、pp.131-135、日本地震工学会・土木学会・日本建築学会・地盤工学会・日本地震学会・日本機会学会・震災予防協会、2004
- 6) 応用地質(株)：平成16年(2004年)新潟県中越地震被害調査速報、2004.

4. 土木構造物の被害

(1) 道路施設

杉田秀樹¹⁾

1)正会員 独立行政法人土木研究所耐震研究グループ(振動) 上席研究員

1 道路施設被害の全体概要

今回の新潟中越地震では、震源近傍の小千谷市、長岡市、魚沼市を始め、新潟県下の15市31町14村の広範囲にわたって道路施設の被害が生じた。新潟県災害対策本部の集計によれば、道路施設の被害箇所数は延べ6,062箇所(11月30日現在)、また道路施設の被害額は1,315億円(11月10日現在)と報告されており、公共土木施設全体の被害額1,821億円の約72%を占めている。被害箇所数や被害額は詳細調査の進展に応じて更に増加することも想定されるが、例えば1995年兵庫県南部地震による兵庫県内の道路施設被害額5,583(兵庫県発表、平成7年度末現在)の約24%に相当するものである。

国道・主要地方道・一般県道において、全面通行止めの要因となった道路施設被害の内訳を整理すると表1の通りである。これによれば、道路施設被害は土工被害が87%を占めており、橋梁被害(橋梁取り付け部の段差を含む)は10%、トンネル被害(坑口部の崩壊を含む)は3%の順となっている。このように道路施設被害の大部分を土工被害が占める被害の発生傾向は、1978伊豆大島近海地震や1984長野県西部地震等の山地型地震に類似している。

被災地周辺の道路ネットワークを模式的に示すと図1の通りである。今回の地震では、広域ネットワークを形成する関越自動車道と、域内の緊急輸送ネットワークを形成する国道8号・国道17号・国道117号等が地震被害により寸断され、上越新幹線の運転休止とも相まって、被災地域内外の交通や物流に大きな影響を及ぼした。また、震源近傍の山間部では生活道路が寸断されたため、山古志村を中心に合計61箇所の孤立地区が発生した(11月29日現在、44箇所が解消)。

本報では、地震直後に土木研究所が国土技術政策総合研究所等と実施した現地調査結果²⁾に基づき、道路橋、道路トンネル、道路上工(道路盛土、道路擁壁、カルバート)の主要な被害状況(位置は図2を参照)を報告するものである。

2 道路橋の主要な被害

2.1 国道8号新組跨線橋(長岡市新組町)

新組跨線橋(平成元年竣工)は、JR信越本線を跨ぐ、上部構造が7径間単純鋼桁、下部構造が円形RC単柱からなる橋である。上下線が分離しており、柏崎方面へ向かう下り線のP5橋脚でかぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出し、帯鉄筋の重ね継手のはずれが生じていた(写真1参照)。この位置では軸方向鉄筋の段落しがされていた。また、他の橋脚では水平及び斜めひびわれが生じていた。上り線は鋼板巻立てによる耐震補強済みであり、損傷は確認されなかった。

2.2 国道17号小千谷大橋(小千谷市ひ生-三仏生)

小千谷大橋(昭和57年竣工)は、信濃川を渡河する、上部構造が4径間と3径間の連続鋼箱桁、下部構造が円形RC単柱からなる橋である。このうち、4径間連続桁の固定部に当たるP2橋脚の柱部と横梁部との境界付近において、かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出し、帯鉄筋の重ね継手のはずれ、斜めひびわれが生じた(写真2参照)。可動支承のみを有する橋脚では上流方向に水平・斜めひびわれが生じた。この他に、ピンローラーの可動支承のサイドブロックの損傷(写真3参照)、3径間連続桁固定支承部の箱桁フランジの変形が生じた。

2.3 国道117号山辺橋(小千谷市山本)

山辺橋(昭和61年竣工)は、JRの発電所の導水管を跨ぐ斜面上に位置する橋である(写真4参照)。上部構造が単純鋼桁1桁2連+単純鋼箱桁+鋼ローゼ桁+単純鋼桁、下部構造が単純桁部はRC2柱ラーメン橋脚、ローゼ桁部は、可動側が2柱壁構造、固定側が壁式からなり、深礎杭に支持されている。主な損傷としては、

ローゼ桁を支持する壁式橋脚のかぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出し、帯鉄筋の重ね継手のはずれや、ラーメン橋柱部の水平及び斜めひびわれが生じた（写真5参照）。また、ラーメン橋脚の柱高さが小さい柱の上部に位置する梁部に縦ひびわれが生じた。その他に、1m程度の橋台背面盛土の沈下、橋台上支承の移動制限用突起の破断、橋台の傾斜変形に伴い、躯体部と深礎杭間の鉄筋の破断が確認された。

3 道路トンネルの主要な被害

道路トンネルでは、国道17号の和南津トンネル（川口町野田）において被害が発生した。本トンネルはシルト質砂岩に底設導坑先進上部半断面工法により掘削された延長300mのトンネルであり、工事は昭和40年に完成した。主な被害状況は、長岡側坑口から約100mの区間で天端部に縦断方向に連続して覆工コンクリートの剥落が発生するとともに、長岡側坑口から約100mの地点では幅約2m延長約20mにわたって天端部の覆工コンクリートが崩落した（写真6参照）。また、長岡側坑口部においては、トンネル上部の斜面の一部変状、坑門上部の擁壁の転倒が認められた。その他、側壁コンクリート及び側溝の変状なども所々に認められた。当面、応急対策として覆工が崩落した箇所をコンクリートで充填するとともに、長岡側坑口から約120mの区間については覆工の内側に鋼製支保工を建て込むことなどにより、通行車両の安全性を確保することとなった。

4 道路土工の主要な被害

4.1 国道17号川口町天納（道路盛土）

国道17号川口町天納地区で、幅約40mにわたって盛土のり面が崩壊した（写真7参照）。国道17号の谷側にはJR上越線が並行しており、のり面崩壊はJR上越線とともに生じた。和南津トンネルの地質縦断図を参照すると、シルト質砂岩およびシルト混じり細粒砂岩が流れ盤的な構成をしている上に段丘堆積物が載った地盤構成と推察される。当該箇所では、山側に臨時の仮設道路を設置して緊急車両の通行を可能にした後、山側に迂回路を確保することで一般車両の通行を開放した。

4.2 国道117号小千谷市塩殿（道路盛土）

国道117号小千谷市塩殿地区で、谷部を横断する高さ約30mの道路盛土が大きくすべり崩壊した（写真8参照）。すべり土塊の先端部は、盛土のり尻から30m程度先まで流れるように大きく移動した（写真9参照）。当該箇所では、崩壊部に碎石による余盛を施すことにより、片側交互通行により一般に通行を開放した。

4.3 関越自動車道小千谷 IC 付近（カルバート及びL型擁壁）

関越自動車道小千谷 IC 付近で、関越自動車道を横断するボックスカルバートに損傷が生じた（写真10参照）。2函のカルバートが中央分離帯の直下で突き合わされる構造であり、H地部が函軸方向に約70cm開いて、裏込め土がカルバート内に流入した（写真11参照）。カルバート函体は周辺道路と比較して約30cm沈下した。当該箇所を含めて、カルバート直上部では路面の段差が多数発生し、道路交通確保の障害となった。

また、本カルバート近傍で道路盛土の腰留め擁壁に損傷が生じた（写真12参照）。高さ1.5mのプレキャスト製のL型擁壁であり、前面への滑動と転倒、たて壁の根元位置での破損が生じた。当該箇所の近傍では電柱の大きな傾斜、浄化槽の浮き上がり、道路舗装の捲れ上がり等、表層地盤の変状を示す痕跡が認められた。

4.4 関越自動車道堀之内 IC（補強土擁壁）

関越自動車道堀之内 IC の上り線ランプにおいて、高さ約9mの補強土擁壁（テールアルメ）に損傷が生じた（写真13参照）。下端から3m程度より上方の壁面が前面にはらみ出しており、壁面材の傾斜、ずれ、破損が生じた。擁壁上部はサービス道路となっており、壁面から6m程度離れた地盤が40cm程度陥没する等、擁壁背後地盤がすべり破壊した痕跡が認められた。

5 道路ネットワークの被害と復旧

今回の地震により、高速道路では北陸自動車道及び関越自動車道の中越地区で全面通行止め、直轄国道では国道8号・国道17号・国道116号の12箇所でも全面通行止め、県管理の国道と県道では222箇所でも全面通行止めの措置が取られた。地震後の時間経過に伴う交通規制箇所数の推移を整理すると表2の通りである。また、地震発生から24時間後と14日後の時間断面における交通規制状況を示すと図3の通りである。

広域ネットワークを形成する北陸自動車道と関越自動車道は、地震発生から19時間後（10月24日13:00）には片側1車線ながらも緊急車両の通行が可能となり、さらに13日後（11月5日16:00）には全線で一般車両

の通行が確保された。高速道路の早期復旧により被災地圏外からの緊急救援物資の輸送路が確保され、被災地域の救援活動や復旧活動に大きな役割を果たした。また、弊越自動車道と上信越自動車道は関越自動車道の迂回路として利用され、緊急物資輸送の代替路としての機能を果たした。

被災地域内の緊急輸送を担う直轄国道では、地震発生から2日後（10月25日）までに国道17号和南津トンネルを除いて一般車両の通行が確保された。さらに、地震発生から10日後（11月2日）には和南津トンネルが片側交互通行により仮復旧し、全線で一般車両の通行が確保された。

一方で、地震発生から1ヶ月が経過した11月23日現在においても、県管理の国道・県道では86箇所で全面通行止めの状況が続いている。また、被災地域内の生活道路である市町村道の被害は広域かつ多数に及んでおり、孤立地区の早期解消に向けて懸命の復旧活動が続いている。

6 被害のまとめと今後の課題

- 1) 今回の新潟県中越地震では、新潟県下15市31町14村の広範囲にわたり、6,000箇所を超える道路施設被害が生じた。道路施設被害の多くは盛土や擁壁等の土工被害であり、道路橋や道路トンネルの被害は限定的であった。大規模な被害箇所については、構造条件、地形条件、地盤条件、災害履歴等の詳細な情報に基づいて被災メカニズムを分析し、今後の地震時安全性の確保に資することが重要である。また、台風23号の影響によって、被災地周辺では地震発生前の5日間で100mmを超える累積降雨（例えば、長岡市の10月平均降雨量の約5割に相当）があったことから、道路施設被害と事前降雨の関係について検討しておくことも重要である。
- 2) 道路橋では、鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落とりに起因する損傷、支承部の損傷、取付盛土の段差等の被害が生じた。被害箇所数と被害程度がともに限定的であったことから、早期に応急復旧措置が取られ、道路交通に大きな影響を及ぼすことはなかった。
- 3) 道路土工では、山間地における盛土崩壊、擁壁の傾斜・破損、カルバートの変形・損傷、路面の陥没・段差など多様な被害が生じた。国道17号天納や国道117号塩殿等で生じた沢部盛土の崩壊は、釧路沖地震等で見られたような盛土材の流動的な崩壊に類似しており、被災メカニズムの検討が必要である。
- 4) 地震発生直後には、広域ネットワークや域内緊急輸送ネットワークが随所で寸断されたが、関越自動車道や国道17号等の幹線道路が早期に復旧したことにより、被災地域内外を結ぶ緊急物資輸送路が確保され、被災者の救援活動や地域の復旧活動に大きな役割を果たした。

謝辞

現地調査の実施に際して、国土交通本省、同北陸地方整備局および新潟県を始めとする関係各位には、災害対応でご多忙のなか情報提供等ご協力を頂いた。ここに記して厚く謝意を表したい。

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局道路部：道路の被災と復旧、2004.11.22
- 2) 国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所：平成16年新潟県中越地震の緊急調査速報、土木技術資料、Vol.46、No.12、2004.12（本文中、道路橋と道路トンネルの被害は当該文献から再掲）

表1 全面通行止め箇所数の内訳
(国土交通省発表資料をもとに集計、11月29日現在)

	全面通行止め箇所数			合計
	道路橋被害	道路トンネル被害	道路土工	
国道	13	2	63	78
道	7	6	65	78
一般県道	4	0	81	85
合計(%)	24(10%)	8(3%)	209(87%)	241

表1 交通規制箇所数の推移
(国土交通省発表資料をもとに集計、11月29日現在)

		高速道路※ (km)	直轄国道 (箇所)	補助国道・県道 (箇所)
地震直後 (10/23)	全面通行止め	377.2	22	153
	規制解除	0	0	0
24時間後 (10/24)	全面通行止め	294.7	15	99
	規制解除	82.5	4	24
3日後 (10/26)	全面通行止め	171.0	6	112
	規制解除	206.2	12	46
7日後 (10/30)	全面通行止め	80.2	1	110
	規制解除	262.0	19	78
14日後 (11/6)	全面通行止め	0	0	105
	規制解除	262.0	20	113
1箇月後 (11/23)	全面通行止め	0	0	86
	規制解除	262.0	21	-

※高速道路については、一般車両の規制区間(IC間)の総延長を示す。



図1 被災地周辺の道路ネットワーク
(北陸地方整備局発表資料¹⁾より転載)



図3 交通規制状況の推移 (24時間後、14日後)
(北陸地方整備局発表資料¹⁾より転載)



図2 主要な道路施設被害の分布
(国土交通省長岡国道事務所管内図に加筆)



写真1 国道8号新組跨線橋 (かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出し)



写真2 国道17号小千谷大橋（かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出し）



写真5 国道117号山辺橋（壁式橋脚かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出し）



写真3 国道17号小千谷大橋
（可動支承のサイドブロックの損傷）



写真6 国道17号和南津トンネル（長岡側坑口より約100mの地点で覆工コンクリートが落下）



写真4 国道117号山辺橋
（JR発電所の導水管を跨いで斜面上に位置する）



写真7 国道17号川口町天納（幅約40mにわたって盛土のり面が崩壊）



写真8 国道117号小千谷市塩殿
(谷部を横断する高さ約30mの盛土)



写真11 関越自動車道小千谷IC付近のカルバート
(函体目地部が開いて裏込め土が流入)



写真9 国道117号小千谷市塩殿 (滑り土塊の先端
がのり尻から約30m先まで流れるように崩壊)



写真12 関越自動車道小千谷IC付近のL型擁壁
(擁壁前面への滑動と転倒、たて壁の破損)



写真10 関越自動車道小千谷IC付近のカルバート
(カルバート函体が約30cm沈下)



写真13 関越自動車道堀之内ICの補強擁壁
(壁面のはらみ出し、壁面材の傾斜と破損)

新潟県中越地震における土木構造物の被害（鉄道施設）

石橋忠良¹⁾

1)フェロー会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター、所長

1. 鉄道施設の被害（JR 東日本）

今回の地震の影響により、上越新幹線の越後湯沢 - 新潟間および在来線の一部区間で運転を見合わせた。新潟地方の主な路線図を図1に示す。

地震発生直後より、各種構造物の点検・調査、脱線車両の撤去作業等を開始した。本震発生後の断続的な強い余震の発生等により、調査・作業の一時中断を伴いながら被害状況の把握、復旧等を行った。この区間で判明した新幹線関連鉄道施設の主な被害状況を図2に示す。



図1 新潟地方の主な路線図

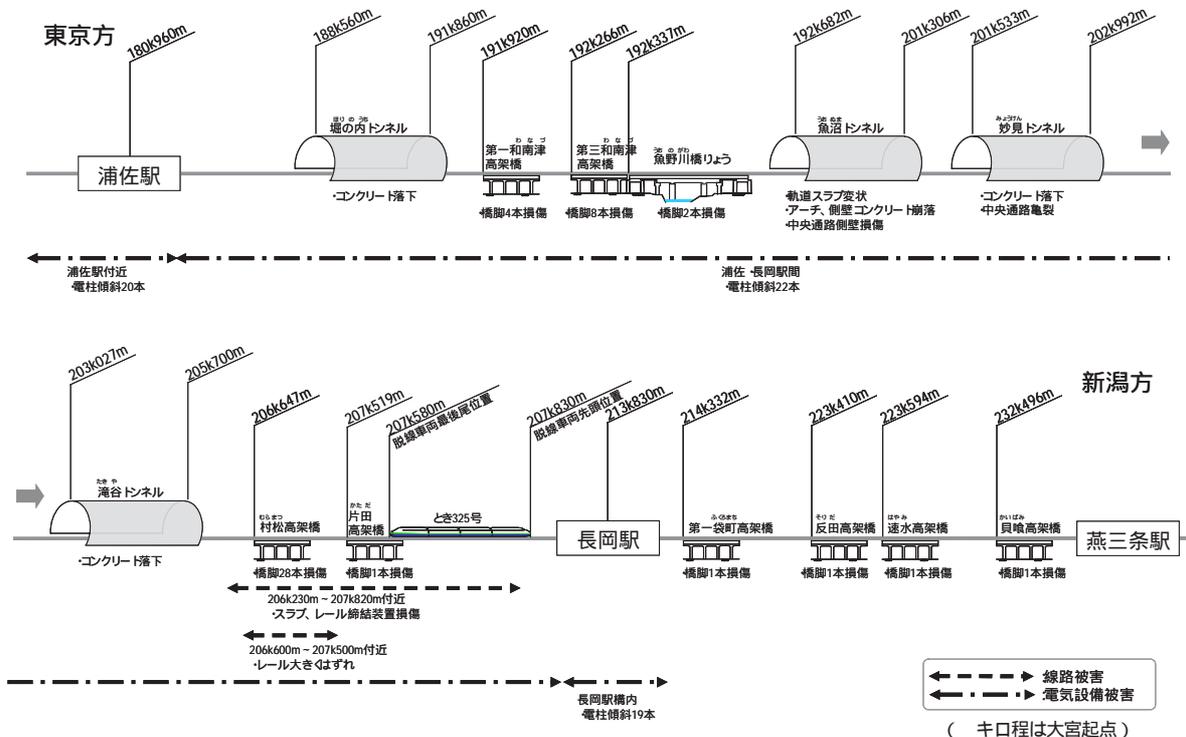


図2 新幹線関連鉄道施設の主な被害状況

2. 新幹線関連土木構造物の被害

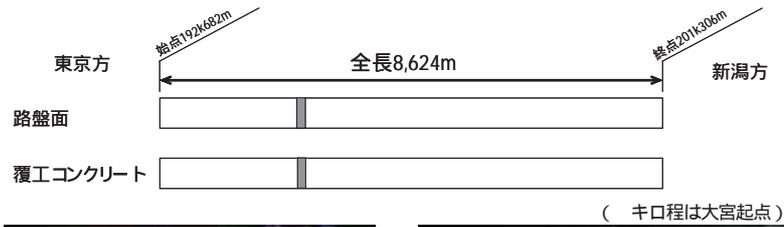
2.1 トンネル

この付近の地質は、新第三紀鮮新世から第四紀洪積世の魚沼層（礫岩、泥岩、砂岩およびそれらの互層）、新第三紀中新世の椎谷層（泥岩および砂岩・シルト岩互層）等の堆積岩が広く分布している。

この区間のトンネルは、昭和47年～54年頃に矢板工法により施工され、地質、地山条件に応じて、底設導坑先進工法、側壁導坑先進（サイロット）工法等の掘削工法により建設されたトンネルが主である。覆工巻厚は、岩種別に50cmと70cmの2種類を標準とし、地質、地山条件によっては90cm以上の場合もある。また、路盤はスラブ軌道の採用に伴い、全区間にわたり厚さ25cmの路盤鉄筋コンクリートが施工されている。さらに当該区間では、この下に下層路盤として厚さ35cmまたは50cmのインバートコンクリートが施工されている。

これまで、山岳トンネルについては地震に対して強い構造物であるという考え方が一般的であったが、今回の地震において、浦佐・長岡間の4トンネル（東京方より、堀之内、魚沼、妙見、滝谷の各トンネル）において、路盤の変状、覆工コンクリートの崩落・剥落、中央通路の変状等の被害が生じた。特に、魚沼、妙見の2トンネルにおいて被害が顕著な状況であった。魚沼トンネルにおいては、一部の区間でアーチ部の覆工コンクリートの崩落または剥落、路盤コンクリートの浮き上がり等の被害が発生した（図3）。妙見トンネルでは、天端部の圧さによるコンクリート剥落、側壁部のひび割れ等が発生した（図4）。

主な復旧方法として、覆工コンクリートの崩落箇所は、ロックボルト打設、吹付けコンクリート、繊維補強板による内巻き等を行っている。路盤部分については、ひび割れ箇所への注入、ロックボルト打設、路盤コンクリートの打ち替え等を行っている。



195k080m 付近 軌道スラブ変状



195k060～180m 付近 覆工コンクリート剥落

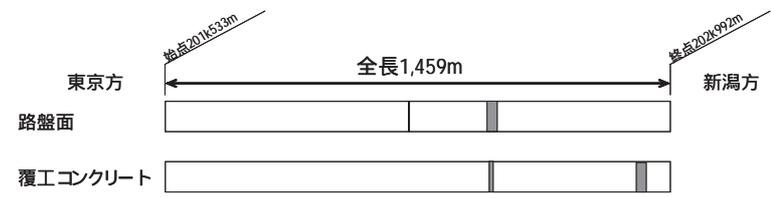


195k060～180m 付近 覆工コンクリート剥落



195k060～180m 付近 中央通路側壁傾斜

図3 魚沼トンネル被害状況



202k255m 付近 中央通路ひび割れ



202k406～530m 付近 軌道変状



202k858m 付近 天端部コンクリート圧さ

図4 妙見トンネル被害状況

2.2 高架橋

今回の地震により被害を受けた高架橋では、柱等にひび割れ、かぶりコンクリートの剥落等の損傷が見られた。主な損傷は、柱頭部において幅 0.2～0.5mm 程度のひび割れが発生するような比較的軽微なものであったが、損傷の大きいところでは柱上部から中央部付近へ向けてのひび割れ、かぶりコンクリートの剥落、内部の鉄筋の露出が見られた。ただし、高架橋全体が崩壊するような損傷はなかった。

損傷の大きかった高架橋は、上越新幹線の浦佐・長岡間（大宮起点 191k950m～192k250m 付近）に位置する第一和南津高架橋や第三和南津高架橋であり、数本の柱にせん断力により生じたと思われる損傷が見られた。このうち、第一和南津高架橋の柱については、耐震診断の結果せん断破壊先行型と判定されており、2005年に耐震補強を行う計画であった（写真1）。一方、第三和南津高架橋の柱は、耐震診断上せん断破壊先行型ではないが、高架橋完成後に地表付近に施工された別の構造物が影響し、柱の状況が設計時に想定していた構造系と異なる状況となったために損傷を受けたものと考えられる（写真2）。

損傷を受けたすべての柱について、ひび割れ注入を行い、必要により断面修復および耐震補強を行い、復旧作業を行っている。

2.3 橋りょう

第三和南津高架橋から続いて終点側に位置する魚野川橋りょう（大宮起点 192k450m 付近、3径間連続 PC 桁、全長 228m、最長スパン 90m）の橋脚 2 基に、高さ方向の中間部付近に鉄筋のほらみ出しおよびかぶりコンクリートの剥落等の損傷が見られた（写真3、4）。

損傷が見られた位置は、橋脚躯体の軸方向鉄筋が途中定着されている位置とほぼ一致していた。今回の地震力が設計時に考慮していた水平力を超え、その後、途中定着部付近が弱点となり損傷が集中したものと考えられる。

復旧作業は、損傷を受けた橋脚 2 基ともに、損傷を受けた途中定着部付近にひび割れ注入および断面修復を行い、さらに躯体全体を RC 巻き工法等を用いた耐震補強を行っている。

2.4 軌道関係

今回の地震により新幹線「とき 325 号」が脱線するという初めての被害が生じた。脱線の原因、メカニズム等については、別途検討を行っている状況である。新幹線が脱線した付近の軌道の状況は、滝谷トンネルを出た地点から、締結装置が破損し約 900m 間に渡りレールが外れていた。なお、脱線車両の先頭部から進行方向（長岡方面）はレールの外れや締結装置の破損等はなかった。



写真1 損傷状況（第一和南津高架橋）



写真2 損傷状況（第三和南津高架橋）



写真3 損傷状況（魚野川橋りょう 2P）



写真4 損傷状況（魚野川橋りょう 3P）

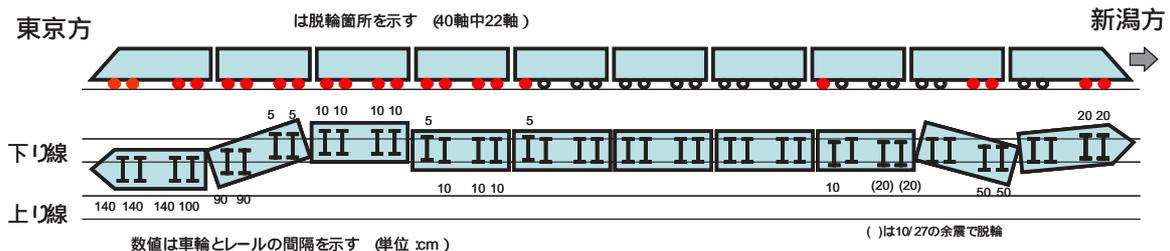


図5 新幹線車両脱線状況

また、軌道スラブについては、脱線車両車輪の軌道スラブ上の走行、あるいは脱線車両の接触等によりコンクリート端部が欠けた箇所などはあるが、軌道スラブ板全体としては大きな損傷は受けていなかった(図5、写真5)。

3. 在来線関連土木構造物の被害

在来線では、震源に近い上越線、信越本線、飯山線、只見線、越後線で土構造物、トンネル、乗降場など多数の構造物が被害を受けた。

3.1 土構造物

土構造物の損傷状況としては、上越線、信越本線を中心に築堤崩壊、路盤陥没、道床流出などが生じた。特に、上越線は沢部・谷部などの急峻な地形に盛土を構築した箇所が、その崩壊により著しい被害を受けた。

以下に主な線区の被害状況を述べる。

3.1.1 上越線(図6)

今回の地震における大きな被害は越後川口・小千谷間に集中していた。

は下り線の盛土が延長60m、土量約9,900m³崩壊した。崩壊土は、のり尻にあたる信濃川まで達していた。当該箇所には以前より、斜面の中腹に土留擁壁、のり面工が施されていたが今回の地震で全て崩壊した。なお、上り線はトンネルとなっており特に大きな損傷は見当たらなかった。

は上下線の盛土が延長68m、土量約9,000m³崩壊した。ここは並行して走る国道17号線の盛土も同じように崩壊した。斜面中腹部の用地境界に重力式擁壁があったが、崩壊土砂に巻き込まれ倒壊し、下方へ押し流された。

は上下線の盛土が延長30m、土量約1,300m³、は上下線の盛土が延長50m、土量約7,500m³それぞれ崩壊した(写真6)。

復旧方法については、補強盛土により盛土を再構築し、谷部であることから、排水処理を施した構造としている。



とき 325号最後尾車両(約30°傾斜)
下り線 207k580m付近



約900mにわたりレールが外れる
下り線 206k600m~207k500m

写真5 新幹線の被害状況



図6 上越線における盛土等災害位置図



220k400m付近盛土崩壊



220k900~040m付近盛土崩壊



221k500~670m付近盛土崩壊



221k950~100m付近盛土崩壊

写真6 上越線の被害状況

3.1.2 信越本線

信越本線での大きな被害は、越後広田・長鳥間で延長 300m、崩壊土量約 930 m³の築堤崩壊および 長鳥・塚山間で延長 150m、崩壊土量約 15,000 m³の築堤崩壊が発生した（写真 7）。

復旧方法については、はシートパイプにより土留を設け、盛土を構築し、グラウンドアンカーを設置する。は盛土を再構築し、のり面工を設けることとした。

当該線区は復旧工事も順調に進み、11/29 に全線で運転を再開している。

3.2 トンネル

新幹線同様に在来線においては、上越線の北堀之内・越後滝谷間の和南津、中山、牛ヶ島、天王、新榎峠（上り線）、榎峠（下り線）の 6 トンネルで地震による被害を受けた。

これらのトンネルは、大正 10 年から昭和 41 年頃にかけて矢板工法により施工され、経年 30 年以上経過している。路盤は、一部インバートが設置されているものの、ほとんどのトンネルがインバートのない構造となっており、バラスト軌道となっている。

今回の地震では、特に和南津トンネルにおいて、覆工コンクリートの崩落、榎峠トンネルにおいて、坑口付近の斜面崩壊に伴う土砂流入などの被害があり、その他トンネルにおいても覆工のひび割れ、坑門損傷等の被害が生じた（写真 8）。

主な復旧方法として、覆工コンクリートの崩落箇所では、ロックボルト打設、吹付けコンクリートを施工した後、覆工コンクリートの打ち替えを行っている。その他のひび割れ箇所等は、ひび割れ注入等により対応している。

3.3 橋りょう

飯山線の内ヶ巻・越後川口間に位置する魚野川橋りょうの橋脚に損傷が見られた。

本橋りょうは上路プレートガーター（スパン 12m～20m）20 連の橋りょうであり、その橋脚 19 基のうち 16 基に、水平方向に断面を貫通するようなひび割れが発生する損傷が見られた。そのうちさらに数基には、ひび割れ面から下部にかけて石積みブロックやコンクリートの剥落が見られた（写真 9、10）。

復旧は、断面修復および RC 巻立ての耐震補強を行うことを基本として行った。今後、基礎についても補強を行う予定である。



48k400～700m付近築堤崩壊



54k800m付近築堤崩壊

写真 7 信越本線の被害状況



和南津トンネル
覆工コンクリート崩落



榎峠トンネル（下り線）
坑口付近の斜面崩壊に伴う土砂流入



新榎峠トンネル（上り線）
覆工コンクリートひび割れ



牛ヶ島トンネル
坑門損傷

写真 8 上越線各トンネルの主な被害状況



写真 9 損傷状況（魚野川橋りょう 9P）



写真 10 損傷状況（魚野川橋りょう 17P）

(3)河川施設

山口嘉一¹⁾、杉田秀樹²⁾

- 1) 独立行政法人 土木研究所 水工研究グループ、上席研究員（ダム構造物）
- 2) 正会員 独立行政法人 土木研究所 耐震研究グループ、上席研究員（振動）

1. 河川堤防等の被害

1. 1 全体概要

今回の新潟県中越地震による河川堤防等の被害を整理すると図1および表1の通りである。直轄河川では信濃川水系信濃川および魚野川、信濃川水系信濃川下流、また補助河川では4水系49支川において被害が報告されている（国土交通省発表、11月1日現在）。河川堤防や樋門・堰等の河川構造物の主要な被害は、震源近傍の小千谷市から大河津分水路河口までの信濃川中下流域に多い。また支川では、土砂崩壊による河道閉塞が多数発生した。

なお信濃川水系では、1964年新潟地震により新潟市街の信濃川河口近傍で河川施設に著しい被害が生じた経験を持つが、今回の地震で被害を生じた地域では過去に大きな被害の報告はない。また、今回の地震とほぼ同じ地域では1933年にM6.1の地震が発生しているが、河川施設の被害は報告されていない。

直轄河川においては、合計181箇所（80%）の被害が報告されている。被害箇所の内訳は、堤防・護岸等の亀裂が145箇所（80%）と多数を占め、堤体の陥没や崩壊が25箇所（14%）、樋門・堰等の河川構造物の被害が11箇所（6%）であり、被害パターンの発生傾向は既往の地震被害に類似している。ここで、被害パターン別に被害箇所数の分布を整理すると図2の通りである。小千谷市周辺から上流域では、被害箇所数は多いが、主たる被害パターンは堤防・護岸等の亀裂である。一方、小千谷市周辺から下流域では、上流域と比較して被害箇所数は少ないが、堤体の陥没や崩壊など比較的大規模な被害を生じた箇所が多い。信濃川中下流域においては、堤防のり尻周辺で液状化の発生を示す噴砂痕が少なからず認められており、堤体の陥没や崩壊には堤体基礎地盤の液状化が関与していることが推察される。

本報では、地震直後に筆者らが行った現地調査結果²⁾等に基づき、河川堤防と堰構造物の主要な被害状況（位置は図3参照）を報告する。



図1 河川堤防等の被害分布¹⁾

表1 河川堤防等の被害箇所数
（国土交通省北陸地方建設局発表 11月1日現在）

直轄河川							
水系	河川	亀裂	沈下	崩壊	構造物	計	応急対策
信濃川	信濃川	100	16	1	6	123	74
信濃川	信濃川下流	1	0	0	0	1	1
信濃川	魚野川	44	6	2	5	57	50
1水系	3河川	145	22	3	11	181	125
		80%	12%	2%	6%		69%
						(11月10日現在 185)	86%
補助河川							
水系	河川	亀裂等	崩壊	構造物	閉塞	計	応急対策
信濃川	刈谷田川	4	0	0	0	4	0
信濃川	黒川	18	2	2	1	23	7
信濃川	47河川	27	28	0	29	84	55
信濃川	鱒石川						
信濃川	郷本川						
信濃川	島崎川						
4水系	49河川	49	30	2	30	111	62
		44%	27%	2%	27%		56%
						(11月10日現在 191)	89%

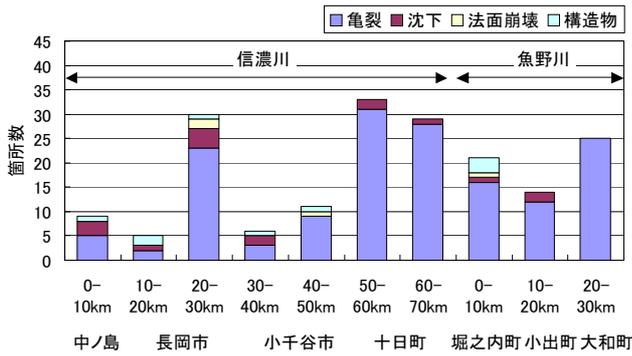


図2 被害パターンの発生傾向



図3 河川堤防等の被害箇所の分布

1. 2 個別箇所の被災状況

(1) 信濃川右岸堤防 6.5km (中之島町長呂)

延長 100m 程度にわたり堤防天端に縦断亀裂と陥没が発生した (写真 1 参照)。このうち 50m 程度では、のり肩を残して天端が約 80cm 程度も大きく陥没した。堤体の縦断亀裂は川裏側のり面と小段にも生じており、川裏側のり面が全体的に沈下した形跡も認められる。川表側のり尻には噴砂痕が多数認められるため、被害の主たる要因は堤体基礎地盤の液状化であると推察される。本被災箇所では、盛土とビニールシート張りによる応急復旧が 11 月 1 日に完了している。

(2) 信濃川右岸堤防 29.1-29.25km (長岡市三俣野)

天端幅 7m のうち 3m 程度を残して、川裏側のり面が延長約 150m にわたって滑り崩壊した (写真 2 参照)。被災区間に並行して、堤内側のり尻に 3 面張りの水路が設置されているが、この水路には変状は認められない。また、周辺に液状化の痕跡も認められないことから、被害の主たる要因は堤体基礎地盤の液状化ではなく、強い地震動に伴う慣性力の作用によって堤体自体が滑り崩壊したものと推察される。本被災箇所では、盛土とビニールシート張りによる応急復旧が 10 月 25 日に完了している。

(3) 信濃川左岸堤防 4.5km (与板町馬越)

延長 800m 程度にわたり堤防天端に縦断亀裂と陥没が発生した (写真 3 参照)。堤防天端は両のり肩を残して最大 70cm 程度陥没した。堤防天端の沈下量に比べるとのり肩やのり面では大きな変状は認められない。川表側のり面に軽微なはらみ出しが認められるが、のり尻付近の農道には変状は認められない。川表側のり尻に噴砂痕が認められ、堤体基礎地盤の液状化が関与していると推察される。本被災箇所では、亀裂への土砂充填による応急復旧が完了している。



(a) 堤防天端の縦断亀裂と段差



(b) 川表側のり尻付近の噴砂痕

写真 1 信濃川右岸 6.5km (中之島町長呂)



(a) 川裏側のり面のすべり崩壊（北陸地整撮影）



(a) 妙見堰全景（写真奥が左岸側1番ゲート）



(b) 川裏側のり尻の水路（変状は認められない）



(b) 越の大橋（写真右）との一体構造



(c) 応急復旧の状況

写真2 右岸 29.1-29.25km（長岡市三俵野）



(c) 門柱部分の損傷

写真4 信濃川 30.0km 妙見堰



写真3 信濃川左岸 4.5km（与板町馬越）



写真5 妙見堰管理所建物の傾斜 9.1-29.25km



写真6 妙見堰付近の低水護岸の損壊

(4) 信濃川 30.0km 妙見堰（長岡市妙見）

信濃川の河床安定、用水・上水の取水、および JR 信濃川発電所の水力発電による流量調整を目的として、平成2年に竣工したローラーゲート8門を有する全長524mの可動堰である。今回の地震では門柱部分に被害を生じた（写真4参照）。被害程度が比較的大きいのは、現河床堆積物が厚く分布しているためオープンケーソン基礎を採用した中でも堆積物の厚さが最も厚い左岸側第1ゲート両側の門柱であり、門柱の基部または中間部でコンクリートが剥落して鉄筋が露出していた。残留変位は目視では確認できないが、ゲートを損傷位置より上方に操作できない状態が続いた。

妙見堰の左岸側第1ゲートは操作盤の転倒により地震後一時操作不能となったが、他のゲートも余震により操作不能になる可能性があるため、取水に最低限必要な2門のゲートを除いて残りのゲートを開放する措置が取られた。また、右岸側に立地する妙見堰管理所では建物全体が傾斜したため（写真5参照）、屋上に設置されたマイクロ鉄塔の撤去、および、建物への立入規制の措置が取られた。堰上下流左岸の低水護岸が一部損壊していたが、踏査を行った上流側護岸の陥没深さは約1mであった（写真6参照）。同写真の箇所から上流へ数百mの区間では護岸に多数の亀裂が認められた。

1. 3 応急復旧の状況

台風24号（10月26日温帯低気圧に変更）の接近に伴う降雨が予想されるなか、10月24日（日）から夜間作業を混じえた応急復旧作業が続けられ、11月10日現在で直轄河川は86%、補助河川は89%の応急復旧が完了している。被災程度が大きい箇所では、計画高水位に対して堤防が本来有する治水機能を保持するため最優先で復旧が進められ、二次災害の可能性が軽減されている。

1. 4 まとめと今後の課題

- 1) 新潟県中越地震により、信濃川全域と支派川において、河川堤防等に多くの被害が生じた。被害パターンは大別して、堤体の亀裂、堤体の陥没と崩壊、構造物の損傷である。信濃川下流域においては液状化に伴う噴砂痕が少なからず認められることから、堤防被害には基礎地盤の液状化が関与していることが推察される。一方、妙見堰付近の中流域から上流域にかけては液状化の痕跡は左程認められず、多くの堤防被害は強い地震動に伴う慣性力の作用によるものと推察される。今後、主要な被害箇所の堤体や基礎地盤の土質条件、地形条件、築堤履歴等の詳細な情報に基づいて、被災メカニズムを検討する必要がある。
- 2) 堤体の陥没や崩壊が生じた箇所は、全体の16%程度を占める。被災程度が大きい箇所では、計画高水位に対して堤防が本来有する治水機能を保持するための応急復旧が地震直後より進められ、二次災害の可能性が軽減されている。
- 3) 震源近傍の妙見堰では、端部ゲートの門柱2基でコンクリートが剥落して鉄筋が露出した。これまでに堰構造物の被災事例は少ないことから、被災メカニズムを解明して耐震性向上に役立てることが重要と考えられる。

2. ダム等の被害

2. 1 全体概要

今回の新潟県中越地震の本震後には、ダム管理者による臨時点検が実施された。その結果、ほとんどのダムで変状がなかったものの、小千谷市、十日町市、川西町に位置する6ダム等で変状が報告された（表2参照）。

地震直後に筆者らは、変状の報告された6ダム等を含め、表3に示す10ダム等の現地調査を実施した^{2),3),4)}。調査対象ダム等と震央の位置関係を図4に示す。

本報では、調査対象ダム等のうち変状が相対的に大きかった JR 東日本が管理する信濃川発電所の浅河原調整池、新山本調整池および山本調整池の堤体変状を報告する。なお、JR 東日本の信濃川発電所は、信濃川本川に築造された宮中取水ダムから取水した水を浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池の3つの調整池に送り、そこからの導水で発電所内の発電機を回し、上越線や関東一円の列車運転等に供給する施設である。

表2 本震での臨時点検結果

分類	点検ダム数	変状報告
国土交通省直轄	10	なし
水資源機構	3	なし
建設補助	30	なし
利水	71	新潟県所有の川西ダム、長福寺ダム、坪山ダム
合計	114	上記3ダムに加え、3つの河道外貯水池（JR 東日本所有の浅河原調整池、新山本調整池、山本調整池）堤体で変状報告

表3 現地調査ダムの一覧

ダム等の名称	管理者	形式	堤高(m)	竣工年
浅河原調整池	JR 東日本	ゾーン型アースダム	37.0	1945
新山本調整池	JR 東日本	中央遮水壁型フィルダム	44.5	1990
山本調整池	JR 東日本	ゾーン型アースダム	27.22	1954
鯖石川ダム	新潟県	重力式コンクリートダム	37.0	1973
柿崎川ダム	新潟県	ロックフィルダム	54.0	2003
長福寺ダム	新潟県	中央遮水ゾーン型フィルダム	27.2	2000
坪山ダム	新潟県	中央遮水ゾーン型フィルダム	20.5	1997
川西ダム	新潟県	中央遮水ゾーン型フィルダム	43.0	1978
広神ダム	新潟県	重力式コンクリートダム	83.0	建設中
妙見堰	国土交通省北陸地方整備局	可動堰	13.815 [※]	1990

※国土交通省河川局防災課災害対策室：国土交通省災害情報「平成16年（2004年）新潟県中越地震（第30報）」、2004.11.26.

※妙見堰の堤高の欄は、上流水叩きの上面（T.P. 32.430m）から堰柱の天端（T.P. 46.215m）までの高さを記述。



図4 調査対象ダム、調整池堤体および堰と震央の位置関係

(国土交通省国土地理院 電子国土ポータル (URL:http://www.cyberjapan.jp/)掲載地図に加筆)

2. 2 個別ダム等の変状

(1) 浅河原調整池堤体

浅河原調整池の堤体標準断面を図5に示す。

天端においてダム軸に平行な複数の亀裂が発生していた。亀裂は雁行しながらおおむね連続し、亀裂発生範囲は堤頂長 292m のほぼ全長に及ぶとともに、これらの亀裂により貯水池側が沈下する段差が生じており（写真7参照）、複数亀裂による段差の累積は最大 70cm 程度、1つの亀裂での最大開口幅は 40cm 程度であり、亀裂の段差や開口の規模は堤体中央部ほど大きく両岸に向かって小さくなっていた。

管理者である JR 東日本は、地震後に測量を実施していた。基準点移動の可能性も高いため、暫定的な評価であるが、天端最下流の亀裂より下流側は地震前に比べて、あまり大きな沈下が発生しておらず、下流側の段差に応じた上流側への沈下が発生している可能性があるとのことであった。

上下流のり面とも、はらみだし、亀裂などの変状は見あたらなかったが、すでに捨石工部分まで貯水池堆砂が進行しているため、上流側の堆砂位標高以下の挙動は確認できない状況にあった。

これまでの、1984年の長野県西部地震における牧尾ダム⁵⁾や2003年十勝沖地震における高見ダム⁶⁾などにおいても天端にダム軸に平行な亀裂が発生したが、亀裂深度調査により、亀裂は表面の保護層内にとどまり、遮水ゾーンに至らないことを確認のうえ、保護層の復旧で補修を終えている。しかし、これらのダムの亀裂では、天端における上下流方向の強い振動応答による開口は見られたが、本堤で見られたような大きな段差は認められていない。さらに、最大 70cm にも及ぶずれが収まる亀裂長さを考えると、亀裂は深い部分まで及んでいる可能性がある。

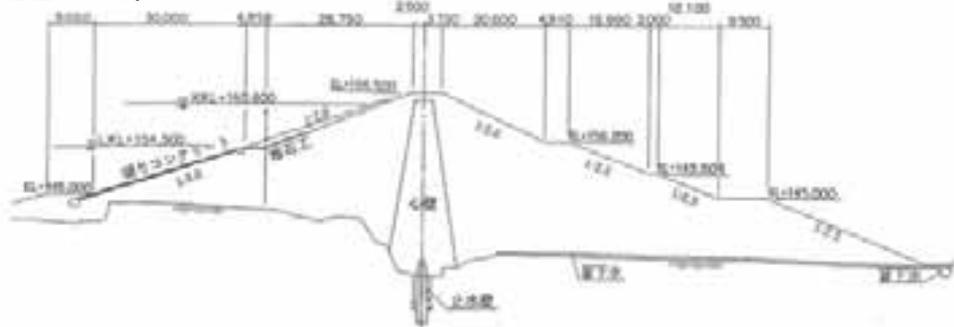


図5 浅河原調整池の堤体標準断面図（JR 東日本提供資料より）



写真7 天端亀裂による段差



写真8 地震後の水位上昇（北陸地方整備局撮影）

(2) 新山本調整池堤体

新山本調整池の堤体標準断面を図6に示す。

堤体天端の舗装アスファルトに、貯水池側から堤体外側へ横断する亀裂が多数発生していた。亀裂の開口幅は大きいところで 2~3cm であった。また、天端舗装面が明らかに貯水池側に傾斜している箇所があった（写真9参照）。目測では、貯水池側のり肩と貯水池外側のり肩で 40~50cm 程度の差があるように見えた。堤体の貯水池外側（下流側）の天端から 1m 程度下がった部分で亀裂が堤軸方向に平行に 100m 程度発達し、それより上部の部分が陥没したように見える箇所があった（写真10参照）。

貯水池側のり面のリップラップに段差が認められる変状箇所が存在し（写真11参照）、深さについては不明であるが、すべりが発生している可能性がある。また、一部噴砂と見られる痕跡が確認された。

以上のことから、天端のうち最大沈下発生箇所である貯水池側（上流側）のり肩付近で、地震前から 40-50cm 以上の沈下が発生したと推定される。また、ダム天端付近の部分が上流側に倒れ込むような変形が発生している可能性もある。このような変形挙動は、遠心力载荷模型実験⁷⁾や有効応力法に基づく弾塑性解析⁷⁾を用いた、大規模地震による中央コア型ロックフルダムの被害形態についての研究結果と合致するが、詳細は今後の調査、検討を待たなければならない。

また、貯水池外側のり面の中腹部にはすべり頂部と思われる滑落部とすべり末端部と推測されるはらみだし部が認められる（写真 12 参照）。その規模は、幅 5m×長さ数十m程度である。しかし、堤体のり尻の部分ある側溝には変位が認められないことから、このすべりは中腹部の比較的浅い範囲において発生したものと推測される。

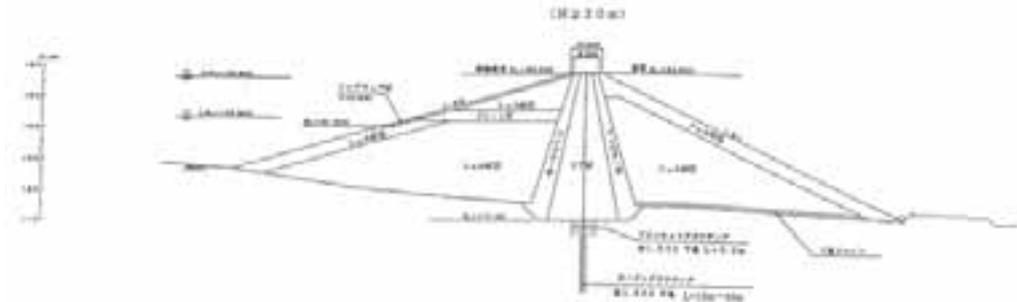


図 6 新山本調整池の標準断面図（JR 東日本提供資料より）



写真 9 天端舗装面の傾斜



写真 10 貯水池外側のり面陥没および亀裂



写真 11 貯水池側のり面リップラップの段差



写真 12 貯水池外側のり面のはらみだし部

(3) 山本調整池堤体

山本調整池の堤体標準断面を図 7 に示す。

貯水池側（上流側）のり面のリップラップに頂部で 50cm 程度の段差を伴うすべり変状が確認された（写真 13 参照）。その規模は、幅 10m×幅 5m 程度と大きくない。

なお、集水槽（取水工）周辺の擁壁部の裏込め土部の沈下が顕著であった（写真 14 参照）。この裏込め土と堤体の接合部付近の堤体天端に小規模な縦断亀裂が発生していた。

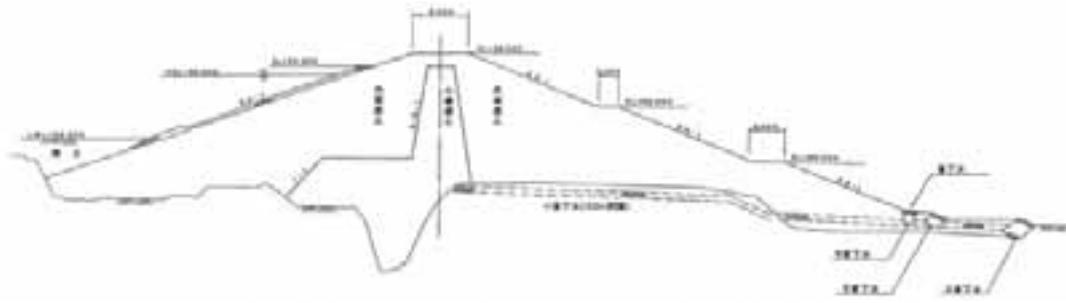


図7 山本調整池の平面図、標準断面図（JR 東日本提供資料より）



写真13 貯水池側のり面のすべり変状写真



写真14 取水設備周辺の地盤変状

2. 3 今後の課題

JR 東日本が管理する3つの調整池付近における地震動については、新山本調整池堤体に設置されている地震計のデータ処理を待たなければならないが、周辺のダムで観測された地震動などから類推するとかなり大きな地震動が発生したと予想される。

また、現在 JR 東日本によって鋭意進められている、漏水量や（外部）変位計測、さらには埋設計器の計測値などに基づく挙動分析が待たれる。さらに、被害箇所については、トレンチやボーリングによる調査などが行われ、被害の全容が明らかにされるとともに、適切な補修が行われることと思われる。なお、現在、JR 東日本により3調整池堤体の被害状況の詳細調査、補修設計のための委員会（「JR 東日本信濃川発電所復旧工事技術専門委員会調整池分科会」）が開催されている。

今回の地震において変状を被ったダム等の堤体の挙動、変状形態は、レベル2地震動に対するダムの耐震性能照査解析における、安全性の評価基準、ひいては補修工法や補修可能性の判断など様々な項目について貴重な情報を与えてくれる事例であるといえる。

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：平成16年新潟県中越地震による被害と復旧状況、2004.11
- 2) 国土技術政策総合研究所、土木研究所、建築研究所：平成16年新潟県中越地震の緊急調査速報、土木技術資料、Vol.46、No.12、pp.10-15、2004.12.
- 3) 新潟県中越地震ダム工学会災害調査団：新潟県中越地震に関するダム工学会災害調査団調査速報、2004年11月26日「ダム工学会研究発表会追加講演資料」、2004.11.
- 4) 安田成夫、佐々木隆、松本徳久：平成16年（2004年）新潟県中越地震ダム調査速報、ダム技術、No219（掲載予定）
- 5) Norihisa Matsumoto, Nario Yasuda. and Minori Shiga: The Western Nagano Prefecture Earthquake, 1984 and Dams, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, May 1985.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所、独立行政法人建築研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所：「平成15年十勝沖地震被害に係わる現地調査報告書」8.ダムの被害状況、pp.56-68、2004.3.
- 7) 岩下友也：ロックフィルダムの遠心模型振動実験とその動的弾塑性有効応力解析、ダム技術、No.184、pp32～42、2002.1.

5. 農業施設の被害

平成 16 年新潟県中越地震による農業施設の被害概要

谷 茂

正会員 独立行政法人農業工学研究所造構部上席研究官

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日に発生した平成 16 年新潟中越地震により土木構造物等に甚大な被害が発生した。現時点でも道路の損壊により正確な被害が把握出来ない地区もあるが、本報告では現在までに集計されている農地・農業用施設の被害概要とフィルダムの被害について述べる。被害数、被害状況等については現時点のものであり、今後修正される可能性があることをおことわりする。

2. 農地・農業用施設の被害概要

表 1 に新潟県の資料から引用した 11 月 12 日時点での農地・農業用施設の被害概要を示す。被害は 45 市町村で 14,848 箇所、89,518 百万円となっている。図 1 にはため池の、図 2 には水路の被災分布を示したが、ため池、水路とも小千谷市、山古志村の被害数が多かった。

表 1 農地・農業用施設の被害概要

振興局名	総数	農業用施設			
		ため池	頭首工	水路	その他 (揚水機、堤防、道路、 橋梁、農地保全)
長岡地域振興局計	12,977	446	54	4,040	5,226
三条農地事務所計	317	10	0	142	40
上越地域振興局計	7	2	0	0	0
小出地域振興局計	909	64	5	165	195
柏崎地域振興局計	157	8	3	44	76
上越地域振興局(安塚)計	2	0	0	1	0
新発田地域振興局計	1	0	0	1	0
巻農地事務所計	10	0	0	6	3
六日町地域振興局計	17	1	0	5	2
十日町地域振興局計	365	30	1	84	123
新潟農地事務所計	3	0	0	3	0
新潟県計	14,765	561	63	4,491	5,665

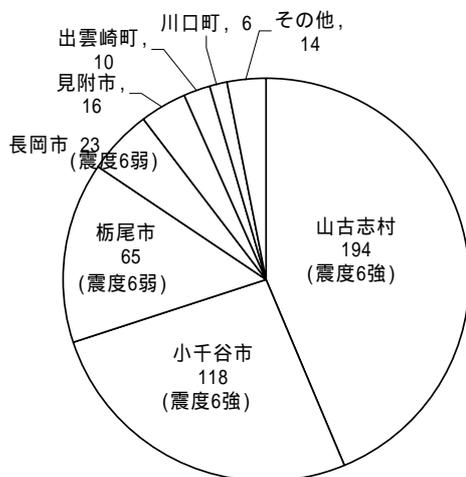


図 1 ため池の市町村別被災数

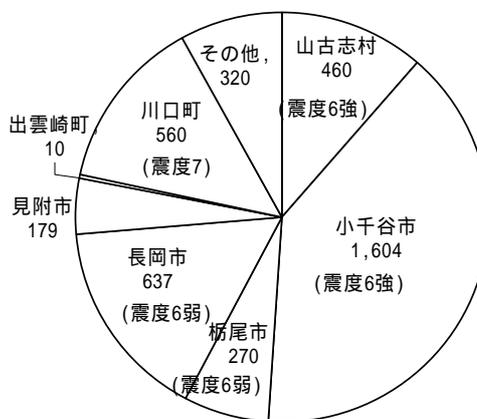


図 2 水路の市町村別被災数

内訳はため池、水路等の農業用施設が 10,780 箇所、農地が 1,503 箇所、農業用施設の工種別では水路が 4,491 箇所、ため池が 561 箇所、頭首工 63 箇所となっている。ため池の被害は山古志村で 194 箇所、小千谷市で 118 箇所、栃尾市で 65 箇所、その他で 69 箇所となっている。図 1 にはため池の、図 2 には水路の市町村別の被災分布を示したが、ため池、水路とも小千谷市、山古志村の被害数が多かった。

3. 農業用フィルダムについて

図 3 は今回調査を行った農業用ダム 3 箇所（長福寺、坪山、川西ダム）の位置と震央を示したものである。いずれのダムも震央から 20km 以内に位置していた。以下に各ダムの被害状況について述べる。

3.1 長福寺ダム

本ダムはかんがい、及び防災用ダム（新潟県中魚郡川西町）で堤高 27m、総貯水量 193 千トン、2000 年に完成した中心遮水型ゾーン型フィルダムで、地震時には貯水はほとんどなかった。漏水量については以下のデータが得られている。

地震前： 堤体部 58 l/min, 地山部 2.4 l/min

地震直後(23 日 18 時) 88.0、 2.4、 2 時間後； 125.9、 3.7、 24 日 09 時； 121.7 3.0
25 日 12 時； 121.7、 3.0、 28 日 09 時； 109.8、 1.9

その後の漏水量は安定していて、濁りもなく、右岸、左岸からの漏水はほとんどゼロであり地震の影響はわずかであった。菜を、満水には 60 l/min が観測されている。下流斜面の浸潤線の変化もほとんどなく、地震の影響は認められない。天端等の水平、垂直変位量については天端で最大 101mm の沈下が観測されている。

主な被害状況は左岸地山の洪水吐と盛土の取り付け部の段差（約 7cm、写真 1）、左右岸の天端部に発生したクラック（最大幅 5cm、写真 2）である。上流斜面は張りブロックがされているが、外見上からは大きな変状は認められない。天端クラックの状況について開削調査が行われ、コア一部には至っていないことが確認されている。以上のことから被害は軽微と判断される。



図 3 農業用フィルダムの位置と震央



写真1 長福寺ダムの天端、洪水吐



写真2 長福寺ダム、洪水吐と張りブロック間の沈下（約7cm）

3.2 坪山ダム

本ダムはかんがい、及び防災用ダム（新潟県中魚郡川西町）で堤高21m、総貯水量216千トン、1997年完成した中心遮水型ゾーン型フィルダムで、地震時には貯水はほとんどなかった。漏水量については以下のデータが得られている。

地震前： 堤体部 24.2 l/min, 地山部 0 l/min

地震直後(23日18時)； 21.7、0、2時間後； 31.0、0、24日09時； 欠損

25日12時； 32.5、0、28日09時； 28.1、0、30日09時； 25.5、0

で、その後の漏水量は安定していて、濁りもなく地震前後の変化量もわずかであり地震の影響は少ないと判断される。なを、満水時の漏水量は35 l/min程度であった。天端等の水平、垂直変位量について、天端左右岸では60～154 mmの沈下が観測されたが、中央部ではデータ上は盛り上がりが見られるが、ベンチマーク（基準点）の変動の有無の確認を行っていく必要がある。

主な被害状況として、天端の舗装面に上下流方向にクラックが5本程度発生しているが、開削調査が行われ、天端保護層内で消滅し、コア部には至っていないことが確認されている。堤体下流斜面には数箇所のすべり、崩壊状の亀裂が写真3のように発生している。上流斜面では左岸の洪水吐と盛土の取り付け部で、写真4に示すように約7cm程度の段差が出来ている。この変状がどの程度かについて張りブロックをはがして、確認を行う必要がある。下流斜面については、草刈を行って、斜面の変状を精査しており、下流斜面に3箇所の変状（すべり、崩壊状のクラック）が確認されているが、開削調査によりそれぞれは単独（連続していない）の崩壊であると判断される。以上のことから軽微な被害と判断される。

3.3 川西ダム

本ダムはかんがい用ダム（新潟県中魚郡川西町）で堤高43 m、総貯水量1,118千トン、1978年完成した中心遮水型ゾーン型フィルダムである。地震時には貯水はなかった。

地震後に漏水がにごったが、その後の調査で、放流水路に沿って設置してある漏水管が損傷して、洪水吐からの漏水が混入したことが判明したことから、管路の修復を行って地震後の漏水量を測定したが、地震前の漏水量と大きな変化はなかった。天端等の水平、垂直変位量については天端で31～276mm沈下し、上流斜面では最大で120mm上流側に水平移動していて、斜面全体として沈下し、上下流側に水平変位移動しているという測定結果が出ているが、基準点が移動している可能性があり今後の検証が必要である。主な被災状況は写真5に示すように堤体左岸の張りブロック部の変状（30cm程度の陥没、段差）が顕著であった。ブロックがあるため内部の変状はわからない。今後、ブロックを除去し



写真3 坪山ダム、下流斜面のクラック



写真4 坪山ダム、洪水吐と張りブロック間の沈下(約7cm)

て調査が行われる予定である。また洪水吐、放水路末端の側壁が1スパン分、打ち継ぎ目で上下の側壁が分離、崩壊している。平面図を図4に示した。

本震(10.23.17.56)では下記の地震記録が得られている。本ダムには天端中央、左岸地山、下流法尻、3箇所に地震計が設置されている。上下方向成分がX方向成分の58%~74%となっているのが特徴である。

下流法尻(計測震度 5.7)、
 X= 558 gal Y= 444 Z= 406,
 左岸地山計測震度 5.6)、
 435 546 254,
 天端中央(計測震度 6.0))
 582 , 518 , 430



写真5 川西ダム、上流斜面の変状

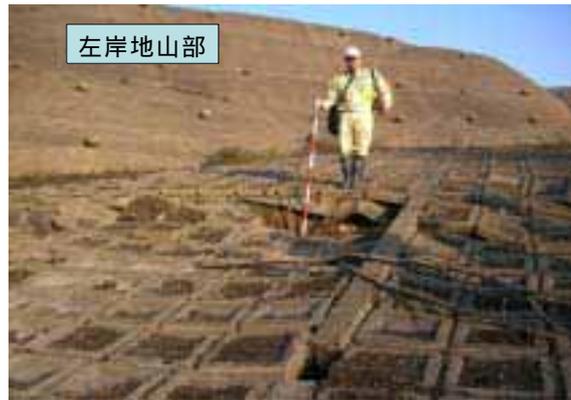


写真6 川西ダムの上流法尻から見た左岸上流斜面の変状

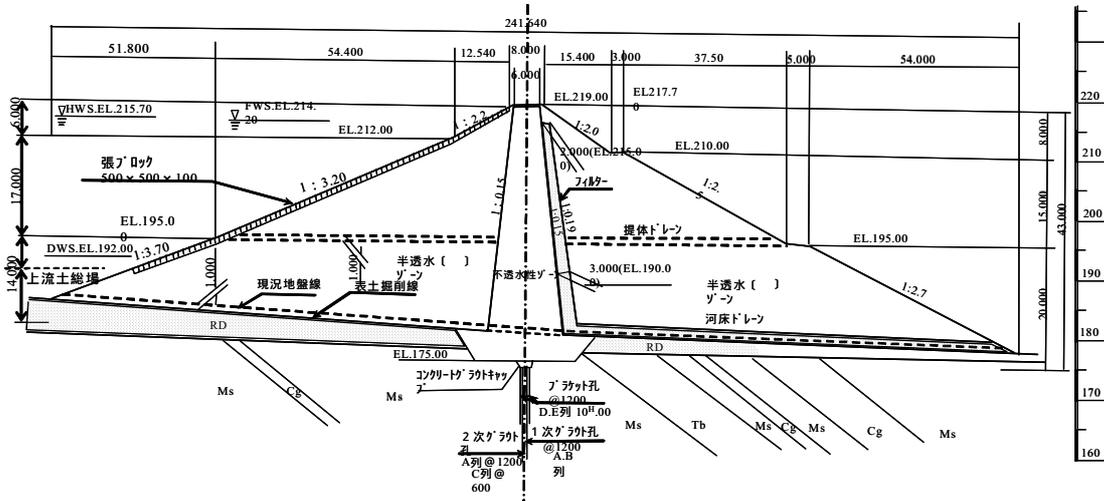


図4 川西ダムの標準断面図

基盤で 500gal を超える地震波がフィルダムで記録された例は少なく、参考のために図 5~18 に本ダムで観測された本震(2004.10.23, 17:56)での地震波、及び加速度応答スペクトルを示す。

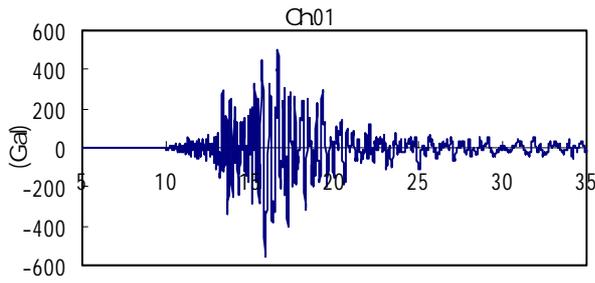


図 5 川西ダムで観測された下流法尻での地震波 (X方向、ダム上下流方向)

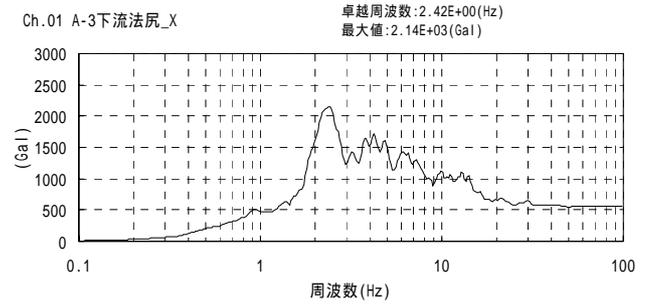


図 6 下流法尻地震波の加速度応答スペクトル (X方向、ダム上下流方向)

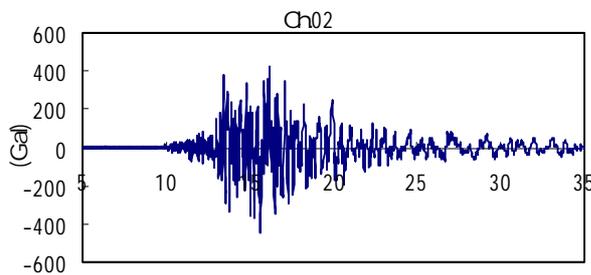


図 7 川西ダムで観測された下流法尻での地震波 (Y方向、ダム軸方向)

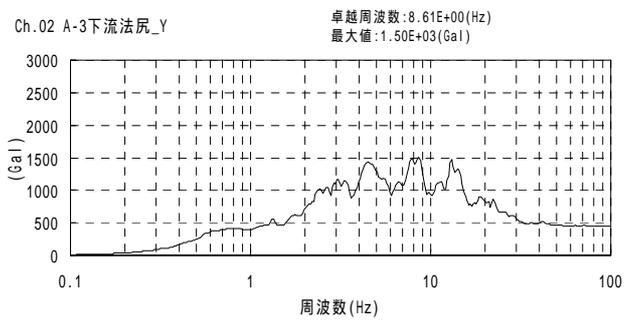


図 8 下流法尻地震波の加速度応答スペクトル (Y方向、ダム軸方向)

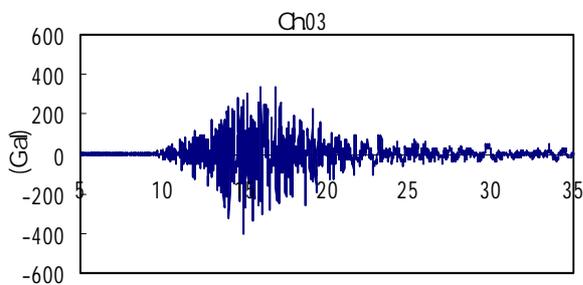


図 9 川西ダムで観測された下流法尻での地震波 (Z方向、ダム上下方向)

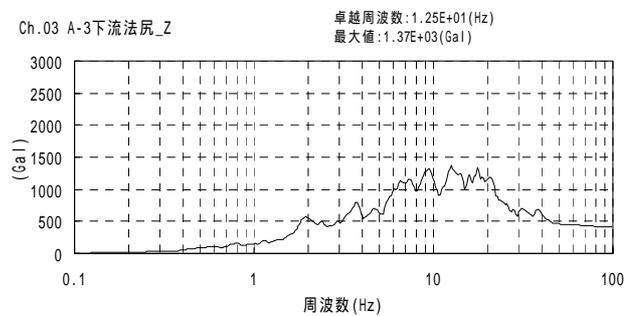


図 10 下流法尻地震波の加速度応答スペクトル (Z方向、ダム上下方向)

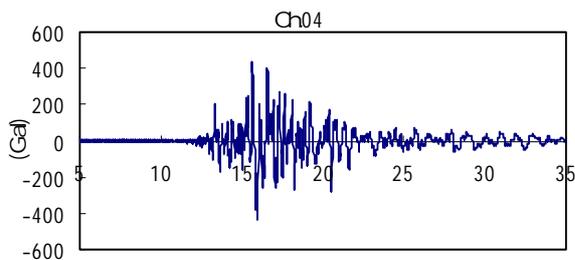


図 11 川西ダムで観測された左岸地山での地震波 (X方向、ダム上下流方向)

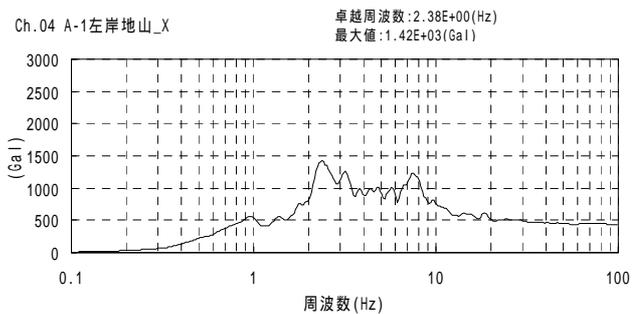


図 12 左岸地山地震波の加速度応答スペクトル (X方向、ダム上下流方向)

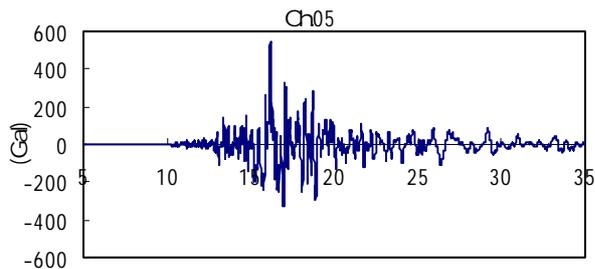


図 13 川西ダム左岸地山で観測された地震波 (Y 方向、ダム上下流方向)

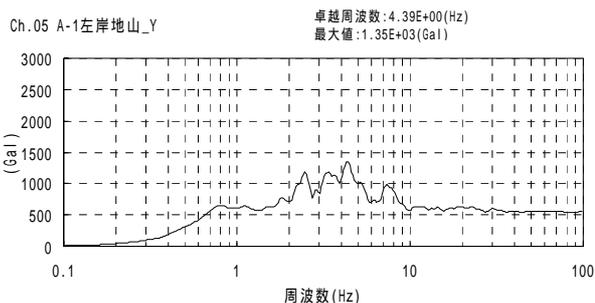


図 14 左岸地山地震波の加速度応答スペクトル (Y 方向、ダム上下流方向)

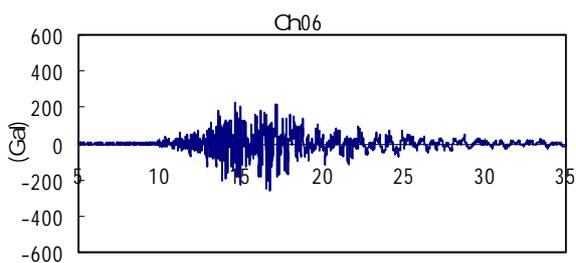


図 15 川西ダム左岸地山で観測された地震波 (Z 方向、ダム上下流方向)

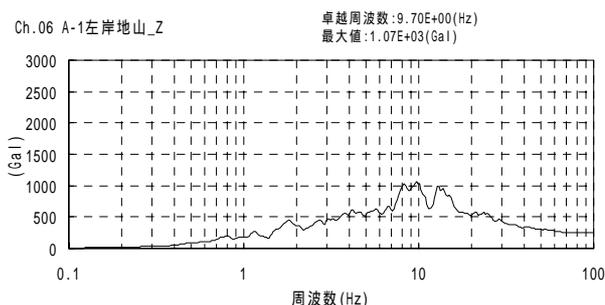


図 16 左岸地山地震波の加速度応答スペクトル (Z 方向、ダム上下流方向)

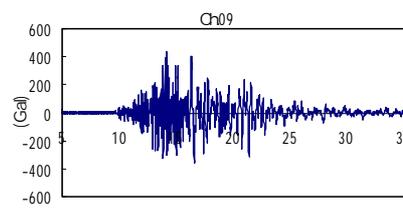
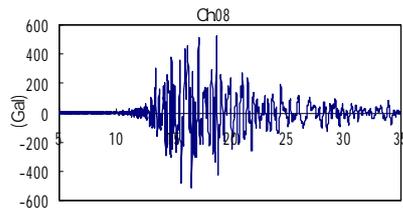
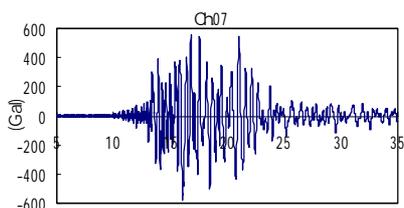


図 17 川西ダム天端で観測された地震波 (X,Y,Z 方向)

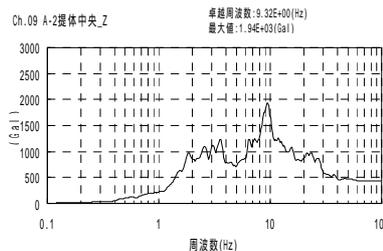
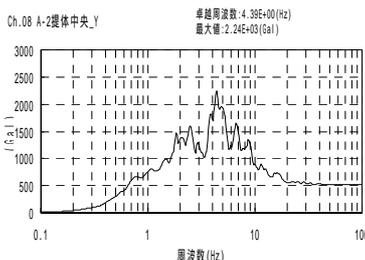
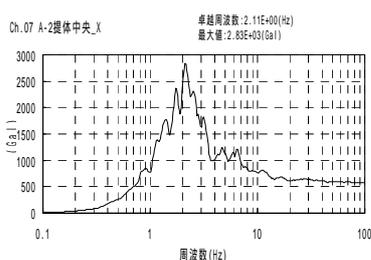


図 18 川西ダム天端地震波の加速度応答スペクトル (X,Y,Z 方向)

4.終わりに

本報告の内容はダム工学会の調査団の一員として平成 16 年 11 月 5～6 日に調査を行ったうちの農業用ダムに関する調査結果、及び新潟県十日町地域振興局から御提供いただいた資料に基づき記述したものであり、調査の準備、対応にご尽力いただいた関係各位に謝意を述べたい。また被災された方々にお見舞いを申し上げるとともに、1 日も早い復興を願いたい。

参考文献；

- 1) 新潟県中越地震ダム工学会災害調査団；2004 年 11 月 26 日ダム工学会研究発表会追加講演資料；新潟県中越地震に関するダム工学会災害調査団調査速報,2004.11

6. 建築構造物の被害

建築構造物（非木造）の被害

加藤大介¹⁾、土井希祐¹⁾、中村友紀子¹⁾、本多良政²⁾

1)新潟大学工学部

2)新潟大学自然科学研究科博士後期課程

1 はじめに

図1に調査地域の地図と震度を示す。今回の地震被害は広範囲にわたっているだけでなく、交通網が被害を受けたことにより、当初調査不可能だった川口町、山古志村を除いても、東京方面から入ることのできる堀之内地域、新潟市方面から入ることのできる長岡、小千谷地域、長野市方面から入ることのできる十日町地域、に分断された。筆者らが所属する新潟大学は被害地域に近いところに位置するが、この交通事情や宿泊施設の閉鎖によりまとまった調査は困難であった。従って、調査は日帰りを中心に、計16日にわたった。本報告では、非木造建築構造物として、鉄筋コンクリート造建物および鉄骨造建物の被害調査結果を速報として示す。



図1 調査地域と震度

2 鉄筋コンクリート造学校建物の被害

本節では、鉄筋コンクリート造建物の被害について、特に木造建物の被害の大きかった震度 地域の被害（2.1節）、震動による建物の被害（2.2節）、耐震補強の効果（2.3節）、基礎構造の被害（2.4節）および施工不良に起因する被害（2.5節）という観点に分類して報告する。

2.1 震度 地域の被害

震度 地域においても RC 造建物の被害は兵庫県南部地震と比べ少なかった。これは、RC 造建物は比較的新しいものが多いこと、地震動の卓越周期が短周期側であったこと（神戸ほど建物に対して破壊力のある地震動ではなかった）、建物と地盤の相互作用により建物基礎には観測波形ほどの大きさの入力が無かったこと、などが推測される。写真1は川口町の中でも特に木造建物の被害の大きかった田麦山地区の田麦山小学校（RC3F、1984年竣工）であるが、躯体の被害は軽微である。建物の周辺は、地盤にひび割れが見られている（写真2）。

文献[1]によると、この地域の他の RC 建物について以下のように報告されている。振動による構造被害としては、耐震壁のせん断ひび割れがあるが、一方向に生じているものが多い。また、柱の曲げひび割れも見られたが、近づかないと分からない程度のひび割れで、残留変位も殆どない。振動による非構造部の被害としては、EXJ の損傷が目立っている。（引用終わり）



写真1 川口町立田麦山小学校 外観



写真2 田麦山小学校の周辺地盤の変状

2.2 震動による学校建物の被害

鉄筋コンクリート造建物の被害は震度 地域よりもむしろ小千谷市と十日町市の震度 強地域で大きかった。これは、これらは比較的大きな市であり、古い建物が存在していたことが大きな理由であろう。本節では、これらの被害の内、震動が原因で中破程度の被害を受けた小千谷市の2つの学校建物の被害について紹介する。この2棟はいずれも小千谷市で RC 造建物の被害の大きかった JR 小千谷駅周辺に位置する。なお、文献[1]によれば、震度 強以上の地域では、この2棟以外の学校建物の震動による被害はおおむね小破程度以下である。

(1) 東小千谷小学校 北棟 (RC3F、1967年、中破)

RC 校舎は北棟 (写真3) と南棟 (RC3F、1975年)からなる。東側と西側に屋内運動場を配した口の字型である。これらは建築計画上は連続しており、エキスパンションジョイントにより構造的に分離されている。各校舎の北側構面は、柱が垂壁と腰壁により短柱化しており、1階の柱にせん断ひび割れが生じているのが見られ、特に北側の校舎では一部の柱がせん断破壊した (写真4)。また南側校舎では、梁間方向の耐震壁にせん断亀裂が観察された。



写真3 小千谷市立東小千谷小学校 (北棟)



写真4 東小千谷小学校 (北棟) の1階の柱のせん断破壊

(2) 東小千谷中学校 増築棟 (RC4F、1986年、中破)

RC 校舎は西側の校舎棟 (RC4F、1979年) と EXP.J.によってつながる東側に増築された棟 (RC4F、1986年、写真5)からなる。校舎棟は梁間 (南北) 2スパン、桁行 (東西) 14スパンで、増築棟は梁間 (南北) 3スパン、桁行 (東西) 2スパンである。増築棟は1階部分がピロティー形式であり、北側の1スパンは、3、4階でセットバックしている。増築棟は、1階ピロティー柱の柱頭で曲げ圧壊が生じ、一部では主筋が座屈しており、損傷のレベルで V 相当である (写真6)。文献[1]によると、コンクリートの損傷が激しい部分は、いずれも柱頭の西側に偏っており、主として東西方向の揺れによって生じた損傷であるものと考えられている。さらに、2階から上の増築棟と既存部との間のエキスパンションジョイントの間隔が地震前より明らかに広がっていることから、増築棟が東側に変位したまま原位置に復帰していないことがわかる。(引用終わり)



写真6 東小千谷中学校増築棟のピロティー柱の曲げ圧壊



写真5 小千谷市立東小千谷中学校 (増築棟)

2.3 学校建物における補強の効果

今回震度が大きかった地域には数少ないが耐震補強された建物が存在した。本節では震度 強地域の十日町高校と十日町総合高校、および震度 弱の長岡工業高等専門学校の調査結果を示す。結論から言えば、これらの学校では第2種構造要素ではない柱に被害が見られたり、地盤の変状の影響による被害がみられた。これらの影響がなければ被害は軽微であるが、震動自体の大きさは耐震補強の効果が試されるほどの大きさではなかったと考えられる。なお、文献[1]等によれば、この他に震度 強以上の地域では、川口町の川

口中学校特別教室棟・渡廊下棟（1975年、RC2F、補強済み、軽微）、山古志中学校（1971年、RC3F、増設 RC 開口壁による補強、地盤変状による大破、2.4節で報告）が報告されている。また、震度 弱の長岡地区にはさらにいくつかの補強事例があるが、いずれも大きな被害は報告されていない。

(1)十日町高校 校舎 1 棟（RC4F、1974年、軽微）、2 棟（RC4F、1972年、軽微、写真 7）

RC 造は校舎2棟（第1棟（北側）、第2棟（南側））および、渡り廊下棟 2 棟（RC3F）からなる。このうち、校舎 1 棟と 2 棟は K 型ブレースにて補強がされていた。いずれも 3 カ年計画で校舎 2 棟は2000～2002年で補強工事が完了し、校舎 1 棟が来年の夏休みに補強が完了する予定であったとのこと。構造的な被害は軽微であった。ただし、EXP.J.に被害有り。



写真 7 十日町高校第 2 棟（RC4F、補強済み）の北面の外観。被害は軽微

(2)十日町総合高校 管理棟（RC3F、1966年）

RC 造は、管理棟（RC3F、1966、K ブレース補強）、特別教室棟（RC3F、1970）、工業科棟（RC3F、1982）、農業科棟（RC3F、1984）からなる。このうち、管理棟に K 型ブレースによる補強がなされていた（写真 8）。ただしこの補強された建物の北側は、ウォールガーダーにとりつ



写真 8 十日町総合高校管理棟



写真 9 2F 北側構面の柱のせん断破壊()

く扁平な柱であり、極脆性柱である。これらの柱のほぼ全部にせん断ひび割れが観察された。特に 2 階の 1 本は被災度 程度である（写真 9）。耐震診断では第 2 種構造要素ではないと判断されていたと考えられる。補強されていない特別教室棟も同様の構造になっており、この棟でも北側の柱にせん断ひび割れがみられた。他の 2 棟は北側も柱型でラーメンが構成されており、被害は軽微であった。

(3)長岡工業高等専門学校 4 号館

長岡市西片貝町（悠久山の近く）の小高い山の上に位置し、主な RC 校舎は 1 号館～6 号館である。敷地は 200 × 500 m くらいの楕円であるが、台地周辺の盛土部分が沈下している。最も大きな被害は崖崩れにより基礎が露出している 3 号館であるが、



写真10 長岡高専 4 号館は K ブレースにより補強がされていた



写真11 長岡高専 4 号館のはりの一方せん断ひび割れ

これについては次節で述べる。4 号館（RC4F）は K 型ブレースにより補強が済んでいた（写真 10）。補強数はかなり数が多かったが、2F と 3F の梁に一方向のせん断ひび割れが計 3 本、外から観察された（写真 11）。一方向なので、地盤の変状による不同沈下も考えられる。

2.4 学校建物における基礎構造の被害

今回の地震による被災地は中山間地と呼ばれる地域であり、建物も傾斜地に建てられているものが多い。

従って、基礎構造の被害も多かった。ただし、この被害は建物上部には傾き以外は損傷が現れにくいいため、詳細な調査を進めるに従って被害が顕在化する傾向がある。本節では、代表的な例を示す。

(1)山古志小学校 校舎・体育館棟 (RC3F、1980年、基礎構造(杭)大破、上部構造小破)

造成した山間地に位置する。校舎棟は RC3階で部分的に地下1階である。体育館棟は RC1階であるが、地下部分がピロティとなっている。校舎棟は長辺方向が東西、体育館棟は長辺方向が南北を向いており、両者は全体で L型を構成する一体の構造体となっている(写真12)。体育館の北側と校舎棟の南側は崖地になっている。

体育館棟に対して校舎棟が大きく沈下していた。さらに、校舎棟は西側に向かって不同沈下も認められた。校舎棟の最大沈下量は、26cmであった。また、体育館の北側は崖崩れにより165cm 基礎が露出していた。一方、基礎の傾斜は校舎棟と体育館棟の継ぎ目のスパンが最も大きく0.022rad であるが、この部分はコンクリートが鉛直方向にコールドジョイントとなっていて、そのジョイントが鉛直方向に60mmずれていた。

体育館棟の北側のがけが崩れ、PC 杭(350、中空(厚さ75mm)、軸方向筋6 @130mm、横方向筋の径は約2.3mm)が2本露出していたが(写真13,14)、2本とも激しくせん断破壊していた(写真15)。露出していなかった体育館棟の校庭側の2本を掘り出したところ、いずれも杭に縦割れが生じていた。校舎棟の杭は露出していなかったが、最も沈下が激しい南西隅角部(写真16)の杭を掘り出したところ、大きくせん断破壊していた(写真17)。上部構造が崖側(南側)に約20cmずれていた。

上部構造は、体育館棟の長辺方向の壁梁5本に損傷度 あるいは のせん断破壊がみられた他は被害が少なかった。



写真12 山古志小の全景を西から見る。右側が校舎棟。左側が体育館棟。両者は構造的に一体となっている。左右は崖地。



写真13 体育館棟の北側の崖が崩れ、北面の基礎が露出していた。杭はせん断破壊していた。ただし、体育館棟の傾きは少ない。



写真14 写真13の右から2番目の基礎。PC 杭(350、中空(厚さ75mm)、軸方向筋6 @130mm、横方向筋の径は約2.3mm)



写真15 写真14の右の杭の詳細。PC 杭で 350。中空部とコンクリートが充填してある杭頭補強部の境でせん断破壊。



写真16 校舎棟の南西隅角部から北側をみる。向こうが体育館棟。校舎棟は体育館棟に比べ建物の傾斜が大きく。この部分の建物の不同沈下および地盤の沈下が最も大きい。



写真17 写真16部分を掘り出したところ、大きく破損していた。「横山光浩氏(細貝建築事務所)撮影」

(2)山古志中学校 校舎棟 (RC3、1971年、基礎構造(杭)大破、上部構造中破)

造成した山間地に位置する。校舎棟の西側は崖地となっている（写真18）。東側は体育館棟とEXP.J.を介して接続しているが、体育館側は切土側、校舎棟が盛土側になっている。このEXP.J.部が約30cm離れており、校舎棟が西側に約30cm変位したことが推測される。また、校舎棟は崖地である西側に向かって不



写真18 山古志中学校校舎棟の北面。向こう（西）側に向かって不同沈下が激しい



写真19 山古志中学校校舎棟の南面。左（西）側に向かって断続的に地盤沈下

同沈下が認められ（写真19）、廊下部分で測定した沈下量によると、最大は37cmであった。基礎の傾斜は最も大きなスパンで評価すると0.03radであった。杭自体の損傷は確認できないが、大きな被害を受けていることが予想される。

上部構造は、B3型校舎（教室の間に柱が1本、長辺方向3構面）で、北側は幅の狭い扁平な柱である。2004年10月に南構面1階の1カ所に鉄筋コンクリート増設壁による補強がなされている。被害は基礎の傾斜の激しかった部分に集中しており、柱のせん断破壊が主である。損傷度の柱が3本、の柱が2本であった。

(3)長岡工業高等専門学校 3号館(RC3F、1969年、基礎構造大破、上部構造中破)

敷地等は前節で説明してある。3号館は崖が崩れ出す領域にあり、建物の南東側は地盤の沈下が見られないが、北西側は周辺地盤が20~30cm低下している（写真20）。文献[1]によれば、地盤滑りにより、3階建物と2階建物の接合部のスラブおよび梁が破断により離れていた。また、地盤の隆起・沈下および移動が生じ、建物も移動していた。（引用終わり）



写真20 長岡工専3号館の地盤沈下による基礎の露出（右が崖地）

2.5 施工不良に起因する被害

震度が弱地域でも大きな被害を受けた学校建物がある。ただし、調査を行うと、施工不良のための局所的な損傷であることも多い。ここでは、栃尾市東谷小学校の例を示す。文献[1]によれば、大和町の国際情報高等学校や越路町の越路中学校にも同様の被害が報告されている。



写真21 栃尾市東谷小学校の柱のせん断破壊



写真22 写真21の詳細（ジャンカが認められる）

栃尾市東谷小学校校舎棟（RC3F、1969年、上部構造小破）は、長辺方向のラーメンの中央部のみAタイプ型校舎（1教室分の9mスパンの中央に柱がないタイプ）になっており、1~3階のこの部分の北側ラーメンに被害が集中した。1階は損傷度のせん断破壊柱（写真21）があるがこれはコンクリートの打設状態が不良であった（写真22）。なお、この建物は直接基礎であるが、西側部分で地盤沈下が認められている。

3 学校以外の鉄筋コンクリート造建物の被害

学校以外の鉄筋コンクリート造建物は学校に比べ被害が大きいものがあった。これらは比較的古いものである。ここでは病院の被害例と民間建物の被害例を2棟ずつ示す。文献[1]によれば、これらの他に小千谷市に3棟の大破建物が報告されている。

3.1 病院建物の被害

(1)小千谷総合病院 書庫棟 (RC3、1968年、大破)

小千谷総合病院の病棟 (RC7F) の北西側に平面上張り出した RC 造3階建ての部分があり、書庫として利用されている (写真23)。この書庫棟の1階にせん断破壊後に圧壊した柱が2本あった (写真24)。この柱には主筋に 29が、フープに $9@150$ (フック 90°) が使われていた。



写真23 小千谷総合病院の北西側張り出し部分：1Fの柱がせん断破壊し、軸耐力を失っている。柱の詳細は次の写真。



写真24 1Fの柱がせん断破壊し、軸耐力を失っている。

(2)十日町病院 病棟 (RC6F、1972年、中破)

十日町の中心街の県立病院。新しい診療棟と古い病棟からなる (写真25)。病棟はL型で1, 2, 3階までセットバックしており、3階から6階までは長方形の建物 (高層棟) となっている。被害は2, 3階に集中している。2階は高層部分の長辺方向北側柱がせん断破壊し (写真26)、2階建て部分の東側の柱にせん断ひび割れがみられた。また、高層部分の短辺方向連層耐震壁の2階の脚部の柱にせん断による圧壊がみられた。



写真25 十日町病院の全景 (中央が病棟)



写真26 十日町病院の2F長辺方向柱のせん断破壊「高橋義道氏 (高橋構造企画設計) 撮影」

3.2 民間建物の被害

(1)小千谷中心街のA商店 (RC3F、写真27)

道路に沿った方向 (東西方向) の被害が大きく、1階柱脚部に梁間方向の曲げ破壊が見られた。一番手前の柱の詳細を写真28に示す。東西方向の柱脚ヒンジ領域のせん断破壊で、主筋の座屈が見られる。柱の断面は 520×580 (桁行方向 \times 梁間方向)で、主筋は 22を、フープは $9@150$ (フック 90°) を使用していた。



写真27 建物Aの外観 (小千谷市、手前の道路が117号)



写真28 建物Aの柱脚の被害

(2)十日町中心街のB建物(RC4F、1972年、大破)

十日町の中心街117号沿いの8×3スパンの建物(写真29)。周囲の建物の損傷はさほど大きくないが、この建物は1階部分が大きく破れている。117号沿いの短辺方向の構面の柱がせん断破壊し、ほぼ全部の主筋が露出している(写真30)。117号と反対側の構面には階段室があり、その周辺の柱の損傷は小さい。ねじれによる影響が考えられる。



写真29 建物Bの外観(小千谷市、手前の道路が117号)「小林克巳教授(福井大学)撮影」

写真30 建物Bの柱のせん断破壊「梶井照仁氏(建築構造研究所)撮影」

4 鉄骨造体育館の被害

4.1 主な被害

今回の地震では、本震の震源地である川口町において、計測震度としては初めて震度が観測されたほか、震源地およびその周辺で大変大きな震度および地動加速度が観測された。しかしながら、調査対象地域においては、柱、梁、柱梁接合部などの構造躯体に大きな損傷を受け、長期間使用不能となるような鉄骨造建物はほとんど殆どなかった。このことについては、入力地震動の性質、地盤と建物の相互作用、設計積雪荷重をはじめとする諸要因との関連について今後検討する必要があると考えられる。よく見受けられた構造躯体の被害として、引張ブレースとして設計された軸組ブレース材の座屈、ブレース端部の高力ボルトのすべり、高力ボルト使用箇所における塗料の剥離、屋根面ブレースの伸びによる残留変形、露出形式柱脚のアンカーボルトの伸び出しやRC立ち上がり部コンクリートの損傷などがあげられる。また、地盤変状に起因する基礎構造の損傷を受けた鉄骨造建物も見受けられた。このほか、構造躯体の被害とは直接関係ないものの、ALC版など内外装材の落下、サッシやガラスの破損など、非構造部材の被害が多数の見受けられた。ここでは、典型的な被害の例を示す。

(1)川口町公民館(RC+S3F、写真31)

梁間の門形フレームの柱脚はH形鋼露出柱脚であり、桁行にはブレースが配置されている。文献[1]によれば、[-180×75×7×10.5の2枚重ねのX形筋違が端スパンに配置され、筋違中間部が面外にはらみだし(写真32)、ガセットPL-16の損傷、ボルトのすべりが認められた。筋違構面の柱脚ではアンカーボルトが伸びて折れ曲がりっていたが、コンクリート部分には損傷は認められなかった。また、アリーナの高くなった部分での天井仕上げ材、鋼製下地やスピーカーが落下していた(体育室部分の20~30%に相当)。野縁受けと野縁との間はクリップ止めであり、天井が大きく揺れた際に損傷が生じたと考えられる。なお、1階RC部分、ギャラリー部分やステージ桁面のガラスに破損は認められなかった。(引用終わり)



写真31 川口町公民館の全景



写真32 川口町公民館のブレースの座屈

筋違構面の柱脚ではアンカーボルトが伸びて折れ曲がりっていたが、コンクリート部分には損傷は認められなかった。また、アリーナの高くなった部分での天井仕上げ材、鋼製下地やスピーカーが落下していた(体育室部分の20~30%に相当)。野縁受けと野縁との間はクリップ止めであり、天井が大きく揺れた際に損傷が生じたと考えられる。なお、1階RC部分、ギャラリー部分やステージ桁面のガラスに破損は認められなかった。(引用終わり)

(2)長岡市の事務所兼住宅(建物C)

架構形式はラーメン構造、3層、桁行き方向4スパン×梁間方向1スパン、1層はピロティーとなっている。柱は角形鋼管(-300×300×9)である。柱脚は、ベースプレートPL-400×400×16、



写真33 長岡市の事務所兼住宅(建物C)の柱脚の被害

アンカーボルト4×M16，RC 立ち上がり部は，断面500mm×500mm，高さ600mm，主筋4 - D16，帯筋D10@100である。RC 立ち上がり部の帯筋端部は90°折り曲げ，重ね長さ約400mm となっていた。被害は，片側の桁行き構面柱脚4カ所で大きく，アンカーボルトの伸び出し，ベースプレートの水平ずれ，RC 立ち上がり部のせん断破壊（写真33）等であった。

4.2 耐震補強の効果

調査建物の中に耐震補強工事実施済の学校体育館が4棟含まれていたが，震度 地域にあった川口中学校体育館を含めて全棟が無被害または軽微な損傷に止まっていた。川口中学校体育館はグピオン屋根で，アリーナ下部RC造，上部S造の2階建てである（写真34）。桁行方向には4対の筋違（柱外フランジ位置，間柱付2連X形）が元々配置されてあったが，耐震補強によりV形鋼管筋違が体育室部分の全構面に設けられている（写真35）。校舎内部や体育館との EXP.J. でカバーの脱落などの若干の損傷であった。



写真34 川口中学校の体育館全景



写真35 元々のXブレースの他にVブレースの補強がされている。

5 被害のまとめ

5.1 RC造の被害のまとめ

- (1)震度7地域においてもRC造建物の被害は兵庫県南部地震と比べ少ない。これは、RC造建物は比較的新しいものが多いこと、地震動の卓越周期が短周期側であったこと、建物と地盤の相互作用により建物基礎には観測波形ほどの大きさの入力が無かったこと、などが推測される。
- (2)学校校舎の損傷は全般的に大きくなかった。損傷が目立ったのは一部の校舎でありその数は多くない。
- (3)耐震補強されていた学校もあり、それらは概して被害が少なかったが、耐震補強の成果が試されるほどの大きな地震動ではなかったと考えられる。
- (4)震度 弱地域でも、地盤変状による被害が多かった。
- (5)震度 弱地域でも、施工不良が原因と見られる損傷があった。
- (6)学校校舎以外の鉄筋コンクリート建物については、全般に学校校舎より構造体の損傷は大きかった。これらは古い建物が多く、構造部材の損傷の種類は、柱のせん断破壊が主であった。

5.2 鉄骨造の被害のまとめ

- (7)調査対象地域においては、柱、梁、柱梁接合部などの構造躯体に大きな損傷を受け、長期間使用不能となるような鉄骨造建物はほとんど殆どなかった。このことについては、入力地震動の性質、地盤と建物の相互作用、設計積雪荷重をはじめとする諸要因との関連について今後検討する必要があると考えられる。
- (8)よく見受けられた構造躯体の被害として、引張ブレースとして設計された軸組ブレース材の座屈，ブレース端部の高力ボルトのすべり，高力ボルト使用箇所における塗料の剥離，屋根面ブレースの伸びによる残留変形，露出形式柱脚のアンカーボルトの伸び出しやRC立ち上がり部コンクリートの損傷などがあげられる。また，地盤変状に起因する基礎構造の損傷を受けた鉄骨造建物も見受けられた。
- (8)このほか，構造躯体の被害とは直接関係ないものの，ALC版など内外装材の落下，サッシやガラスの破損など，非構造部材の被害が多数見受けられた。

6 謝辞

本報告では文献[1]に掲載された写真を中心にいくつか使わせて頂きました。名前は掲載写真とともに示してあります。また、同じく文献[1]の内容を引用させて頂きました。さらに、調査には筆者ら以外に新潟大学自然科学研究科大学院生にも多数参加頂きました。関係各位に謝意を表します。

7 参考文献

- [1] 日本建築学会の「2004年10月23日新潟県中越地震の災害調査速報（2004年12月12日）」

免震建物の地震観測記録と振動解析結果

溜 正俊¹⁾、鴫田 隆²⁾

- 1) 株式会社三菱地所設計 構造設計部，参与
2) 株式会社三菱地所設計 構造設計部，部長

1 はじめに

平成16年10月23日午後5時56分頃，新潟県中越地方を震源とする地震（新潟県中越地震 M=6.8 震源深さ約13km）が発生した．震央に近い小千谷市に建つ小千谷総合病院老人保健施設「水仙の家」（免震建物）には，免震層の上下に地震計が設置されており，この地震における加速度波形が観測された．本稿では，本震の観測結果を建物の概要とともに報告する．

2 建物概要

本施設は，新潟県の「老人保健福祉計画」に沿った施設整備として，小千谷総合病院が平成7年（1995年）に計画したものである．設計においては，同年の兵庫県南部地震における神戸市の被災状況などから，介護を必要とする高齢者が大地震後に建物外に避難することは非常な困難を伴うと考え，施設の耐震安全性向上と機能保持を目標に免震構造を採用した．

建設地は JR 上越線小千谷駅から西に約2km の市街地にあり，小千谷総合病院の近隣に位置する．なお，今回の地震で1307.9gal を観測した防災科学技術研究所「強震ネットワーク（K-NET）」小千谷観測点からは，直線距離で約1km の位置にある．表1に建築概要を示す．

表1 建築概要



写真1 建物全景

建物名称	(財)小千谷総合病院老人保健施設「水仙の家」	
所在地	新潟県小千谷市元町446-1,2,4	
建築主	(財)小千谷総合病院	
設計監理	三菱地所(株) 現:(株)三菱地所設計	
施工	大成建設(株)	
用途	老人保健施設	
階数	地下1階，地上5階，塔屋1階	
面積	建築面積	1,156.21m ²
	延床面積	4,447.92m ²
高さ	軒高	19.29m
	最高高さ	23.19m
構造種別	鉄筋コンクリート造 耐震壁付きラーメン構造	
基礎形式	直接基礎 根伐底GL- 4.16m	
免震装置	天然ゴム系積層ゴム支承 (18基)	
	弾性すべり支承 (21基) ハイブリッドASSI法	
竣工	平成9年(1997年)5月30日	

3 構造計画概要

3.1 構造計画

本建物は，地下1階，地上5階，塔屋1階の鉄筋コンクリート造建物である．図.1に平面図，図.2に軸組図を示す．平面形状はほぼ成形で，X 方向は7m 前後の5スパン，Y 方向は5.7m を基本とする6スパンで構成される．基準階階高は3.5m で，5階のみセットバックしている．免震層は1階床下に設け，地上部分を免震する．免震層の一部を地下階とし，機械（受水槽）室としている．

上部構造の耐震設計は，予備応答解析からベースシャー係数 $C_B = 0.12$ として許容応力度設計を行った．また，計画地は多雪地域であり，積雪荷重は，垂直積雪量300cm，単位荷重30N/m²/cmとした．

敷地の表層は砂質シルトであるが，GL - 2.5m 以深は N 値50以上の砂岩，シルト岩を主体とする洪積層の魚沼層群が分布している．本建物の基礎構造は，これを支持層とするマットスラブ形式の直接基礎とした．

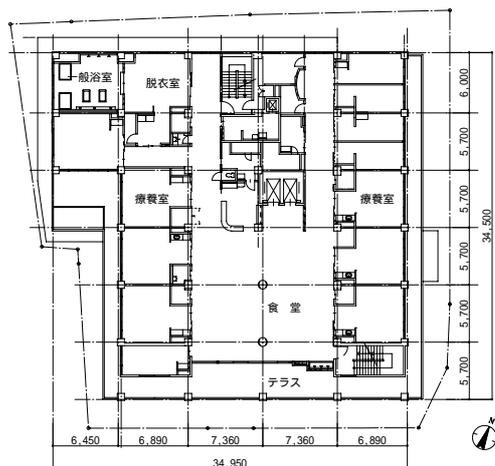


図2 2階平面図

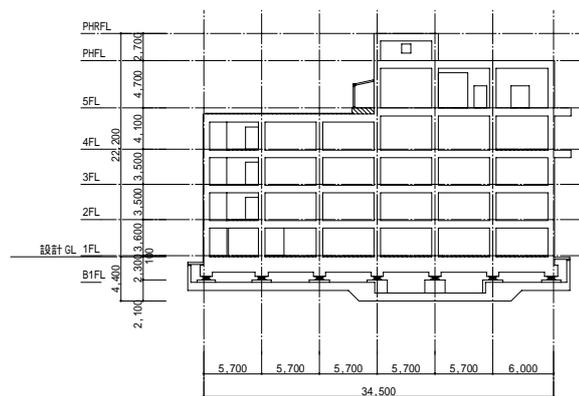


図3 軸組図

3.2 免震装置

免震装置は、下記2種類の組み合わせとした。

- ・天然ゴム系積層ゴム支承： 600～700 計18基 ($G = 45\text{N/cm}^2$)
- ・弾性すべり支承： 400～650 計21基

弾性すべり支承は、完全弾塑性型の復元力特性を持つ減衰機構（摩擦係数 $\mu = 0.12$ ）として用い、これを地震時の軸力変動の少ない個所に設置した。弾性変形をする積層ゴム支承との組み合わせにより、免震層全体としてはバイリニア型の復元力特性となる。

免震層の弾性剛性（すべり発生以前）は周期1.2秒とし、地盤の周期（ $T_c = 0.25$ 秒）から十分離れたものとした。第2勾配の接線剛性は周期4.5秒とし、長周期化を図った。図3～4に免震装置の配置と地震計位置を示す。

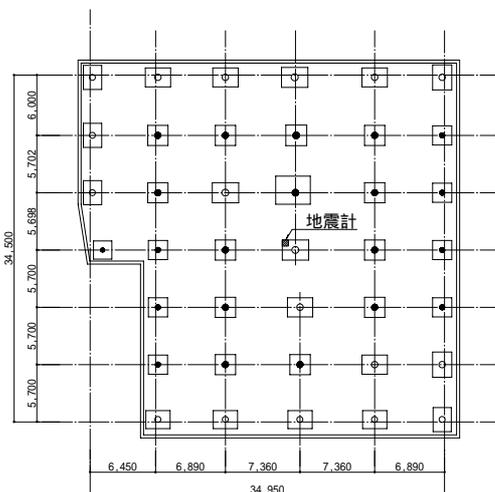


図3 免震装置配置図

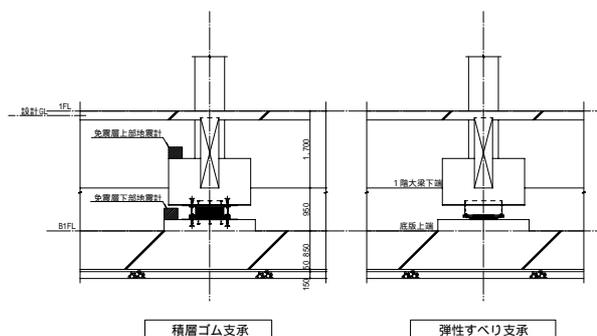


図4 免震装置詳細

4 地震観測記録

本震時の観測記録について述べる。図5に免震層下部の疑似速度応答スペクトルを図6～8に免震層上下の波形を示す。また、表2は各々の最大加速度と免震層上下の最大加速度比である。

疑似速度応答スペクトルより、この地震動のレベルは周期3秒以下において告示1461号に示される「極めて稀に発生する地震動」を上回っていることが確認できる。一方、免震層上部の最大加速度は、免震層下部に比べ約25%となっており、免震装置によって上部構造に入力された地震力が低減されたことがわかる。な

お、上下動については、1.5倍程度の差異が認められる。

図9は、免震層上部記録のフーリエスペクトルである。これによれば、免震層の卓越周期は、NS 方向で2秒程度、EW 方向で1.2秒程度と考えられる。また、上下方向は短周期成分が卓越しており、固有周期は0.1～0.2秒程度であったと考えられる。なお、観測記録については、余震記録を含めて詳細な分析を行っていく予定である。

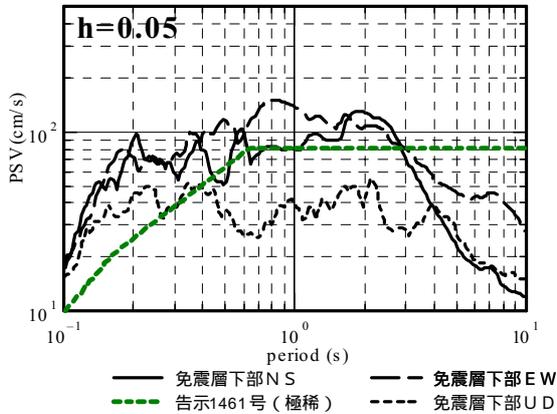


図5 疑似速度応答スペクトル

表2 最大加速度

(加速度の単位 :gal)

方向	免震層下部	免震層上部	上部 / 下部
NS	740.4	198.0	0.27
EW	807.7	205.2	0.25
UD	487.2	749.4	1.54

注) 回収直後のデータ値であり、今後の分析により変動する可能性がある。

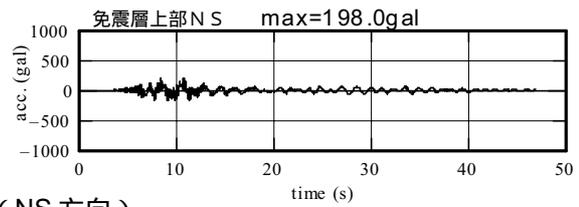
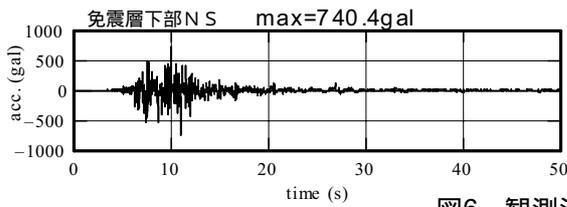


図6 観測波形 (NS 方向)

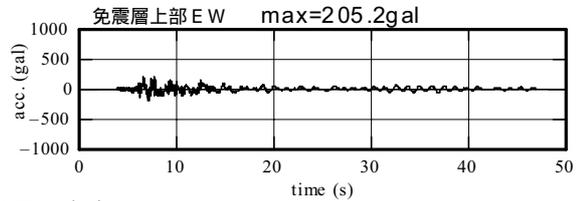
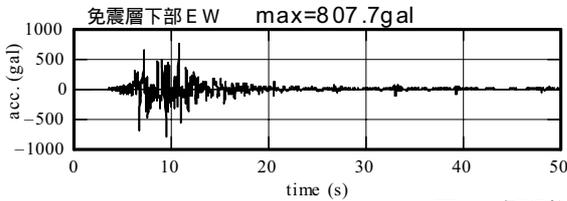


図7 観測波形 (EW 方向)

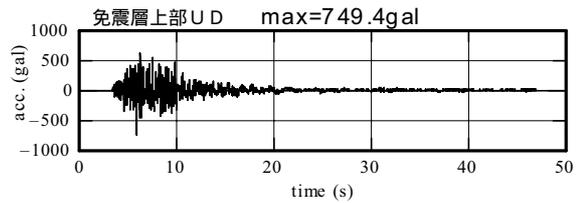
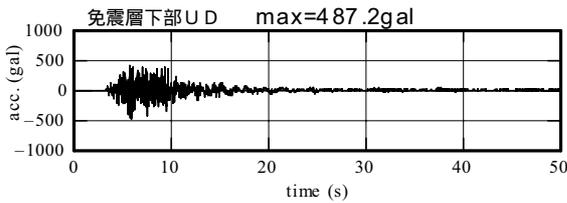


図8 観測波形 (UD 方向)

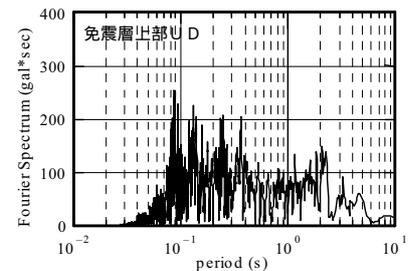
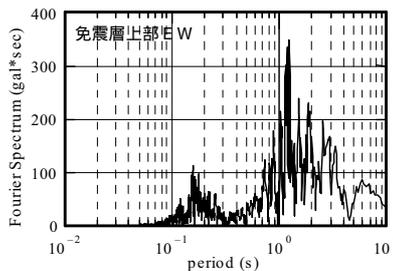
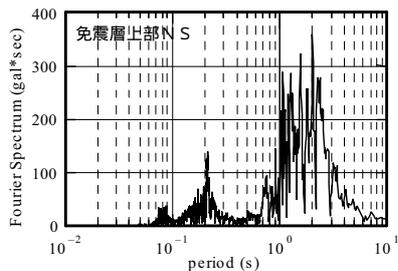


図9 フーリエスペクトル (免震層上部)

5 観測波を用いた地震応答解析結果

5.1 解析モデルと入力地震動

振動解析モデルは、図10に示すような上部構造5層に免震層を加えた6質点系の等価せん断モデルとした。上部構造はトリリニア型、免震層は弾性すべり支承と積層ゴム支承を表すばねを並列に配置したバイリニア型の復元力特性を持つ。建物重量、復元力特性の緒元は設計時のものを用いた。入力地震動は、免震層下部で観測されたNS - EW方向の地震波を、建物X、Y方向に補正（約20度）したものを用いた。

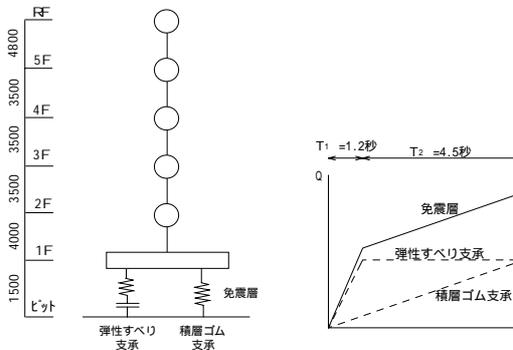


図10 振動解析モデル

表3 観測波と入力地震動

		免震層下部 最大加速度(gf)	免震層上部 最大加速度(gf)
観測波	NS方向	740.4	198.0
	EW方向	807.7	205.2
入力 地震動	X方向(N70E)	823.6	194.3
	Y方向(N20W)	670.5	223.0

5.2 応答解析結果

最大応答加速度、最大応答層間変形角を図11～12に示す。図11の観測記録は、免震層上部で観測された加速度記録の最大値である。図13～14に、免震層上部の応答結果の変位波形と建物X、Y軸に補正した加速度波形をフーリエ積分して求めた変位波形を示す。

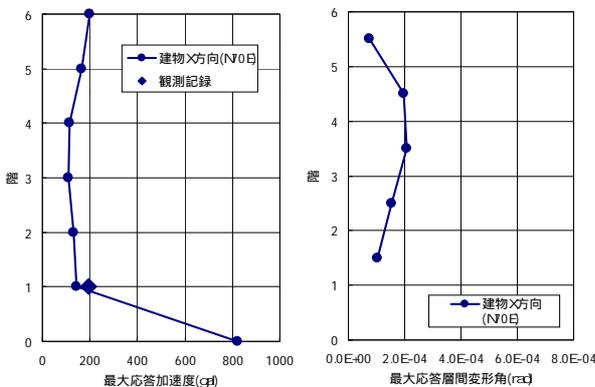


図11 X方向最大応答値

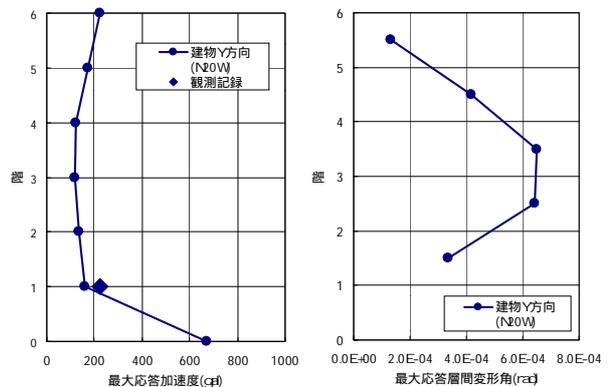


図12 Y方向最大応答値

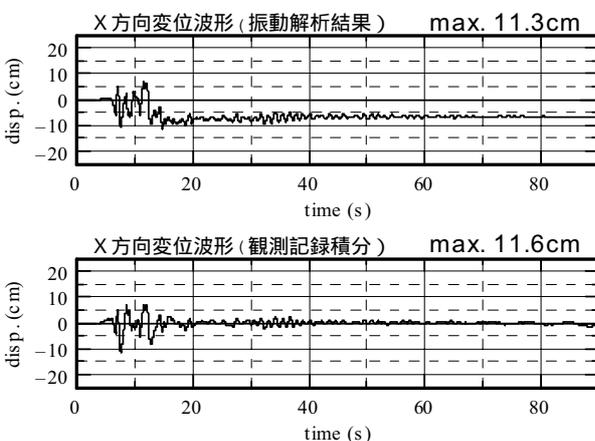


図13 免震層上部変位波形（X方向）

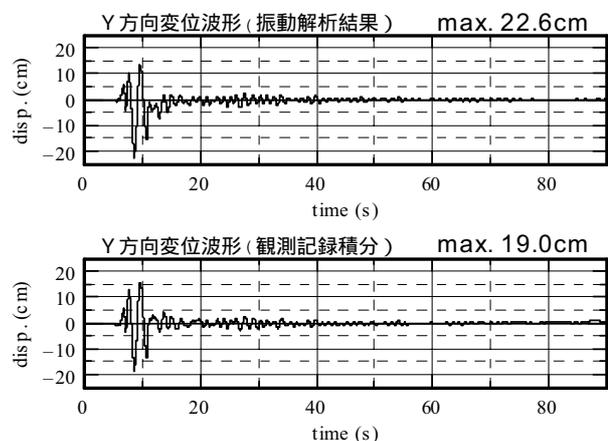


図14 免震層上部変位波形（Y方向）

5.3 振動解析のまとめ

免震層上部の最大応答加速度は、X 方向146.0gal（観測記録194.3gal）、Y 方向160.4gal（同223.0gal）であった。また、免震層の最大応答変位は、X 方向11.3cm（観測記録からの算出値11.6cm）、Y 方向22.6cm（同19.0cm）であった。以上より、振動解析結果と観測記録は概ね良く対応していると言える。なお、観測記録から算出した変位波形は、長周期成分を含まない周波数領域で積分しているため残留変位は現れていない。

上部構造の最大応答相関変形角は、X 方向1/4865（3階）、Y 方向1/1542（3階）であった。この結果より、上部構造には地震による損傷はほとんどないものと考えられる。

6 地震後の状況

本建物の本震後の状況を簡単に述べる。まず、構造躯体や内外装材などの建物本体、およびフレキシブルジョイントを含む設備機器については無被害であった。建物外周にバリアフリー対応として設けた段差吸収部分に軽微な損傷が見られた。免震層については、弾性すべり支承のすべり痕から 15cm 前後の変形があったことが予想された。また、積層ゴム支承には、許容値以内と考えられる残留変形がある。

建物内の家具の転倒や落下はほとんどなく、室内の状況も地震前と変わらないようであった。周辺のインフラが停止し、本建物においても非常用発電機による電気以外はストップしたが、在館者は地震後も引き続き館内に留まることができた。加えて、ホールや食堂を避難所として使い、病院棟の入院患者や近隣の被災者を受け入れていた。以下の写真は、本建物の地震後の状況である。



(a) 地震後の建物外観



(b) 食品庫
棚から物が落ちることはなかった。



(c) 厨房食器棚
食器等の落下はなかった。



(f) 3階、棚上の置物
転倒しなかった。



(e) 2階テラス
植栽プランターの落下は1個のみ。（床面に土跡あり）



(f) 水仙の家への避難者

写真2 地震後の建物状況

（室内写真は、本震の5日後、地震後の状況を施設責任者に確認の上撮影）



(a) 弾性すべり支承
約14cm のすべり痕が認められる。



(b) 積層ゴム支承外観



(c) 積層ゴムの残留変形
簡易な測定であるが、3cm 程度の変形が認められる。

写真3 免震装置の状況



(a) エントランス
車いす対応のため段差なしで設計。砂締めインターロッキングが建物に押されて浮き上がる。



(b) 融雪装置配管
凸形ジョイント部が建物と接触したようである。



(c) 台車の搬入路
建物に押され移動。復旧は容易。

写真4 建物外周部の状況

7 おわりに

小千谷総合病院老人保健施設「水仙の家」について、新潟県中越地震の観測記録の概要を述べた。本稿は、本震の翌週に回収したデータを速報的に整理したものであり、今後、観測波の詳細な分析や免震効果の解析的検証などを行っていく予定である。

この地震における小千谷市の震度は6強と発表された。多くの建物やインフラ機能に甚大な被害が出た中であって、本建物では躯体や内外装に被害はなく、家具などの転倒や落下もほとんどなかった。この事実が免震構造の有効性として社会に認識され、免震建物が今まで以上に普及していくことを願っている。

8 謝辞

今回の観測データは、免震建物で観測された地震波形としては過去にない規模のものであり、免震効果を確認する上で貴重な資料となるものです。地震計の設置にご理解をいただいた(財)小千谷総合病院様、および設計時よりご協力いただいた大成建設(株)担当者各位に感謝いたします。

最後になりましたが、新潟県中越地震により被災された皆様ならびに関係者の皆様には、心よりお見舞い申し上げます。

7. ライフラインの被害

(1)電気

橋本修一¹⁾

1)正会員 東北電力(株)土木建築部・課長(土木地質担当)

1 はじめに

平成16年10月23日17:56頃発生した新潟県中越地震(本震 M6.8)は、余震を含めた震源域とその周辺に位置する電力設備に甚大な被害をもたらした。本地震は内陸の震源の浅い地震であったため、特に多くの地すべりや地すべり地形が存在する東山丘陵、魚沼丘陵内に斜面崩壊や地すべりが多発した。そのため丘陵内を横断あるいは縦断するライン構造物に、これら地盤変動が原因となって多くの被害が生じている。

東北電力の供給支障は、地震直後に最大約28万戸に達したが、復旧作業に全力を注いだ結果、12月3日現在、立入りを制限されている地域の1,382戸を除いては全て復旧している。

なお、震源域とその周辺の電力設備には東北電力以外にも、東京電力(株)、電源開発(株)、JR 東日本の設備が存在するが、本項では記載しない。

2 停電状況

中越地方を中心に最大約28万戸(10月23日、23時48分)の停電が発生したが、10月28日17時55分までに道路寸断などの影響による孤立地域を除いて、配電設備を復旧した。その後、道路開通などにあわせ復旧に努めてきた結果、避難指示が出ている山古志村および小千谷市の一部を除き、11月13日13時までには解消した(図1)。なお、地震発生時の供給支障電力は434,200kWであった。

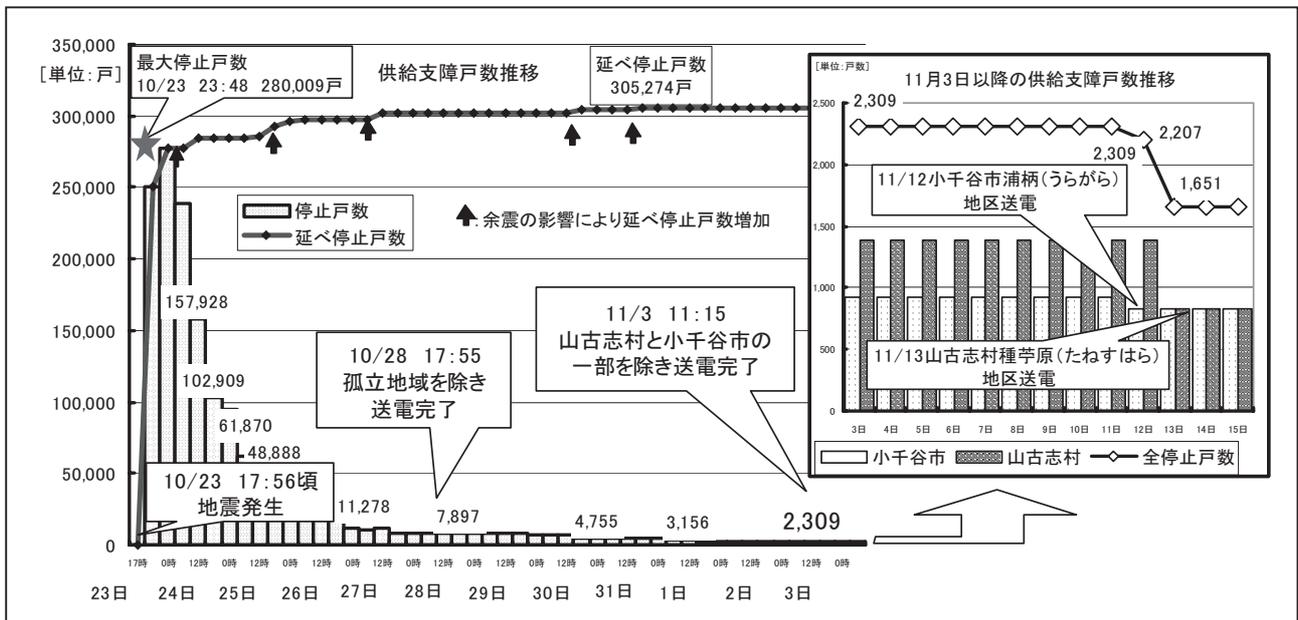


図1 東北電力における供給支障戸数の推移

3 主な設備被害

震源域において被害が確認された東北電力所有電力設備の位置関係の概要を図2に示す。

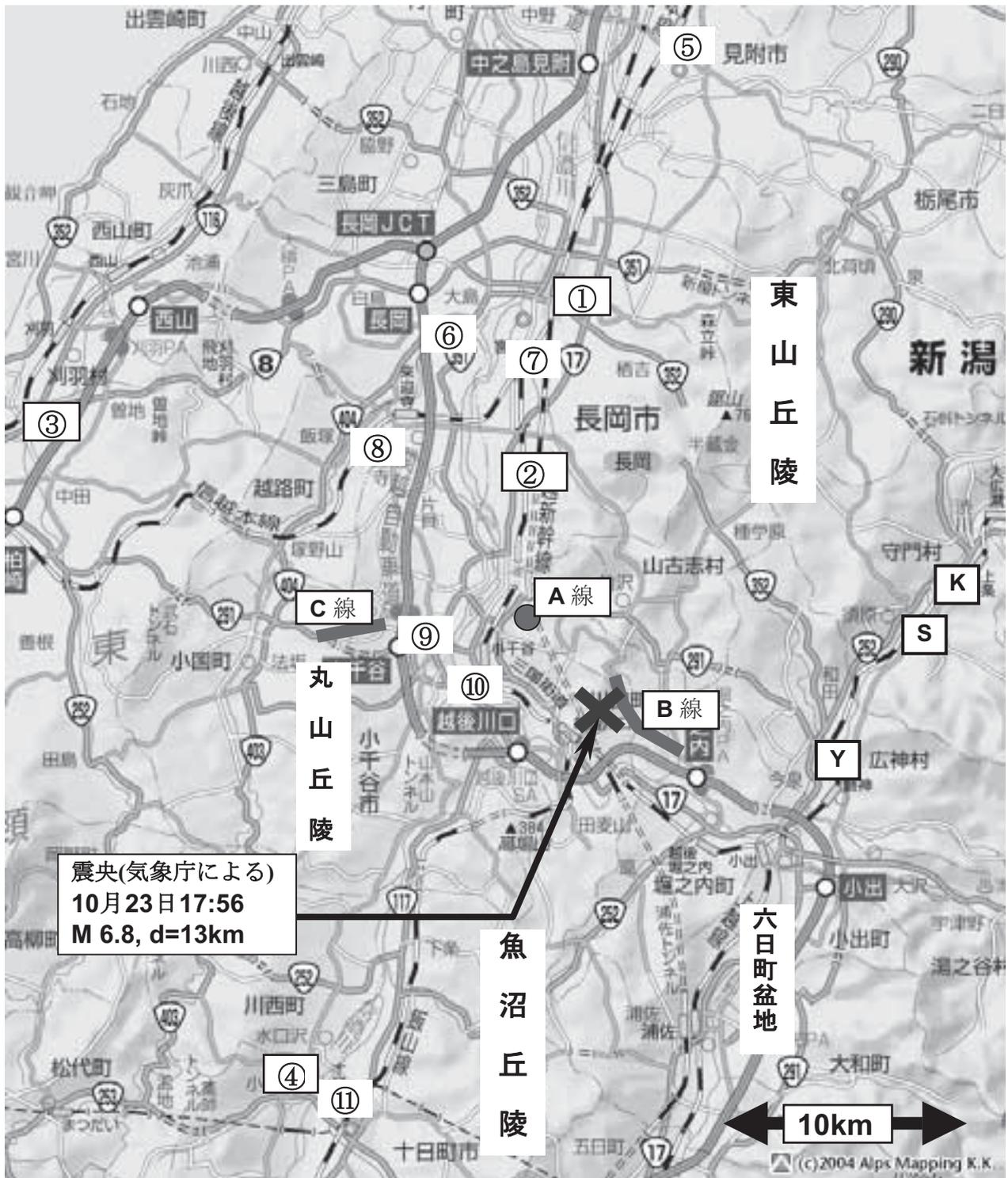


図2 東北電力の設備被害分布状況（配電設備を除く）

<凡 例>

水力発電所 K、S、Y

変電所 一次 (①、②、③、④)

変電所 二次 (⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪)

送電線 A線(66kV)、B線(66kV)、C線(154kV)

(送電線については鉄塔倒壊箇所を丸印●で、鉄塔傾斜や部材変形が連続的に確認されたおよその範囲を太線で示す)

3.1 発電設備

震源域の東縁、信濃川水系破間川沿いの3つの水力発電所(K、S、Y)では冷却水配管損傷が1件、建物一部損傷などが2件認められた。このうちダム水路式の2発電所の取水源である K ダム及び Y ダムとも運転上支障となる損傷は認められなかった。

これら水力発電設備は東山丘陵・魚沼丘陵とは六日町盆地をはさんで東側の越後山脈側に設置されていて、基盤の構成地質は中生界から下部中新統までの硬質な岩盤となっている。

3.2 送電設備

送電設備の被害は軽微なものも含めて34線路、370件認められた。

顕著な被害としては鉄塔倒壊1件、鉄塔傾斜3件、鉄塔傾斜(軽微)20件があげられる。他にも、鉄塔敷地内の地盤亀裂などが346件で確認された。

これらの被害のうち、鉄塔の変形はおおむね六日町盆地より西側で確認され、特に被害が連続的に生じた線路は、本震の震央付近である東山丘陵地域から小千谷台地、丸山丘陵(東頸城丘陵北端部)に認められる(図3)。

同地域の地質は中部中新統から鮮新統の軟質な堆積岩で、おおむね NNE-SSW 方向の軸を持つ複雑な褶曲構造を有する。傾斜が確認された鉄塔においては、いずれも鉄塔敷直下の基礎岩盤が滑落し、あるいは敷内に開口亀裂が生じるなど、地すべりや斜面崩壊の影響を被っている。

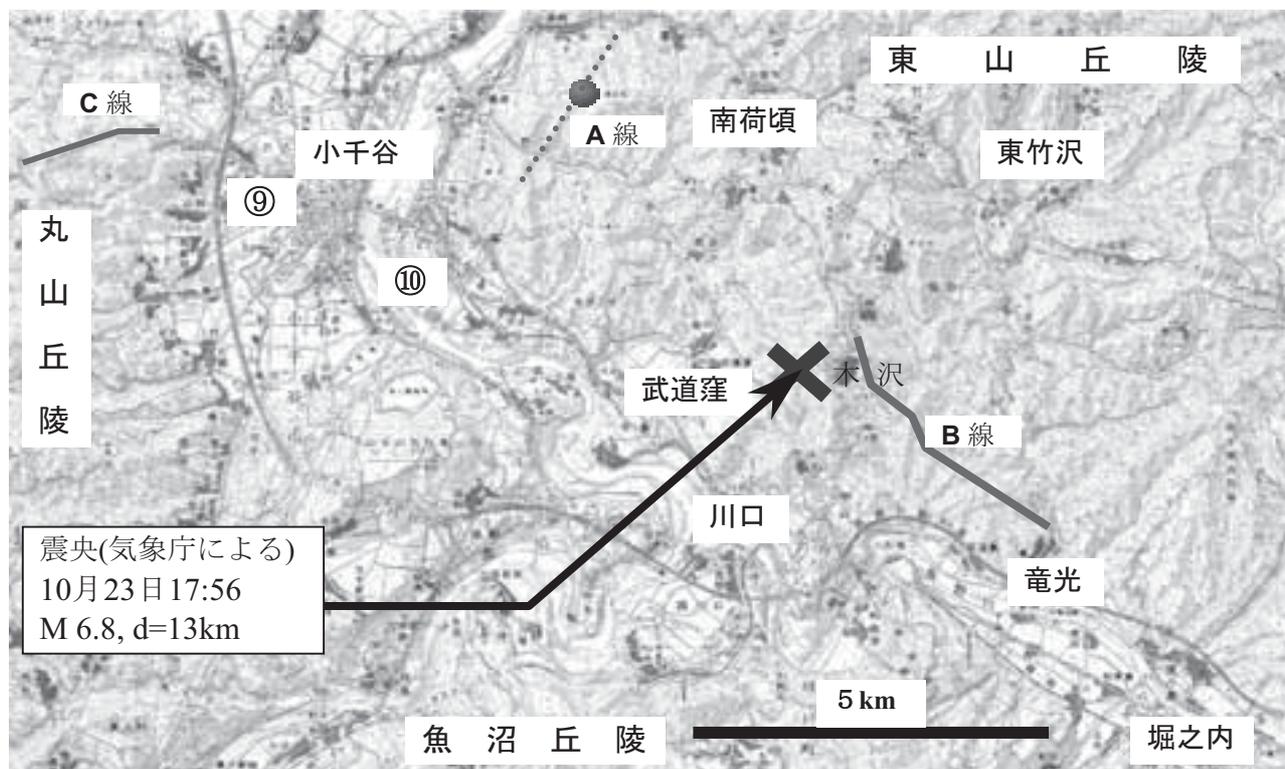


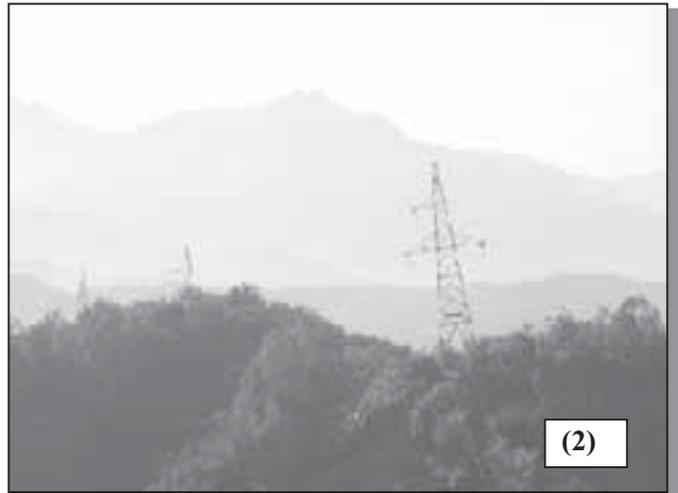
図3 震源域付近の拡大位置図

<凡 例>

変電所 ⑨、⑩

送電線 A線(66kV)、B線(66kV)、C線(154kV)

(鉄塔倒壊箇所を●で、鉄塔傾斜・部材変形が連続的に確認されたおよその範囲を実線で示す)



- (1) A線 鉄塔倒壊
- (2) B線 鉄塔傾斜
- (3) B線 地滑り

写真1 送電鉄塔の被害状況

3.3 変電設備

変電設備の被害は11変電所、23件認められた。内訳は避雷器折損1件、電力用コンデンサ倒壊1件、機器基礎沈下など21件である。

被害の範囲は、主として見附市から十日町市にいたる南北に延びる信濃川沿いの低地帯で、震源域の西縁に沿っている。この範囲から西に外れた柏崎平野において機器基礎に沈下が認められるが、本変電所が立地する柏崎平野は、鯖石川が氾濫して形成した自然堤防とその後背湿地に相当する。新潟県地盤図編集委員会(2002)¹⁾によると、当該個所周辺は地下30m程度まで一部砂層は薄く分布するものの、大部分は粘性土層が分布することが知られている。



- (1) 変電所① 154 kV 避雷器折損
- (2) 変電所① 66 kV 電力用コンデンサ倒壊
- (3) 変電所③主要変圧器一次遮断器、避雷器の基礎沈下

写真2 変電設備の被害状況

3.4 配電設備

配電設備の被害は総計で7,566件に及んだ。内訳は支持物関係4,227件（倒壊等88件，傾斜等4,139件）、電線関係3,339件（断線105件，その他3,234件）である。



- (1) 小千谷市千谷地区
- (2) 小千谷市桜町地区
- (3) 旧川口町木沢地区

写真3 配電設備の被害状況

4. 復旧状況

4.1 東北電力の復旧体制

地震発生直後より、社長を本部長とする災害対策本部を立ち上げ、当該事業所の自動出社社員により初期対応を行い、新潟支店内の社員と工事会社および工事会社も含む他支店応援隊により、一日最大約2,200名を派遣し、被害状況の把握および復旧作業にあたった。また、電源車104台（他電力応援34台含む）を現地に投入し、公共施設や病院等の重要施設への電源確保を図った。

4.2 他電力からの応援

停電の早期復旧を図るため、地震発生を受け「東地域非常災害対策要綱」に基づき速やかに連絡体制を構築した。地震発生翌日の24日には、電力各社からの応援申出があり、初期対応として隣接会社から電源車などの復旧応援を以下のとおり要請した。

表1 東北電力の復旧体制および他電力からの応援体制

	要員(人/日) (最大時)	車両(台)	
		電源車	その他
送電	196	—	65
変電	150	0	35
配電	2,100	70	1,050

	要員(人/日) (最大時)	車両(台)	
		電源車	その他
東京電力	115	29	24
中部電力	15	2	6
北陸電力	24	3	9
合計	154	34	39

5 その他

5.1 災害特別措置

小千谷市、長岡市、十日町市などの市町村に災害救助法が適用されたことを踏まえ、電気事業法第21条ただし書きの規定に基づき、電気料金支払期限の延伸や工事費の免除等の「災害特別措置」の認可申請を経済産業大臣宛に行い、認可済みである。

5.2 被災者・地域への主な救援活動

各自治体災害対策本部を通じて被災地域のお客さま方々のご要望やご希望に添うような、生活物資や生活支援サービスなどを提供した。なお、他の電力会社でも同様な支援活動を実施している。

〔主な支援物資〕懐中電灯、携帯用カイロ、レトルト食品、カップ・スプーン・フォーク、電子レンジ、電気カーペット、電気ポット、ブルーシート、電気洗濯機、電気乾燥機、ウェットティッシュ、介護用品（オムツなど）、テーブルタップなど

〔その他生活支援サービス〕長岡市内の避難所に通話無料のPHS電話を設置（東北インテリジェント通信㈱の協力）、長岡市内・小千谷市内の避難所に書籍を設置、避難所から入浴施設までの無料バスを運行（長岡市・小千谷市との連携）、長岡市に被災者専用「臨時ランドリーセンター」を設置

6. あとがき

被災地では、現在も設備の本復旧作業、仮設住宅等への供給設備建設及び倒壊家屋撤去に伴う供給設備撤去などの対応が継続中である。また、通行制限、崩壊地での作業安全確保等に問題があるなど立ち入りできない箇所もあることから、特に件数の多い配電設備被害分布の詳細などについては今後の課題であることを了解願いたい。

参考文献

1)新潟県地盤図編集委員会編：「新潟県地盤図」および「新潟県地盤図説明書」，2002，(社)新潟県地質調査業協会。

以上

2004年新潟県中越地震における都市ガスの被害

中山渉¹⁾、菜花健一²⁾、中根宏行³⁾

1) 正会員 東京ガス株式会社 防災・供給部 副課長

E-mail: wataru@tokyo-gas.co.jp

2) 東京ガス株式会社 防災・供給部 チームリーダー

E-mail: k-nabana@tokyo-gas.co.jp

3) 東京ガス株式会社 防災・供給部 防災・供給グループマネージャー

E-mail: hnakane@tokyo-gas.co.jp

要約

本報告書は2004年10月23日に発生した、新潟県中越地震における都市ガス事業者の地震時の緊急対応状況、復旧状況についてまとめたものである。現段階においては定量的な被害データが確定していないが、本地震においては阪神・淡路大震災時と同様、主な損傷部位はガス導管の接合箇所へのねじ部に集中して発生したこと、一方被災事業者の所有する低圧ガス導管の約25%を占めていたポリエチレン管については、激しい地盤変動にもかかわらず損傷した事例は確認されていないことなど、阪神・淡路大震災における被害状況と定性的には似ていることを確認している。

1. 地震による影響の概要

新潟県中越地震の影響により、新潟県内の5つの公営事業者を含む6事業者で合計約56,800戸の需要家へのガス供給を停止した。今回の地震においてSI値30カイン以上を記録した事業者を表1、図1に示す。これらの事業者においては、ガス製造設備（受け入れ設備）及びガスホルダーについては、供給に支障が生じるような被害は発生しなかった。

表1：30カイン以上を記録したガス事業者（地震発生時の名称。下線は供給停止事業者）

震度	事業者名
震度7	<u>川口町建設企業課</u>
震度6強	<u>小千谷市ガス水道局</u>
震度6弱	<u>越路町企業課</u> 、 <u>堀之内町企業課</u> 、 <u>北陸ガス(株)</u> 、 <u>栃尾市ガス水道局</u> 、 <u>三島町・与板町ガス企業団</u>
震度5強	<u>見附市ガス上下水道局</u> 、 <u>小出町企業課</u> 、 <u>柏崎市ガス水道局</u>
震度5弱	<u>栄町ガス消費生活協同組合</u>

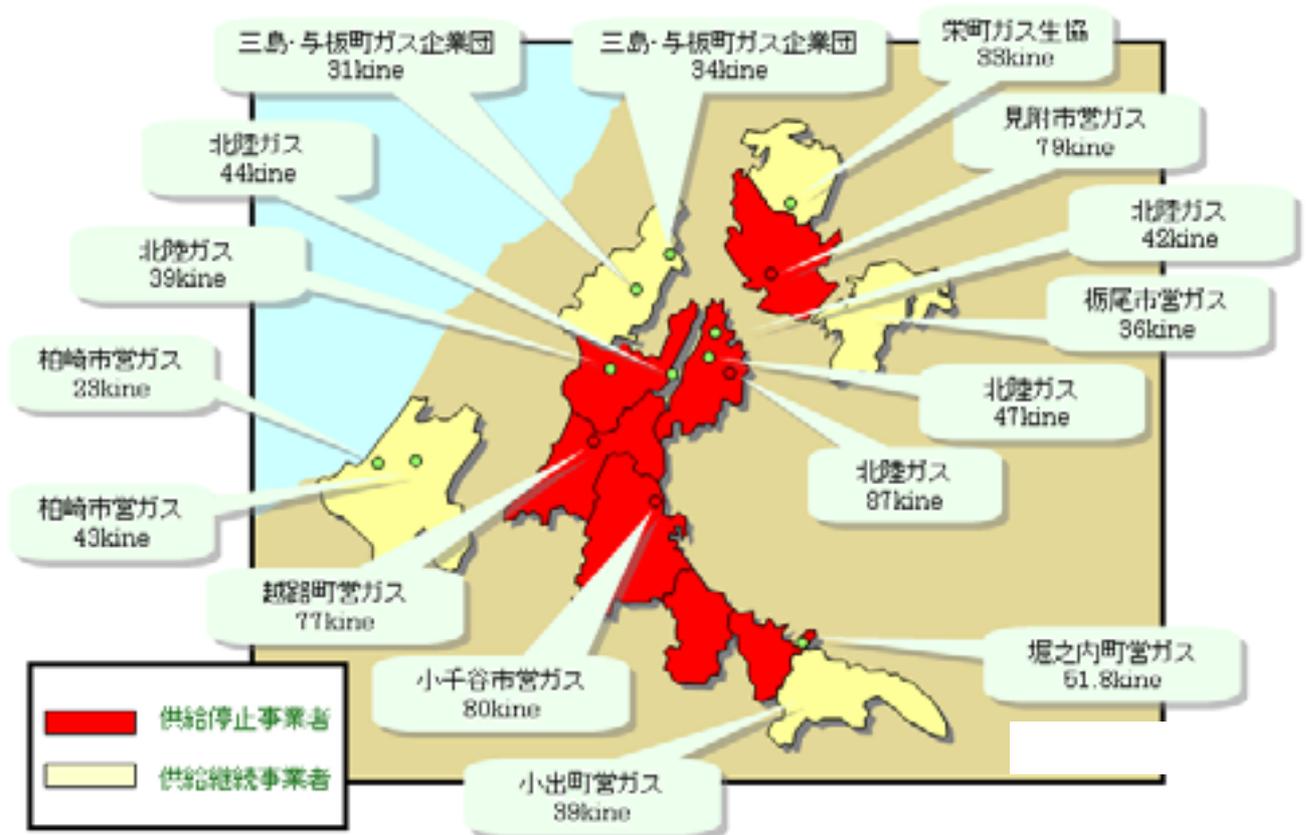


図1：30カイン以上を記録したガス事業者（事業者名は略称）

2. ガス導管の耐震化状況

今回被災した事業者におけるガス導管の管種別の延長・比率は以下の通りである。阪神・淡路大震災において被害の発生しなかったポリエチレン管は低圧ガス導管の約25%を占めている。

表2：被災事業者の耐震化率（供給停止事業者の低圧ガス導管比率）

事業者名	鋼管	鋳鉄管	PE※管	合計
比率	43.4%	32.0%	24.6%	100%

※ PE：ポリエチレン

3. 供給状況・被害の概要

今回被災した事業者において、低圧導管の被害は、阪神・淡路大震災での被害と同様「ガス導管耐震設計指針」が発行された1982年以前に埋設されたねじ接合部に被害が集中した。また、ポリエチレン管については被害が発生しなかった。供給継続地区の被害は極めて少なく、迅速な対応がなされた。

表3：供給停止事業者一覧

事業者名	供給停止件数	SI 値	備考
見附市	13,300	7.9	
北陸ガス長岡地区	23,200	8.7	すべて、停止した地域の数値
越路町	4,000	7.7	
小千谷市	12,200	8.0	
川口町	1,700	不明	
堀之内町	2,400	51.8※	※最大速度計の値を1.18倍した値

表4：供給継続事業者一覧

事業者名	需要家件数	SI 値	備考
小出町	6,319	3.9	
柏崎市	26,808	4.3	最大値
栃尾市	5,618	3.6	
三島町・与板町	4,227	3.4	最大値
栄町	3,422	3.3	

4. マイコンメーターの設置状況

各事業者において二次災害防止に有効なマイコンメーターの設置率はほぼ100%に達しており、地震時には被災した事業者を中心に各需要家の感震自動遮断をおこなった。マイコンメーターの設置率の全国平均は2003年度において98.9%に達している。



図2：マイコンメーター

5. 地震後の緊急措置状況

各地域のガス事業者は、それぞれの動員基準や、災害対策本部の設置基準に基づき、地震発生後速やかに災害対策本部を設置するとともに、二次災害の発生を防止する観点から、地震計の測定値や、ガス送出量、主要設備の圧力確認を行い、被害の大きかった6事業者においてはガスの供給停止を行った。供給継続事業者においては職員が速やかに参集し、情報収集に努めるとともに、二次災害防止のための迅速な漏洩対応を行い、供給を継続した。

6. 復旧状況

(1) 復旧応援体制

日本ガス協会においては、10月24日(日)に先遣隊を派遣し、この情報に基づき、関東近隣及び新潟県かのガス事業者からなる応援隊を編成し、10月25日以降最大で977名を派遣した。供給停止した事業者の作業員約600名とあわせ、約1580名(述べ4万人日)の体制で復旧作業を行った。

(2) 復旧の進捗

地域によってはガス導管に大量の水が流入していることなどの障害に見舞われ、当初の計画通りに進捗しないケースもあったが、事業者により事前に復旧ブロックが策定されていたことや、家屋倒壊等で復旧の困難な供給管(道路に埋設されている本支管から需要家の敷地までを引き込む導管)を先行的に切り離すなど効率的な復旧作業を行った結果、11月末までには、土砂崩壊等により復旧作業に取り掛かれない一部の地域を除きガス導管の復旧作業を完了した。各事業者における復旧時期は下記の通りである。

表5：事業者ごとの復旧時期

事業者名	最大供給停止戸数(注1)	概ね復旧した時期(注2)	復旧完了時期(注3)
見附市	約13,300戸	11月3日頃	11月30日
北陸ガス(長岡地区)	約23,200戸	11月3日頃	12月2日
越路町	約4,300戸	11月7日頃	11月23日
小千谷市	約12,200戸	11月30日頃	—
川口町	約1,700戸	11月30日頃	—
旧堀之内	約2,400戸	11月4日頃	11月29日

(注1)：平成15年末のガスメータ取り付け数に基づく。

(注2)：避難勧告、道路・家屋等の被害が著しい等により、復旧作業に取り掛かれない地域を除き、概ね復旧が完了

(注3)：家屋倒壊等により当面の間ガス供給の需要が見込みない場合を除き復旧

謝辞

本報告をまとめるにあたり、新潟県中越地震において被災した事業者の皆様には地震対応後のご多忙中に、被害状況や地震時の状況についてご説明頂いたと同時に貴重な資料を提供して頂きました。各事業者の皆様に対し厚く御礼申し上げます。

参考文献

ガス地震対策検討会報告書(1996)、資源エネルギー庁

以上

平成16年新潟県中越地震における水道施設の被害について

岩本利行¹⁾、戸島敏雄²⁾

1) 正会員 (株)クボタ 鉄管事業部 担当部長

e-mail:t-iwamot@kubota.co.jp

2) (株)クボタ パイプエンジニアリング部 担当部長

e-mail:t-tosima@kubota.co.jp

要約

浄水場や配水池などでは主要設備・構造物に大きな被害は無く、復電後には運転を再開できた。多くの管路被害は発生したものの、被害率は阪神・淡路大震災の芦屋市や西宮市に比べて小さかった。管路被害は、主に液状化の発生個所、造成地および道路の盛土部で発生した。

1. はじめに

平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震では、35市町村13万戸で断水状態となり、地域住民は水の無い不便な生活を強いられた。水道事業体の応援により懸命な応急復旧がなされ、11月末には一部地域を除きほぼ断水は解消された。本報告では、地震後の断水状況と応急給水・応急復旧について、ならびに浄水場や配水池など施設の被害および管路の被害の概要等について述べる。

2. 地震後の断水状況と応急対応

35市町村13万戸で断水状態となった。図1に被災地全域の断水戸数の推移と長岡市、小千谷市における断水率の推移を示す。11月30日現在で、山古志村の全650戸と、小千谷市、川口町や十日町市の一部山間部の1485戸を除いて断水が解消された。

地震発生の翌日10月24日から、被災事業体からの要請にもとづき、新潟県内はもとより、東北、関東、中部、関西地区の水道事業体の応援による懸命の応急給水と応急復旧がなされた。阪神・淡路大震災以降に水道事業体間で相互応援協定が結ばれており、迅速な緊急対応が可能となった。

応急給水は給水車によって避難所などへの拠点給水や断水地域への巡回給水がなされた。例えば、長岡市では12日間、延べ368台の給水車で2900トンの水が供給された。応急復旧においては漏水調査と修理が順次なされ、山間部で斜面崩壊に伴い道路崩壊が発生した個所などでは仮設配管による対応もなされた。

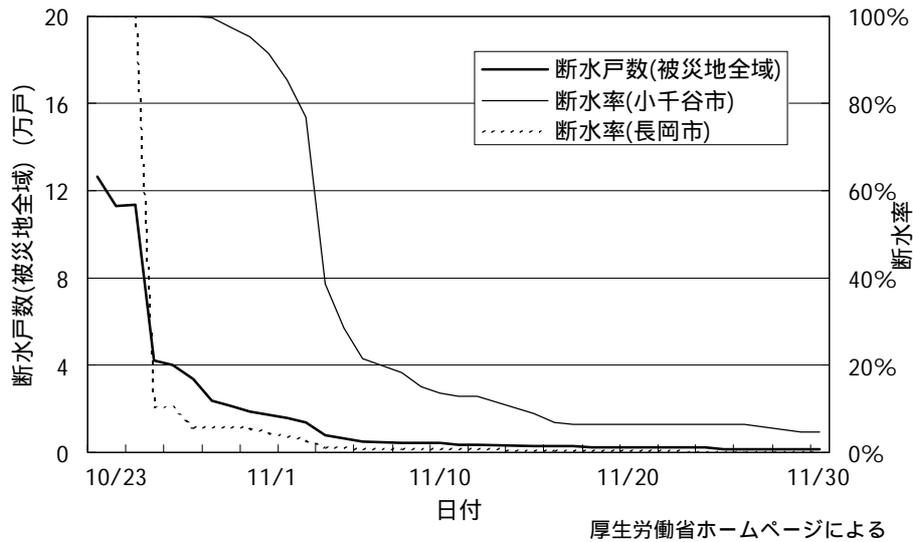


図1 断水戸数の推移

3. 浄水場、配水池など施設の被害

浄水場や配水池などの施設に被害は発生したものの、概ね致命的な損傷は少なく、多くの施設では復電後に浄水・配水の機能が回復した。

長岡市では浄水場に地盤沈下が発生したものの、浄水施設など主要設備・構造物に大きな損傷はなく、付帯設備、場内配管、電気計装設備などを応急復旧し、23日には運転を再開した。3個所の配水池には阪神・淡路大震災以降に緊急遮断弁が設置されており、有効に作動し配水池に水を確保できた。

小千谷市では、小千谷浄水場において地下水侵入により非常用発電装置および高圧受電盤が冠水し浄水不可能となったが、翌24日午後6時には復旧した。また、簡易水道の塩殿浄水場は、写真1に示すように地滑りにより流出した。



写真1 地滑りにより流出した塩殿浄水場(小千谷市)

4. 管路の被害

4.1 被害件数

表1に送・配水管路の被害件数を示す。被害率は長岡市で0.266件/km、小千谷市で0.311件/kmであった。阪神・淡路大震災での被害率は、芦屋市で1.61件/km、西宮市で0.72件/kmであり¹⁾、今回の管路被害は阪神・淡路大震災に比べて少なかったといえる。

表1 送・配水管路の被害件数

都市	送配水管 被害件数	延長距離 (km)	被害率 (件/km)
長岡	288	1,084	0.266
小千谷	102	329	0.311

長岡：平成16年11月30日現在
小千谷：平成16年11月15日現在

また、長岡市や小千谷市では山間地での斜面崩壊や大規模な道路崩壊に伴い管路が流出した個所もあった。

4.2 被害形態

ダクタイル鉄管の一般継手の被害は継手の抜け出しによるものであった。また、耐震性が考慮された継手は、長岡市、十日町市、柏崎市などに約20km布設されていたが被害はなかった。硬質塩化ビニル管の被害は継手の抜け出しや管体破損によるものであった。鋼管の被害はネジ継手の破損、フランジ部からの漏水などによるものであった。

4.3 長岡市における管路被害

図2に75以上の管路被害地点をプロットした地図を示す。上越新幹線の東側に位置する山すそ部

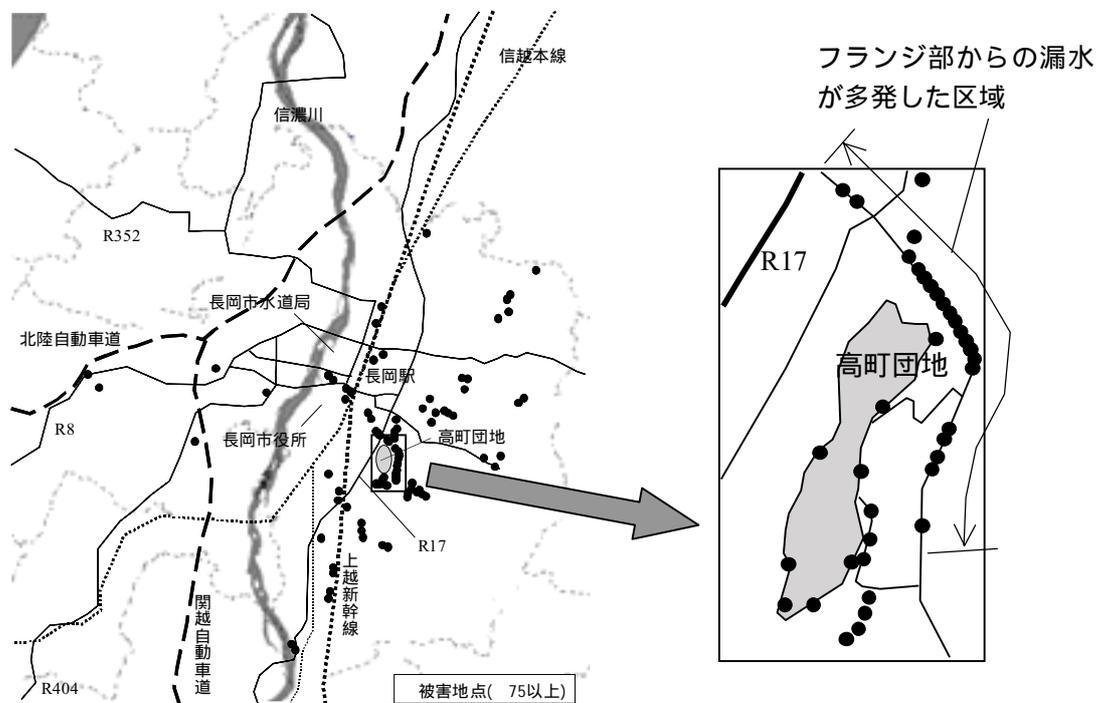


図2 長岡市の管路被害地点（75以上）

に被害が集中した。被害発生個所は主に造成地や液状化によりマンホールの浮上が見られた道路に沿って発生していた。被害の例を写真2に示す。

また、高町団地に沿った道路(図2および写真3参照)では 300 フランジ継手鋼管のフランジ部からの漏水による被害が21 個所で発生した。この道路では液状化によるマンホールの浮上や路肩の沈下などが発生していた。一方、同じ道路上にこの管路に平行して 300 の耐震性が考慮された継手を有するダクタイトル鉄管が布設されていたが被害はなかった。管路の耐震性を高める効果が顕著にみられた例と言える。



写真2 A形ダクタイトル鉄管の被害例
(100 および 75 継手部抜け)

写真3 フランジ部の被害が多発した
道路の状況

4.4 小千谷市における管路被害

市中心部では、主に液状化によるマンホールの浮上や陥没が見られた道路上に被害が発生した。また、南部地域では主に軟弱な旧水部や盛土部で被害が発生した。

山辺橋では、両端で道路に80~90cmの段差が生じ、150 管路が添架部との取り合い部で破損した。同じように橋の近くでの被害が3 個所(100, 150)発生しており、橋の添架部との取り合い部では、管路の可とう性を高める耐震設計が必要であると考えられる。

5.まとめ

今回の新潟県中越地震において、一部ではあるが、斜面崩壊など大規模な地盤崩壊に伴う送水ルートへの遮断なども発生したが、阪神・淡路大震災以降推進されてきた、水道事業体間の相互応援協定、緊急遮断弁の設置および管路の耐震化など諸対策の有効性を確認することができた。

謝辞

最後に、復旧対応にお忙しい中、親切にご教示をいただいた、新潟市水道局殿、長岡市水道局殿、小千谷市ガス水道局殿の皆様方に謝意を表します。

参考文献

1) (社)日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析、1996年5月。

下水道施設の被害

安田進¹⁾、規矩大義²⁾

1)正会員 東京電機大学理工学部、教授

2)正会員 関東学院大学工学部、助教授

1 はじめに

新潟県中越地震では長岡市や小千谷市など26の市町村の下水道施設が多大な被害を受けた。その中でも、マンホールの浮上り等の被害が1,400箇所以上で発生し、また管渠埋設部の地盤の陥没が多くので発生した。管渠の浮上りも発生しているようであるが、本復旧がまだ行われていない現時点では詳細は分かっていない。そこで、ここではマンホールの浮上りに関して、代表的な発生地区と被災状況を取り急ぎ報告する。

2 下水道施設の被災概況

国土交通省によると、今回の地震では26の市町村の公共下水道と流域下水道で被害を受けた。特にマンホールの浮上り等が1,400箇所以上発生するなど、管路施設が大きな被害を受けた¹⁾。また、魚野川流域下水道堀之内浄化センターでは下水処理場が被害を受けた。

11月17日現在における管路施設の被害の内訳と箇所数の合計を示すと表1となる。マンホールでは隆起・沈下を生じた箇所が1,453箇所に及び、管渠では管閉塞や本管破損などに加え路面異常が5,889箇所も発生している。マンホールの浮上りでは、後述するように、最大1.5m程度も浮き上がったものもあり、数十cm浮き上がったものは多数見られた。路面異常では管路上の地盤の陥没が各所で見られた。これが交通障害を引き起こしているものが多数見られた。管渠の被災状況に関しては、TVカメラによる調査などが行われており、また、本復旧時の掘削の際に詳細が明らかになると思われるが、1993年釧路沖地震後の掘削調査結果などをもとに考えると、マンホールだけでなく管渠もかなり浮き上がっているのではないかと想像される。

26市町村のうち、長岡市や小千谷市では特に多くの箇所でマンホールが浮き上がった。公共下水道におけるこれらの市でのマンホールの隆起・沈下個数は、長岡市で436個、小千谷市で400個となっている。

さて、筆者達は地震発生後4回ほど現地調査に出かけてきたが、すべての被災箇所を見ていないわけではない。筆者達が見て回ったのは図1に示すように長岡市、小千谷、川口町、堀之内町の一部である。また、上述したように、

表1 管路施設の被害の内訳¹⁾

種別	被害	箇所数
管渠	路面異常	5,889
	人孔湧水	3,148
	途中水没	400
	管閉塞	348
	本管破損	268
	本館侵入水	76
マンホール	鉄蓋	415
	躯体	604
	土砂汚水	174
	管接合部	136
	隆起沈下	1,453
	その他	691

11月17日現在

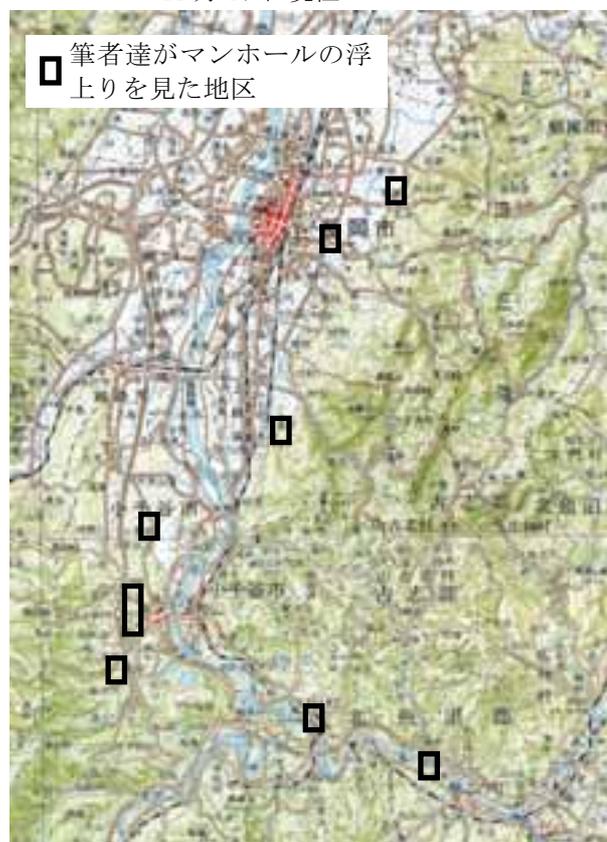


図1 筆者達がマンホールの浮上りを見て回った地区

管渠の被災状況は現時点では目で見えないので、マンホールの浮上りだけしか見ていない。さらに、マンホールの浮上り量も小千谷市の被害が大きかった1地区しか測定していない。地盤調査資料もこれから収集する段階である。このように、現時点では定量的な値はまだ明らかになっていない段階なので、下記には定性的な記述しかできていない事をお断りしたい。以下には小千谷市の被害を中心にし、長岡市、小千谷市の被害を少し付け加えて報告する。

3 マンホールが浮き上がった代表的な地区とその被災の特徴

3.1 小千谷市

小千谷市では関越自動車道に近い桜町で大きな被害を受けた。筆者達がマンホールの浮上りを見た地区を図2に示す。このうち、Aの地区とBの地区での写真を写真1、2に示す。写真1のマンホールは1mほど浮き上がり、写真2のものは1.5m程度浮き上がっている。

Aの地区では道路沿いに多くのマンホールが浮き上がっていたため、その浮上り量を大まかに測定してみた。その結果を図3に示す。凡例に示すように一般にマンホール自体の浮上りとともに、近傍の地盤の沈下(S)も生じるので、これらを考慮してマンホール自体の浮上り量の絶対値(H)を推定している。その結

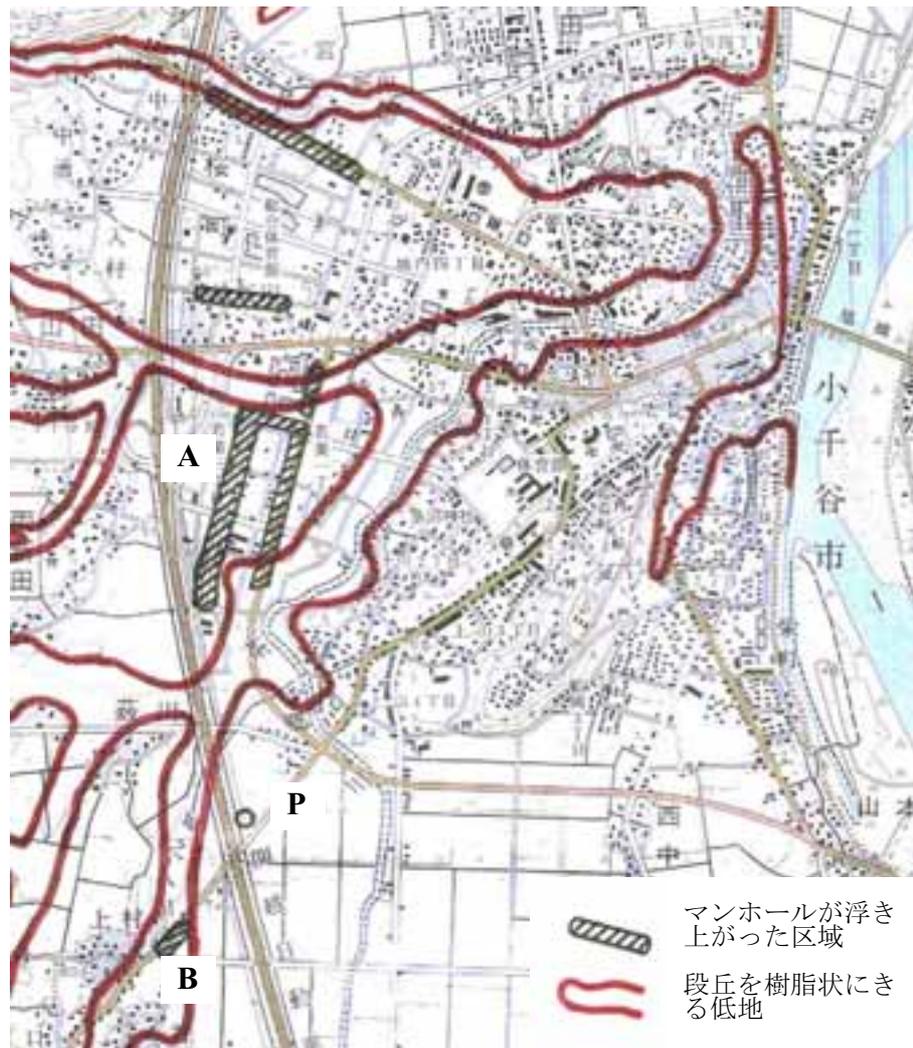


図2 小千谷市若葉付近でマンホールの浮上りが見られた区域と段丘に樹脂状にはいつている低地(文献2をもとに描いたもの)、およびボーリング位置(基図は国土地理院の1/25,000地形図による)



写真1 若葉地区(図2のA)で1mほど浮き上がったマンホール



写真2 打越地区(図2のB)で浮き上がったマンホール

果図に見られるように、この地区の浮上り量の絶対値の最大値は106cmであり、数十cm浮き上がったものが多く発生していた。マンホール近傍の地盤の沈下量は最大で40cmであり、20~30cm程度のものが多かった。なお、これを測定したのは地震発生8日後の10月31日である。今回の地震では、調査に行く度に管路上の地盤の沈下量が増えていく傾向が多くこの地区で見られた。従って、図3の値もその後増えている可能性もある。



図3 小千谷市若葉2丁目におけるマンホールの浮上り量および近傍地盤の沈下量の大きな測定結果

ところで、この地区は信濃川の左岸の河岸段丘に位置する。地質図²⁾を重ねてみると、関越自動車道の東側には完新世のT9段丘堆積物が、また、西側にはT8段丘堆積物が堆積している。両者とも未固結の礫・砂およびシルトからなる堆積物である。ただし、その段丘を切る低地も樹枝状に形成されそこに氾濫原堆積物が堆積している。そこで図2には、この樹枝状に分布する氾濫原堆積物の位置も重ねて示した。なお、この氾濫原堆積物も礫・砂およびシルトから構成されている。既往のボーリング資料を捜したところ、図2のP地点のボーリング資料があった³⁾のでこれを図4に示す。この地点では地表から粘土層、礫混じりシルト質粘土層がGL-3.7mまで続き、その下部は薄い細砂層を挟むシルト層が続いている。従って、下水管渠やマンホールが埋設してある深さには液状化し易い砂層はほとんどないと思われる。また、マンホールが浮き上がった地区で周囲の地盤には液状化したような噴砂跡は見あたらなかった。一方、管路上の地盤が陥没した箇所の一部では噴砂らしき砂も見受けられた。従って、この地区のマンホールの浮上りの主な原因は、1993年釧路沖地震⁴⁾や2003年十勝沖地震⁵⁾と同様に、埋戻し土の液状化にあるのではないかと考えられた。

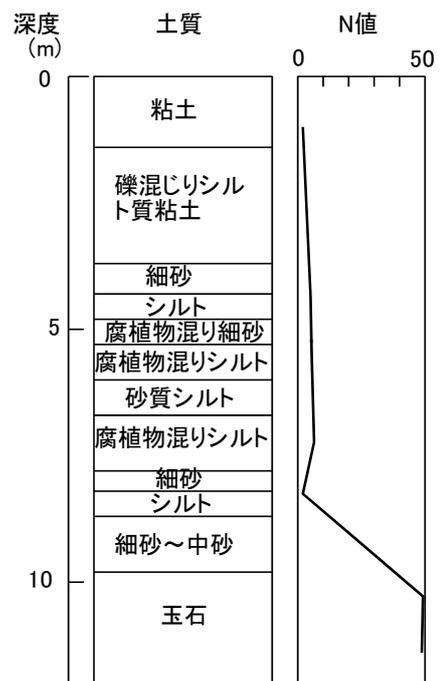


図4 図2のP地点の土質調査結果³⁾

3.2 長岡市および川口町

長岡市で筆者達がマンホールの浮上りを見たのは、図1に示すように、北から浦瀬町、悠久町、渡沢町である。渡沢地区で浮き上がった例を写真3に示す。これらの地区でも数十 cm 程度マンホールが浮き上り、また、管渠の上の地盤で陥没が発生していた。

川口町のうち図5に示した街の中心部では、図に示した旧17号線の道路で写真4に示すようにマンホールが浮き上がっていた。浮上り量は10~20cm程度と、上述した地区に比べて大きくはなかった。また、この道路より魚沼川寄りではマンホールの浮上り量は減少していた。なお、写真4にも見られるように、旧17号線でマンホールの浮上り激しかった区域では家屋の全壊も多く発生した。このように被害がこの区域で特に甚大であった原因に関しては今後調査する必要があるが、地元の人に聞いたところによると被害が甚大であった区域は表層に粘土が数 m 堆積していて、魚沼川に向かうと砂礫になるのではないかとの事であった。

4 本復旧にあたって出された技術的提言

今回の地震で被災した下水道施設について本復旧を行うための技術的緊急提言を行うとともに、現行の地震対策の内容について、被害の実態を踏まえ様々な角度から検証するために、国土交通省では「下水道地震対策技術検討委員会」が設置された。そして11月20日に開かれた第2回委員会において、「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」が行われた¹⁾。そこでは、管路被害の原因は管路敷設埋戻し部の液状化現象にあると考えられた。そして、被害の再発防止も考慮し、本復旧の埋戻しにあたっては、マンホール周辺を含め、地盤の特性、施工条件等現地特性、管材、工期等を勘案し、①埋戻し部の締固め、②砕石による埋戻し、③埋戻し部の固化、のいずれかの対策を行う事が望ましいとされた。

5 被災原因に関する考察

上記の委員会における検討結果にあるように、今回の地震で下水道のマンホールが多く浮き上がった主な原因は埋戻し部の液状化にあると考えられる。これは、浮上りの被害が発生した箇所周辺の原地盤で液状化した痕跡が見られない事からもうなずける。このような埋戻し土の液状化による下水道管の被害は、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震や、1994年北海道東方沖地震、2003年十勝沖地震の際にも発生してきた。これらの被害調査をもとに、埋戻し土の液状化のし易さや浮き上がり易さは、埋戻し土の密度や土質、埋設深度、地下水位以外にも、図6に示すように、周辺地盤の土の種類にも影響されることも分かってきている⁵⁾。今回被災した箇所や浮上り量とこれらの要因の関係に関しては、今後の研



写真3 長岡市渡沢町におけるマンホールの浮上りと埋戻し部の沈下



図5 川口町でマンホールの浮上りが顕著だった区域(基図は国土地理院の1/25,000地形図による)



写真4 川口町におけるマンホールの浮上りと家屋の被災状況

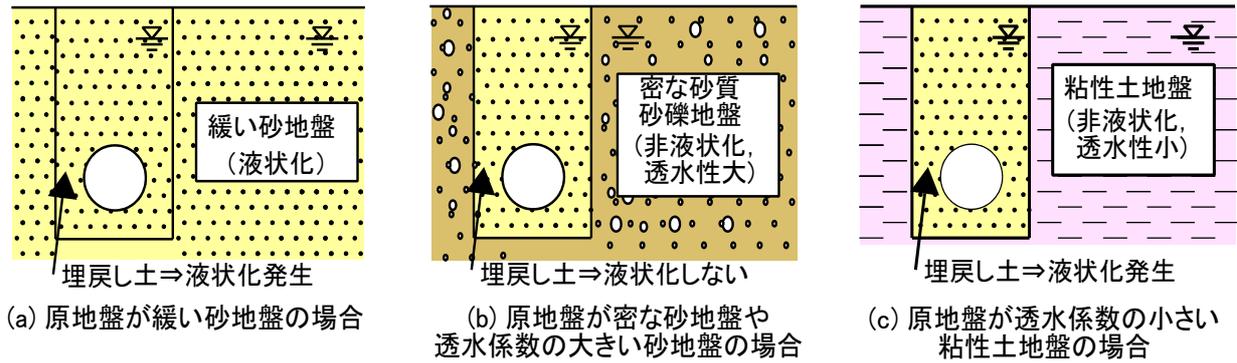


図6 原地盤の土質の違いによる埋戻し土の液状化のし易さの違いに関する一案

究に待たなければならないが、図4の土質柱状図に示すように、小千谷市の若葉地区付近の表層は粘性土だったのではないかと推定される。昨年の十勝沖地震の際にも、周囲が泥炭や粘土地盤における埋戻し土の液状化による下水道管や家屋の被害が目立った。このように、泥炭や粘性土での埋戻し土の液状化被害が目立つ理由としては、以下のようなものがあるのではないかと筆者達は考えている。

- (1) 泥炭や粘土地盤は不透水なので、埋戻し土は非排水条件に近くなり、液状化が発生し易いのみならず、液状化の継続時間も長くなる。従って、浮き上がる時間も長くなって浮上り量も大きくなる。
- (2) 泥炭や軟弱な粘土が堆積している地盤はもともと湿地であった所が多く、地下水位は浅い。また、このような地区は最近下水道や家屋が建設されたところが多く、埋戻し土も施工されてから時間がたっていない。従って、液状化強度に関するエイジング効果も発揮される時間が少ない。
- (3) 埋戻し土より周辺地盤の方が軟らかいため、土留め壁を抜くと埋戻し土が少し膨らみ、緩む。
- (4) 軟弱地盤なので地盤全体の応答が大きく、埋戻し土にも大きな繰返しせん断ひずみ加わる。

6 あとがきと謝辞

新潟県中越地震による下水道施設の被害に関して、現地で見えるマンホールの被害を主体として、被災状況の報告と被災原因の多少の考察を行った。今後、管渠の被害や地盤条件などをもとに被災原因や被災に影響を与えた要因などの研究が行われる事が望まれる。

なお、図3などの調査にあたっては東京電機大学および関東学院大学の学生諸君に協力してもらった。感謝する次第である。

参考文献

- 1) 国土交通省：管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言，国土交通省ホームページ，2004,11.
- 2) 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一：5万分の1地質図幅「小千谷」，地質調査所，1986.
- 3) 北陸建設弘済会：新潟県平野部の地盤図集，1981.
- 4) 安田進・坂本容・宮島昌克：ライフラインの被害，1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書，土質工学会1993年地震災害調査委員会，pp.277-314，1994.6.
- 5) 安田進・宮島昌克・規矩大義：上下水道の被害，2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書，地盤工学会2003年十勝沖地震地盤災害調査委員会，pp.111-120，2004.5.

新潟県中越地震における行政機関の初動対応

秦康範¹⁾

1)正会員 (財) 阪神・淡路大震災記念協会 人と防災未来センター、専任研究員

1 はじめに

2004年10月23日午後5時56分、新潟県中越地震が発生した。新潟県がとりまとめた被害状況¹⁾によると、12月8日9:00現在、住家被害は全壊2,728棟、大規模半壊701棟、大規模半壊701棟、半壊8,701棟、一部損壊81,999棟、非住家被害33,608棟に及び、避難者数は最大で103,178人、地震による直接被害は3兆円に達するなど、1995年兵庫県南部地震以降、最大の被害地震となった。

本稿では、阪神・淡路大震災以降の防災行政の進展を踏まえて、新潟県中越地震における行政機関の初動対応について報告する。

2 国の初動対応

政府の対応については、内閣府がとりまとめて随時報告²⁾している。従って、ここでは、阪神・淡路大震災以降に法改正や整備が進んだという観点から、「自衛隊」、「緊急消防援助隊」を取りあげる。また、国が積極的に被災自治体を支援したという観点から、「現地支援対策室」を取りあげる。

2.1 自衛隊³⁾

地震発生から36分後の18時32分、陸上自衛隊立川駐屯地から被害状況偵察のため映像伝送システムを搭載したヘリコプター1機(UH-1)が離陸した。以後、新潟県知事から災害派遣要請がなされる21時5分までに派遣された航空機は計16機に及んだ。また、新潟県庁を始めとする被災市町に連絡員が順次派遣されるとともに、長岡市及び十日町市に車両4両の偵察部隊等が派遣された(表1)。

阪神・淡路大震災の教訓から迅速な災害派遣を効果的に行うため、各自衛隊は初動に対処できる部隊を指定するとともに、気象庁から震度5弱以上の地震発生の情報を受けた時には、自主派遣として、速やかに航空機等を利用した現地情報収集を行うこととなっている⁴⁾。23日及び24日の派遣実績は、それぞれ人員約110名、2,000名、航空機計20機、約30機に上った。また24日には約830名が救出され、約10万食の食料が被災地に輸送され、84トンもの水が給水された。11月1日13:00現在、救出者数約1,770名に上る(表2)。

表1 自衛隊の対応(2004年10月23日)³⁾

18:32	陸自UH-1×1機(立川・ヘリ映像機)離陸(2116相馬原着陸)	20:02	陸自UH-1(立川)×1機離陸(2122着陸)
18:38	陸自UH-60×1機(宇都宮)離陸(2216離陸)	20:03	陸自CH-47(相馬原)×1機離陸(人員等を輸送、新発田2100着陸)
18:40	陸自OH-6×1機(神町)離陸(2044着陸)	20:08	陸自CH-47(相馬原)×1機離陸(人員等を輸送、高田2053着陸)
18:41	海自UH-60×1機(下総)離陸(2003着陸)、陸自UH-1(立川)離陸(1940着陸)	20:57	陸自OH-6(相馬原)×1機離陸(2140着陸)
18:45	海自新潟基地分遣隊より新潟県庁に連絡員を派遣		新潟県知事より第12旅団長(相馬原)に対し、情報収集に係る災害派遣要請。その後、陸自第2普通科連隊(高田)より、人員約70名が新潟県小千谷市に前進、情報収集活動を実施。
18:55	陸自OH-6(相馬原)×1機離陸(2017着陸)	21:05	
18:56	陸自UH-60×1機(相馬原)離陸(2213着陸)、空自MU-2(新潟)×1機離陸(2005着陸)	21:25	陸自UH-1(立川)×1機離陸(24日0123着陸)
18:57	海自P-3C×1機(厚木)離陸(2239新潟着陸)	22:12	陸自OH-6(立川)×1機離陸(2335着陸)
19:01	陸自OH-6(相馬原)×1機離陸(2023着陸)	22:19	陸自UH-1(相馬原)×1機離陸(新発田24日0119着陸)
19:15	空自U-125(百里)×1機離陸(2159着陸)	22:33	陸自UH-1(相馬原)×1機離陸(新発田24日0119着陸)
19:30	陸自第2普通科連隊(高田)より、人員約30名、車両4両の偵察部隊等を長岡市及び十日町市に派遣。	23:00	空自新潟救難隊(新潟)より、新潟県庁に連絡員を派遣
19:45	陸自第30普通科連隊(新発田)より、新潟県庁に連絡員を派遣。その後、陸自第2普通科連隊(高田)より、新潟県小千谷市役所、柏崎市役所、長岡市役所、十日町市役所に連絡員を派遣。陸自第5施設群(高田)より、上越市役所に連絡員を派遣。	23:07	陸自UH-60(宇都宮)×1機離陸(24日0212着陸)
		23:43	陸自OH-6(相馬原)×1機離陸(24日0202着陸)

(10月23日の派遣実績)人員約110名、航空機約20機

表2 自衛隊活動実績（2004年11月1日13:00現在）³⁾

派遣規模（延べ）人員約26,800名、車両約7,700両、航空機約460機
 輸送実績 食料：約79万食、毛布：約70,000枚
 救助実績 約1,770名
 給食実績 約23万食（31日までのもの）
 給水実績 約900t（31日までのもの）
 入浴支援実績 約23,100名（31日までのもの）
 天幕設営実績 約800張（31日までのもの）

2.2 緊急消防援助隊

(1)緊急消防援助隊

緊急消防援助隊は、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえて、国内で発生した地震等の大規模災害発生時における人命救助活動をより効果的かつ充実したものとするため、全国の消防機関相互による広域消防応援制度として、1995年6月に発足した⁵⁾。2000年12月緊急消防援助隊要綱が改正⁶⁾され、「航空部隊、水上部隊、特殊災害部隊」の新設、「出動準備の自動化」等が盛り込まれた。さらに、2003年6月消防組織法改正⁶⁾により、地震等の大規模災害で複数の都道府県が被災した場合や毒性物質の発散等による特殊災害が発生した場合には、「消防庁長官による出動の指示」が可能となった。これは、大規模・特殊災害時には全国的な観点から国が対応することの必要を認めたものであり、これにより被災地外からの消防力の投入責任を国が負うことが明記された。さらに、従来基本的には地方公共団体が負担していた費用についても、国の財政措置が規定された。

2004年4月現在、登録されている部隊数は2,821隊、約35,000人規模となっている⁶⁾。

(2)初動の動き⁷⁾（表3、表4）

地震発生から14分後の18時10分、仙台市及び埼玉県に対して緊急消防援助隊の出動準備依頼が、29分後の18時25分、派遣要請がなされた。消防組織法第24条の3第2項及び第4項により、消防庁長官は、当該災害の規模等に照らし緊急を要し、知事からの要請を待たないと認められるときは、当該災害発生市町村の属する都道府県以外の都道府県の知事、市町村の長に対して必要な措置をとることを求めることができる。19時20分には新潟県から緊急消防援助隊出動要請がなされた。

11月1日14時10分、新潟県から緊急消防援助隊出動要請の解除されるまでに、出動部隊数及び出動人数は、累計480隊、2,121人であった。関東地域を中心に部隊は派遣された（図1）。

今回の災害における緊急消防援助隊の主な活動は、航空部隊（2003年5月現在、57隊登録）による救急・救助活動、陸上部隊による救出、救急・救助活動であった。これは各地で土砂災害が発生し、山古志村を始めとして道路網の寸断による多数の孤立地域が発生したこと、発生した火災は9件⁸⁾であり、延焼が拡大せず、消火活動のニーズがなかったことが挙げられる。23日から25日にかけては航空隊を中心に救急・救助活動がなされ（表5）、257人が救急・救助されている。

表3 緊急消防援助隊の活動（2004年10月23日～24日）

23日	17:56	緊急消防援助隊の出動準備開始
	18:10	仙台市及び埼玉県に対し出動準備依頼
	18:25	仙台市及び埼玉県に対し出動要請
	19:20	新潟県から緊急消防援助隊出動要請
	19:30	山形県、富山県、福島県、東京都に対し緊急消防援助隊の出動要請
24日	21:00	神奈川県に対し出動要請
	2:10	千葉県に対し出動要請
	4:40	長野県、群馬県に対し出動要請
	4:45	富山県、福島県、山形県に対し出動（追加）要請
	6:30	石川県に対し出動要請
	6:45	埼玉県に対し出動（追加）要請
		群馬県に対し出動（追加）要請
	12:20	茨城県に対し出動要請
16:20	愛知県に対し出動要請	

表4 緊急消防援助隊の派遣部隊数及び隊員数

	10/23-24	10/25	10/26	10/27	10/28	10/29	10/30	10/31	11/1
部隊数	207	188	98	125	109	127	107	57	57
隊員数	880	820	445	494	443	476	385	196	194

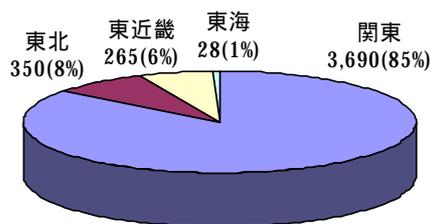


図1 派遣された緊急消防援助隊の隊員数（延べ人数）の地域構成

表5 緊急消防援助隊による救助・救出人員

	10/23-24	10/25	10/26	10/27	10/28	10/29	合計
航空部隊	67	190	2	13	10	0	282
陸上部隊	18*	105*	6	27	4	6	43

* 救出人員

2.3 現地連絡調整・支援と被災者支援プロジェクト（表6）^{2), 9)}

地震発生から4分後の18時00分、官邸対策室設置・緊急参集チームが招集され、政府として先遣隊を派遣することが決定された。それを受けて、現地合同情報先遣チーム10名（内閣府3、消防庁1、警察庁1、防衛庁2、海上保安庁1、国土交通省1、厚生労働省1、気象庁1）が新潟県に派遣され（21時15分頃、防衛庁市ヶ谷駐屯地出発）、新潟県庁内に現地連絡調整室を設置した。25日、「現地連絡調整室」を「現地支援対策室」へ格上げした。26日、新潟県知事の要請に応え、応急仮設住宅等の建設などハード面の対策、及び避難所の運営などソフト面の対策について、知事のアドバイザーとなる阪神・淡路大震災の対策を経験したスタッフ2名を派遣するとともに、現地支援対策室員を31名に増員した。30日、新潟県中越地震の応急・復旧対策のうち、関係省庁の連携の下に、重点的に実施すべき課題について、省庁横断的なプロジェクトチームとして「新潟県中越地震関連被災者支援プロジェクトチーム」（表7）が発足した。これにともなって、現地支援対策室は各プロジェクトの現地要員として機能することとなり、新潟県庁内のプロジェクトチームの立ち上げ、チームへの参加など様々な形で現地支援を行うこととなった。12月3日に閉鎖されるまで延べ1,421人・日、10月25日以降、平均35人/日が派遣された。

当初は先遣隊として現地に派遣されたが、現地対策室に格上げされた25日以降は、被災地の状況やニーズをできるだけ迅速に把握しリアルタイムに政府に連絡する、関係機関の調整の円滑化、応急・復旧課題への適切かつ迅速な対応、に貢献したと思われる。

近年発生した鳥取県西部地震、芸予地震、宮城県北部地震等においては、現地対策支援室は設置されていないことから、今後の大規模災害時における初動対応の1つのモデルケースとなるだろう。

表6 現地連絡調整・支援の動き

- 23日 内閣府政策統括官（防災担当）付企画官等からなる現地合同情報先遣チーム10名を新潟県へ派遣。21時15分頃、自衛隊機により出発（防衛庁市ヶ谷駐屯地）。
「平成16年（2004年）新潟県中越を震源とする地震に対する現地連絡調整室」を新潟県庁内に設置。
- 25日 「現地連絡調整室」を「現地支援対策室」に格上げし、人員を倍増。
「現地支援対策室」に新たに機動班を設置、新潟県と調整を行い対応の手薄な市町村（現場）に派遣することとした。
- 26日 新潟県知事の要請に応え、今後の応急、復旧・復興対策のハード・ソフト両面において、知事のアドバイザーとなる阪神淡路大震災の対策を経験したスタッフを派遣。（県の災害対策本部にもオブザーバーとして参加）
新潟県小出町居住の親子3人の救出に関し、新潟県知事からの依頼を受け、国土交通省、警察庁、防衛庁、消防庁から地すべり、砂防の専門家を派遣。
- 27日 林田内閣府副大臣を現地支援対策室に派遣。

表 7 新潟県中越地震関連被災者支援プロジェクト

1. 下水道・トイレ 下水道、農村集落排水、合併処理浄化槽の機能回復、仮設トイレの確保	7. 災害時要援護者 高齢者、障害者、外国人などの対策
2. 物流 援助物資等の住民への円滑な配布	8. 地場産業・中小企業・農林水産業 鯉、畜産、刊行、情報関連産業
3. 災害廃棄物 災害廃棄物の処理、財政負担	9. 積雪・寒冷対策 積雪期・寒冷期に向けた諸対策
4. 避難者・被災者の生活の質的向上 避難者・被災者の生活の支援・質的向上	10. ボランティア ボランティア活動の環境整備
5. 住宅 仮設住宅整備、公営住宅、民間住宅などの空家活用	11. 公共インフラ 道路、河川、学校、病院、社会福祉施設等の復旧・復興
6. 医療・健康管理 医療、心のケア	12. 山古志村 役場機能、通行不能箇所解消、砂防事業、産業振興、避難村民対策

3 新潟県と川口町の初動対応

3.1 新潟県（表 8）

17時56分、県内に震度 6 強の地震を観測したことから、新潟県地震災害対策本部が設置された。19時20分、緊急消防援助隊の派遣要請、21時5分、自衛隊の災害派遣要請が行われた。地震発生が土曜日だったこと、24時間宿直体制ではないことなどから、地震発生時には県庁舎はほとんど職員がいない状況であったが、新潟市内は地震による被害はほとんどなかったことから、参集は比較的スムーズに行われた。

一方、被災自治体との情報連絡手段として想定していた衛星通信を利用した防災行政無線が停電のため、19市町村で使用できなかった。同じく停電のため、11の市町村の震度情報が収集されなかった。初動期に、情報が上がってこない市町村の被害情報を、積極的に取りに行く姿勢に欠けていた点は否めない。

表 8 新潟県の初動対応

10月23日17:56	新潟県災害対策本部を設置
10月23日18:57	小千谷地域消防本部から「新潟県広域消防相互応援協定」に基づく応援要請
10月23日19:20	新潟県から総務省消防庁へ、緊急消防援助隊の派遣要請。
10月23日21:05	新潟県から長岡市及び山古志村に対し自衛隊の災害派遣要請
10月24日02:15	新潟県から、第九管区海上保安本部に対し、災害救助活動の派遣を要請
10月23日、	以下の市町村に対し、災害救助法の適用を決定。 小千谷市・長岡市・十日町市・栃尾市・六日町・安塚町・中里村
10月24日、	以下の市町村に対し、追加適用を決定。 柏崎市・見附市・中之島町・越路町・三島町・与板町・和島村・出雲崎町・山古志村・川口町・堀之内町・小出町・湯之谷村・広神村・塩沢町・大和町・川西町・小国町・西山町・守門村・津南町・刈羽村
10月27日、	入広瀬村に対し、追加適用を決定。
11月9日、	以下の市町村に対し、追加適用を決定。 三条市・加茂市・燕市・上越市・弥彦村・分水町・吉田町・巻町・月潟村・中之口村・栄町・寺泊町・高柳町・浦川原村・松代町・松之山町・大島村・牧村・柿崎町・頸城村・吉川町・板倉町・清里村・三和村 (災害救助法適用市町村総数：10市27町17村(合併後48市町村))
10月26日、	県内全市町村に対し、被災者生活再建支援法の適用を決定。(適用日：10月23日)

3.2 川口町

川口町は人口約5,700人、世帯数約1,600であり、職員数は91名である(うち役場付け職員は約70名程度)。ライフラインは全部停止し、県とのホットラインである防災行政無線は停電のため使えなかった。

また、川口町には地震対応マニュアルがなく、庁舎は余震による倒壊のおそれから、町長の判断で庁舎内への立ち入りは直後から禁止され、庁舎外のテントに災害対策本部が設置された。表 9 は川口町から入手した川口町の初動対応の記録である。これによれば、25日まで外部からの支援はほとんど入っておらず、その後も 1 週間近くにわたって役場機能はほぼ失われていた。

結果的には応急危険度判定により建物の使用は問題ないことが判明(27日頃)し、庁舎内の片づけの実施と電気の復旧を受けて、窓口業務が再開されるのは、地震から 9 日目の11月1日である。

庁舎内に設置されている地震計が記録した震度 7 の情報が災害対応には生かされていれば、約 1 週間近くにわたって役場機能が停止するような事態は少なくとも避けられたと考えられる。

表9 川口町の初動対応

10月23日19:00	災害対策本部設置
10月23日19:30	全戸に避難勧告
10月25日	陸上自衛隊派遣される
10月25日	独立行政法人国立病院機構他災害支援医療チーム 診療開始
10月26日 8:55	川口1の一部に避難指示
10月26日12:50	小高、向山地区の一部が避難所移動
10月26日13:20	峠地区に避難指示(3世帯、16人)
10月27日	魚野川河川敷に臨時入浴施設設置(28日午前10時より開放)
10月27日	県議会現地視察
10月27日	緊急車などの災害対応車両、発電機の給油開始
10月27日	災害救助法適用の通知
10月27日20:06	国道17号線小千谷方面一般車両通行止め解除
10月27日	第1回本部会議(以後、毎日)
10月28日17:30	川口1の一部避難指示を解除し、避難勧告に変更
10月29日	陸上自衛隊宿営テント設置(町内7箇所、200張)
10月29日	麻生総務大臣、松本政務官現地視察(小千谷市視察)。町長出席(川口町の被災状況を説明)
10月30日	亀井静香元建設大臣現地視察
10月30日	蓮実国土交通副大臣現地視察
10月30日	川口町ボランティアセンター設置
10月30日	ごみ収集開始
10月30日	庁舎機能の回復
10月31日	泉田新潟県知事現地視察
10月31日	全町で電気が概ね復旧
11月 1日	窓口業務の再開



(1) 川口町役場前



(2) 役場前に設置された川口町災害対策本部



(3) 災害対策本部(テントの中)



(4) 散乱した庁舎内

写真1 川口町役場の状況(10月28日午後、筆者撮影)

4 避難者・避難所対応¹⁾

4.1 大量の避難者の発生

新潟県中越地震の行政対応上、大きな課題の1つは避難者及び避難所対策だった。当初の被害状況では住家の全壊（流出含む）と半壊を足しても1,000棟に満たなかった（新潟県災害対策本部：10月28日8:00現在、全壊293棟、半壊398棟）にもかかわらず、避難者は最大で10万3千人に及んだ。大量の避難者は、避難所の運営や物資の供給など様々な面で行政負担を増大させた。一方、中越地震による死者は40人であるが、その6割の24人が震災関連死であった。余震が多発する中での極度のストレスと疲労から、心筋梗塞や急性心不全、ショック死、さらに、車中泊者の肺塞栓症（いわゆる、エコノミークラス症候群）がつつぎと発生した。大量の避難者対策は、命に関わる重要課題であった。

表10 被害（人的・住家）と人口・世帯数

	人的被害*				住家被害*			人口**	世帯数**
	死者	行方不明	重傷	軽傷	全壊	半壊	一部損壊		
	人	人	人	人	棟数	棟数	棟数		
新潟県	40	0	2,989		2,710	9,184	79,888	2,458,455	816,997
長岡市	6	0	615		825	4,155	32,946	192,322	67,821
小千谷市	12	0	58	674	662	974	10,000	41,296	12,383
十日町市	6	0	2	502	81	591	11,000	42,773	13,355
川口町	4	0	4	48	570	431	359	5,697	1,596

* 2004年12月6日9:00現在（新潟県報道発表資料 第77報） ** 2004年10月末現在（住民基本台帳より抜粋）

4.2 避難者・避難所対策

新潟県は地震直後から公営・民間賃貸の借り上げ、温泉旅館の手配など、避難所以外のメニューを住民に提示した。関連死が問題となり始めてからは、車中泊を減らす対策として自衛隊に協力を要請し天幕設置（最大時約1,200張）を急ぎよ行うとともに、仮設トイレの増設など避難所環境の改善を進めた。

4.3 避難者数の推移

新潟県中越地震の特徴の1つは余震活動が極めて活発だったことである。地震発生当日だけで震度1以上を観測した地震の回数は160回を超え、10月23日～10月31日までに有感回数600回、最大震度5弱以上の余震を14回記録した。図2は新潟県中越地震における避難者数と有感地震累積回数の推移を示している。余震活動がある程度収束する地震から20日前後以降、避難者数も同様な傾向を示している。

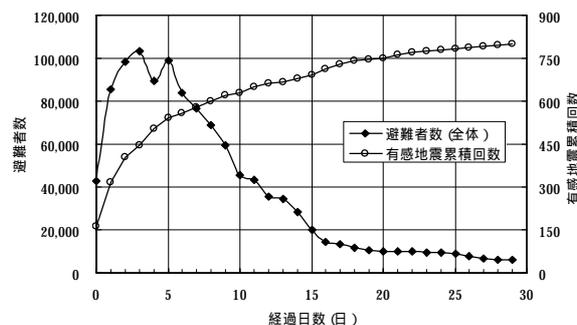


図2 新潟県中越地震における避難者数と有感地震累積回数の推移

図3は避難者が多かった長岡市、小千谷市、十日町市、川口町の避難者数、避難勧告者数と避難所数の推移を示したものである。以下にこれらの市町の避難者数の特徴について見てみる。

避難者の大部分が自主避難である長岡市や小千谷市では、学校再開、避難所の縮小や食糧配給停止といった事が、避難所から自宅に戻るきっかけとなった可能性がある。長岡市職員のヒアリングからも、そのことが裏付けられた。余震への注意が毎日のように行われたことから、自宅に戻るに帰れなかった、自宅に戻っても大きな余震がありまた避難所に戻ってきた、といった避難者像がうかがえた。一方、地震直後から全県帯に対して避難勧告が発令されていた十日町市や川口町では、学校再開と避難者数には関係は見られなかったが、避難勧告解除が避難者減少に大きく影響していると言える。なお、本稿では取りあげなかったが、ライフラインの復旧状況と避難者数の推移についても関係を見てみたが、学校再開や避難勧告解除ほどハッキリした関係は見られなかった。

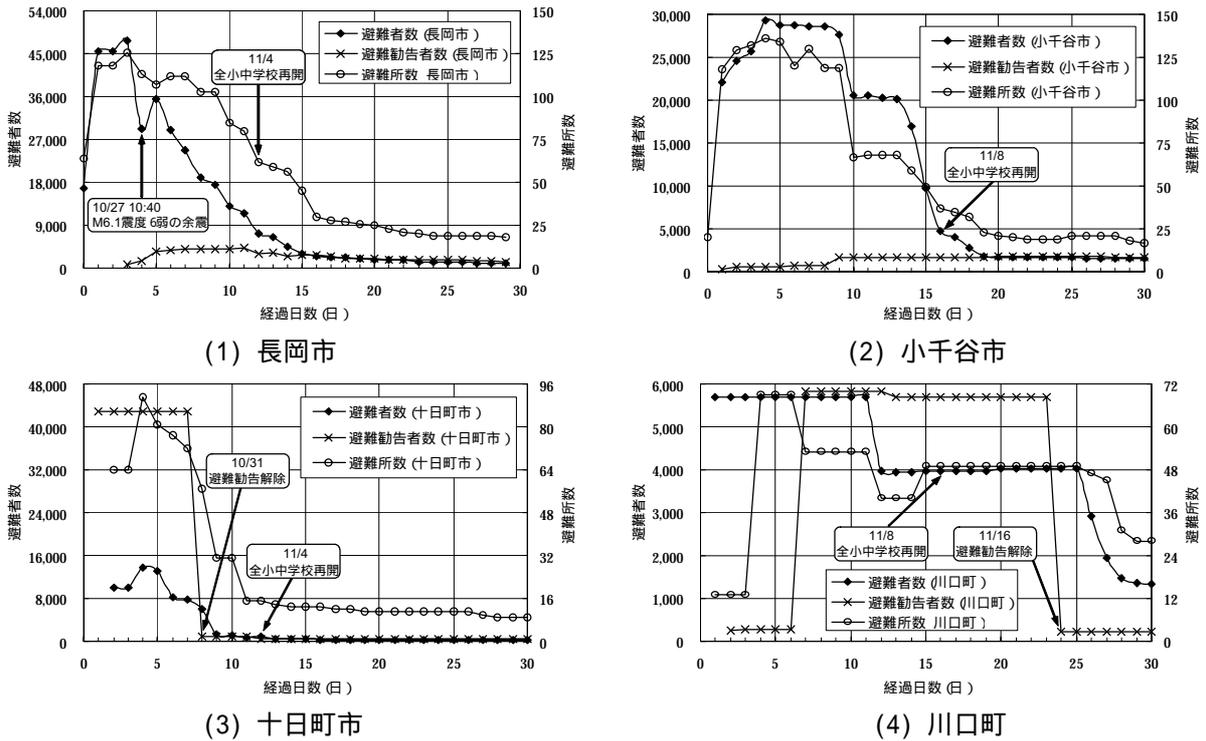


図3 新潟県中越地震における避難者数、避難勧告者数と避難所数の推移

5 兵庫県被災地支援チーム

兵庫県及び人と防災未来センターは、新潟県中越地震に対して地震翌日に先遣隊を派遣した。25日以降、新潟県中越地震被災地支援チームとして、新潟県庁及び被災市町村を支援するために、第1次支援チーム8人を派遣した。12月8日現在、新潟県に派遣された職員は延べ88人である。阪神・淡路大震災の経験と教訓を伝えるとともに、アドバイザーとして災害対策本部会議に参加するなど、様々な形で新潟県の災害対応業務を支援した。表11は、10月31日までに派遣された兵庫県被災地支援チームの活動状況を示している。

初動期に第1次支援チームが中心となって、新潟県に対して行ったアドバイス及び情報提供の主な内容は以下の3点である。

情報伝達・収集体制の強化：県災害対策本部と市町村の災害対策本部の情報伝達・収集体制を強化し、被災自治体からのニーズや問題が迅速に把握できる体制を構築する。

プロジェクトチームの設置：住宅再建・生活再建等の被災者支援を中心とした各種プロジェクトチームを設置し、庁内横断的な組織で課題に取り組む。

避難施設の多様化：民間賃貸の借り上げ、温泉旅館・ホテル等を手配し、地震に被災された高齢者等の弱者を中心に避難していただく。

表11 10月31日までに派遣された兵庫県被災地支援チームの活動状況¹¹⁾

支援チーム	
第1次(10/25～31)	8名：災害対策本部、住宅(仮設、危険度判定)、こころのケア・保険の支援
第2次(10/26～28)	3名：学校における避難所運営支援
第3次(10/26～11/1)	1名：避難所対策等の支援
第4次(10/27～11/2)	1名：災害対策本部の支援(人と防災未来センター職員追加)
第5次(10/28～11/2)	11名：新潟県と被災市町村との情報伝達の指導等(市職員8名別途派遣)
第6次(10/29～11/4)	5名：災害対策総括、生活復興、物資・産業・融資、学校再開等の支援
第7次(10/31～11/7)	8名：第1次派遣職員の交替

人と防災未来センター独自の被災地調査・支援

先遣隊(10/24)	2名：人と防災未来センター専任研究員による被害調査
第2次調査(10/27～28)	3名：人と防災未来センター長等による支援方策の調査等
第3次調査(10/29～30)	1名：人と防災未来センター専任研究員による調査・ボランティア団体との調整支援等

6 まとめ

本稿では、新潟県中越地震における行政対応の初動対応について報告した。阪神・淡路大震災以降、政府

機関の危機管理体制及び、自衛隊・消防、警察をはじめとする広域応援ネットワーク体制（本稿では取りあげなかった災害ボランティア組織等も含めて）は格段に整備されており、新潟県中越地震における初動対応は極めて迅速だったと言える。一方で、地方自治体の災害対応については多くの課題が挙げられる。規模の小さい自治体が大きな被害を受け、機能しなくなった際にどうするのか。その意味で、新潟県中越地震における国や兵庫県等の対応、すなわち被災直後に災害対応のノウハウを持った人材を現地に速やかに派遣し、アドバイザーとして被災自治体を支援したことは、1つのモデルケースとしてしっかり検証する必要がある。大規模災害時において下位機関が機能しなくなった際には、上位機関が積極的に業務を代行することを含めて、災害対策基本法の中に位置づけていくことも必要ではなかろうか。

また、復旧・復興フェーズではあるが新しい試みとして、「新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクト（代表：京都大学防災研究所教授 林春男）」により、GISを用いて一元的に関係機関の情報が集約され、広く一般向けに情報提供がなされている¹²⁾。今後こういった仕組みが発展、整備され、初動対応フェーズから活用されるようになれば、初動期の対応や関係機関の連携は一段と容易になるものと思われる。

謝辞

本稿を執筆するに際して、貴重なデータを提供頂くとともに有益なご示唆を頂いた、関係者各位に厚く感謝します。避難者・避難所に関するデータ収集、加工に際しては、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻修士課程2年生の山口紀行さんに負うところが大きい。感謝します。

参考文献

- 1) 新潟県 HP より
- 2) 内閣府 HP より
- 3) 防衛庁 HP より
- 4) 防衛庁：平成15年版 日本の防衛 防衛白書，2003.8.
- 5) 消防庁：平成7年版 消防白書，1995.12
- 6) 消防庁：緊急消防援助隊について(http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList5_5.html)
- 7) 消防庁 HP より
- 8) 独立行政法人消防研究所：平成16年（2004年）新潟県中越地震で発生した火災は9件，2004.11. (http://www.fri.go.jp/bosai/2004_niigata_chuetsu/no4/no4_kasai_chousai.pdf)
- 9) 内閣府非常災害対策本部記者発表資料より
- 10) 気象庁HPより
- 11) 兵庫県：新潟県中越地震被災地支援チームの派遣状況，2004年11月7日現在
- 12) 新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクト(<http://chuetsu-gis.nagaoka-id.ac.jp/>)