

2007年新潟県中越沖地震の被害とその特徴

小長井 一男¹・末富 岩雄²・澤田 純男³・尾上 篤生⁴・豊田 浩史⁵
 鋤田 泰子⁶・高田 至郎⁷・田村 敬一⁸・岩田 秀治⁹
 橋本 隆雄¹⁰・家村 浩和¹¹

¹正会員 東京大学教授 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)
E-mail: konagai@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 エイト日本技術開発 (〒164-8601 東京都中野区本町五丁目33番11号)
E-mail: suetomi-i@ej-hds.co.jp

³正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: sawada@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 長岡高等工業専門学校教授 環境都市工学科 (〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888番地)
E-mail: onoue@nagaoka-ct.ac.jp

⁵正会員 長岡技術科学大学准教授 環境建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail: toyota@vos.nagaokaut.ac.jp

⁶正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

⁷フェロー テヘラン大学アジャクト教授 工学カレッジ

⁸正会員 (独)土木研究所 耐震総括研究監 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail: ke-tamura@pwri.go.jp

⁹正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail: sy-iwata@jr-central.co.jp

¹⁰正会員 千代田コンサルタント 東日本支社 (〒114-0024 東京都北区西ヶ原3-57-5)
E-mail: t-hashii@chiyoda-ec.co.jp

¹¹フェロー 近畿職業能力開発大学校 校長 (〒596-0103 岸和田市稲葉町1778)
E-mail: h1.iemura@ehdo.go.jp

2007年7月16日10時13分頃、新潟県柏崎市沖合の海底(深さ17km)を震源とする $M_{JMA}=6.8$ の地震が発生した。新潟県長岡市、柏崎市と刈羽村、そして、震源域からやや離れた長野県飯綱町で震度6強、また上越市、小千谷市および出雲崎町では震度6弱の揺れが観測された。この地震では震源域に立地していた柏崎刈羽原子力発電所の2, 3, 4, 7号機が緊急停止しその後の7号機, 6号機の運転再開まで約2年半を要することになった。また2004年の中越地震から3年しかたっていない時期に、同じく北西-南東向きの圧縮場にある活褶曲帯でこの地震が発生したことから、両者の関連性が様々に議論され、また報道されることにもなった。本報告はこの地震がもたらした被害の概要とその特徴を紹介するものである。

Key Words : *Off-Chuetsu Earthquake, strong ground motions, geological and geotechnical aspects, lifelines, roads, railways, houses, nuclear-power plant*

1. はじめに

2007年7月16日の新潟県中越沖地震($M=6.8$)は、2004年の中越地震と同様、西北西-東南東方向の圧縮場にある中越地域の活褶曲地帯で発生したものである。中越地震から3年しかたっておらずかつ震央間の距離が30~40 km程度しかないことから、発生当初から中越地震との関連の可能性が議論され、また報じられていた。ともかくこの地震は様々な課題を浮き彫りにする一方で、地震災害対応という意味では中越地震を経験した関係者、関係機関が連携して迅速な対応をなした点で記憶にとどめられるべきものであろう。

この地震では柏崎市や刈羽原子力発電所が立地する砂丘とその東背後に広がる柏崎平野、そして米山北側の海岸段丘の発達する日本海沿岸に大きな被害が集中した。それらは地震動の特徴のみならず現地の地質・地盤条件にも密接に関連していることがこの報告の中で紹介されている。これらの被害の中で最も大きく報

道されたものの一つが柏崎・刈羽原子力発電所の被害である。原子力施設の安全は、その基本原則であるとされる（核反応を）止める、（炉心を）冷却する、（放射能を）漏らさない、を実現できた意味では守られた。ただ重要度で低ランクにある3号機建屋外施設からの発煙そして火災、緊急時対策室入口ドアの枠が歪んで室内に入れなかったことによる障害、対応の遅延などが、市民の不安につながり、低ランクにある諸施設も含めた全体が緊急時に機能するのかどうか、一般への情報開示をどのように進めていくべきかについても大きな教訓を残すものとなった。

地震直後、土木学会は緊急の調査団を編成したのみならず、その後、地盤工学委員会などの調査が入り、また地震工学関係の諸機関、専門家が精力的な調査を展開した。またアメリカ土木学会の調査団の調査にも土木学会が協力し多くの調査成果を上げることに繋がった。さらに柏崎刈羽原子力発電所については、土木学会、日本建築学会、地盤工学会、日本地震工学会、地震学会の5学会による共同調査が実現している。本報告はこれらの成果のうち以下の項目に絞って、その成果の概要を紹介するものである。

1. はじめに 小長井一男
2. 地震と地震動の特性 末富岩雄（エイト日本技術開発）、澤田純男（京都大学）
3. 地盤変形の背景、その特徴 小長井一男（東京大学）
4. 地盤の被害 尾上篤生（長岡工業高等専門学校）、豊田浩史（長岡技術科学大学）
5. 上下水道・ガスの被害 鋤田泰子（神戸大学）、高田至郎（テヘラン大学）
6. 道路施設被害の概要 田村敬一（(独)土木研究所）
7. 鉄道施設の被害 岩田秀治（東海旅客鉄道(株)）
8. 宅地被害 橋本隆雄（(株)千代田コンサルタント）
9. 5学会の柏崎刈羽原子力発電所の被害調査 家村浩和（当時京都大学教授(土木学会社会支援部門理事)）
10. まとめ

2. 地震と地震動の特性

(1) 地震の概要

2007年7月16日10時13分頃、新潟県柏崎市沖合の海底（深さ17km）を震源とする $M_{JMA}=6.8$ の地震が発生し、「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」と命名された¹⁾。

発震機構は典型的な逆断層型で、圧縮軸は北西-南東向きである。断層の傾く向きについて、余震分布で2つの面が見えることから、北西傾斜か南東傾斜かが議論されたが、南東側に沈む南東傾斜が主ということ で落ち着いた²⁾。

新潟県長岡市、柏崎市と刈羽村、そして、震源域からやや離れた長野県飯綱町で震度6強を観測し、新潟県上越市、小千谷市および出雲崎町では震度6弱を観測したほか、北陸地方を中心に東北地方から近畿・中国地方にかけて震度5強～1を観測した。気象庁による震度分布を図-1に示す。

(2) 震源過程

多くの研究者により、震源インバージョンが行われている³⁾。例として、青井ら⁴⁾の結果を図-2に示す。図でオレンジ色で示されるすべり量が大きい領域はアスペリティと呼ばれ、およそ3～4つに分けられる。他のモデル³⁾も深さ方向には違いはあるが、北東→南西へと伝播し順次アスペリティから大きな波が放出されている点は共通している。

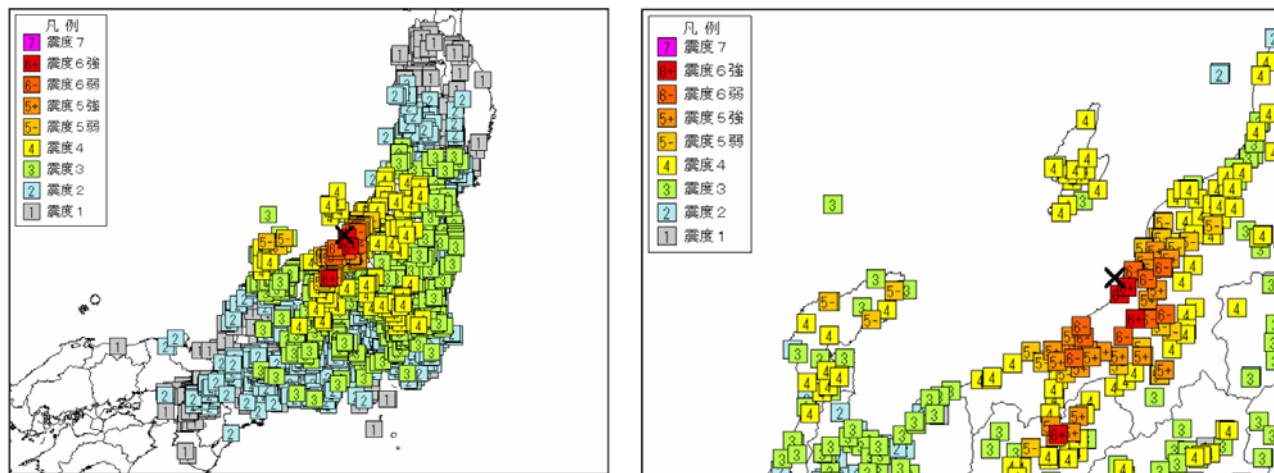


図-1 気象庁による震度分布¹⁾（右は震源周辺の拡大図）

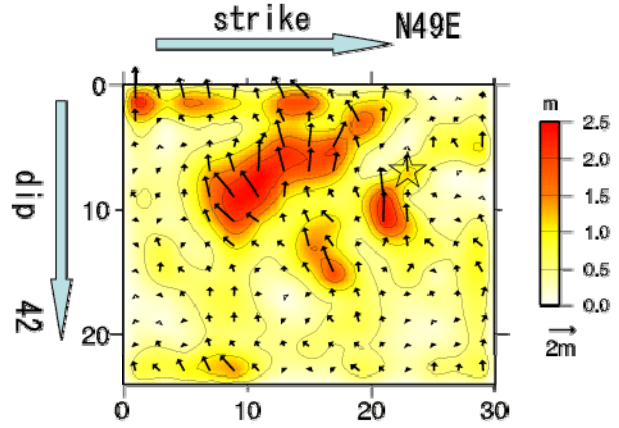
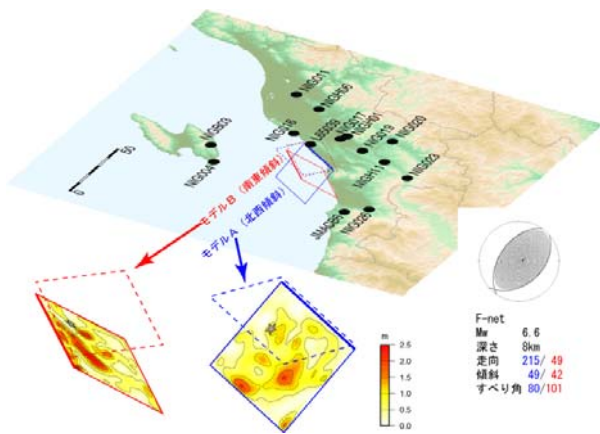


図-2 青井ら⁴⁾による断層面上のすべり分布 (南東傾斜断層モデル)

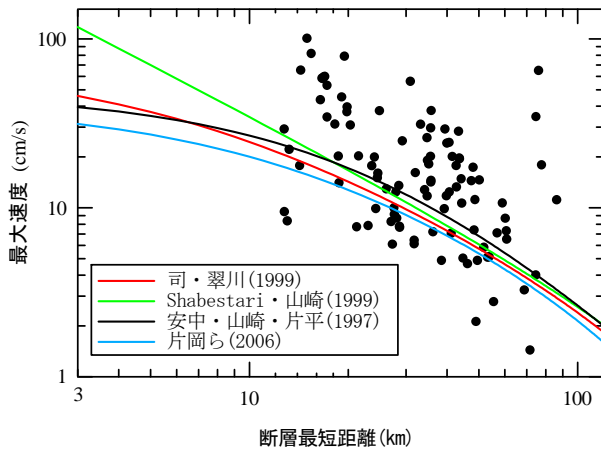


図-3 最大速度の距離減衰特性

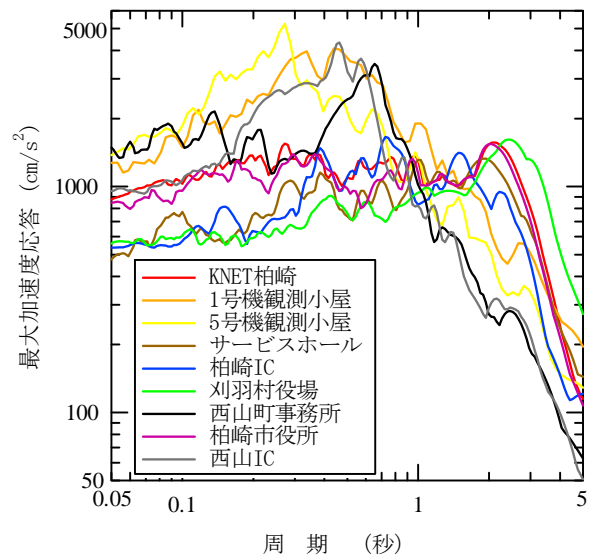


図-4 加速度応答スペクトル (減衰 5%) の比較

(3) 強震観測記録と地震動分布

2004年新潟県中越地震の際と同様に、本地震でも様々な機関により地震波形記録が得られ、公開されている^{5)~8)}。

(a) 距離減衰特性

最大速度の距離減衰特性を図-3に示す。観測値は、観測点周辺の地形分類や地盤情報に基づく AVS30 からの増幅度⁹⁾で、 $V_s=600\text{m/s}$ 相当の工学的基盤に引き戻している。数種の距離減衰式^{10)~13)}を示しているが、柏崎刈羽発電所など断層近くで式を大きく上回る地震動が観測されている。

(b) 周期特性

今回の地震で観測された主な観測記録の加速度応答スペクトルを図-4に示す。地点により周期特性が大きく異なっている。K-NET 柏崎 (柏崎市役所の震度計とは数十 m の距離) では周期約 2 秒、刈羽村役場では周期約 2.5 秒と比較的長い周期が卓越している箇所があり、また柏崎刈羽原子力発電所の 1 号機・5 号機では 3000cm/s^2 を越える大きな値を示している。

1995年兵庫県南部地震等の近年の大きな揺れを観測した記録との比較を図-5に示す。1995年兵庫県南部地震 (JR鷹取) や2004年新潟県中越地震 (川口町役場) では、周期1秒強で大きな値を示しているのに対し、今回のK-NET柏崎、刈羽村役場では周期2.0~2.5秒とそれより長く、柏崎刈羽発電所や西山町では短いという周期特性の差異が、1995年兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震に比べ住宅被害が少なかった要因の一つである可能性がある。

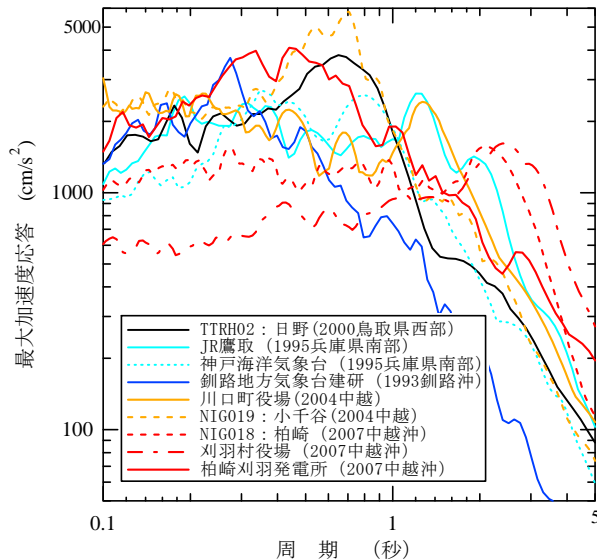


図-5 既往地震の加速度応答スペクトルとの比較

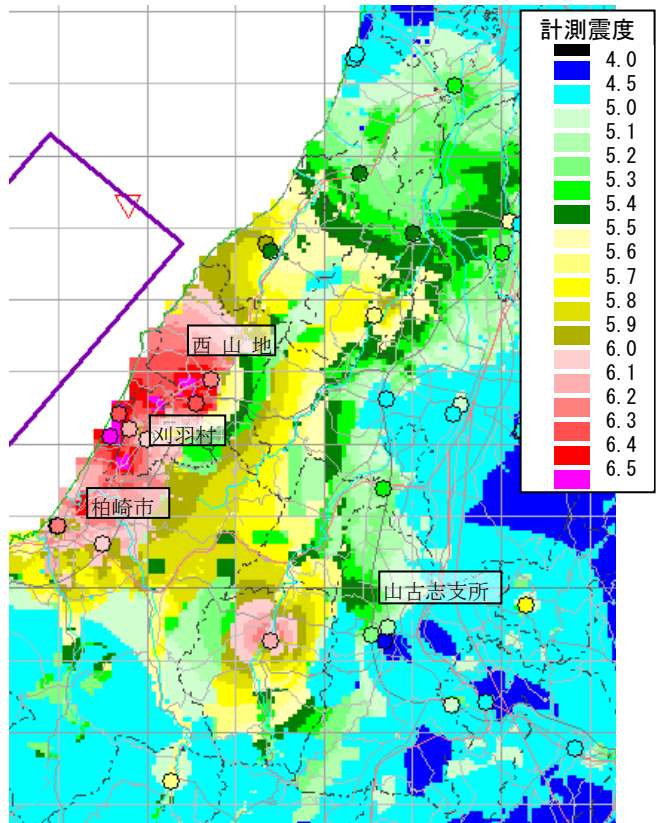


図-6 本震における推定計測震度分布

(c) 広域地震動分布 (250m 単位)

科学技術振興調整費「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」¹⁴⁾で中越地域の多くのボーリングデータの収集・デジタル化、及びそれを用いて若松ら¹⁵⁾による新潟県 250m メッシュ地形分類と組み合わせた AVS30 の評価が行われている¹⁶⁾。ただしこの評価には、柏崎平野内のボーリングデータが殆ど用いられていないことに注意が必要である。これを用いて、距離減衰式をトレンド成分(平均値)とした simple Kriging 法(観測値と距離減衰式の差分を補間)による 250m メッシュの計測震度分布を推定した結果を図-6 に示す。南東傾斜の断層として断層最短距離を算出し、司・翠川¹⁰⁾の最大速度の距離減衰式(地殻内地震)を距離減衰式として用い、相関距離を 5km としている。計測震度の表層地盤増幅度には、翠川ら⁹⁾の AVS30 と最大速度増幅度の関係と、童・山崎¹⁷⁾の式に基づく最大速度と計測震度の関係を組み合わせて用いている。得られた震度分布では、概ね断層域に面した平野部で震度 6 強となっている。

(d) 柏崎平野内地震動分布 (50m 単位)

末富ら¹⁸⁾は、自治体の協力を得て柏崎平野のボーリングデータを収集し、新潟県平野部の地盤図集¹⁹⁾や地震観測点などの公開データ等^{6~8)}を加え、デジタル化を行っている。そして、各ボーリング地点での AVS30 から距離の重みで空間補間を行って 50m メッシュデータを作成している。その際、標高 50m 以下の平野の地域のみを対象としている。得られた AVS30 の分布を図-7 に示す。ここでは地形分類を考慮していないが、海岸沿いの砂丘部分では、低地部に比べ AVS30 が 100m/s 程度大きいことがわかる。ただし、丘陵との境界付近はボーリングデータが乏しいこともあり明瞭ではない。

50m メッシュ AVS30 データを用いて、観測値の空間補間により得られた計測震度及び最大速度の分布を図-8 に示す。狭いエリアとなるので、図-6 と異なり、石田ら²⁰⁾と同様に距離の重みで評価している。ただし、計測震度の評価では地盤の非線形化の影響を考慮しておらず、今後、地形分類の細分化と地形に応じた地盤の非線形化の考慮等により、精度を高める必要がある。

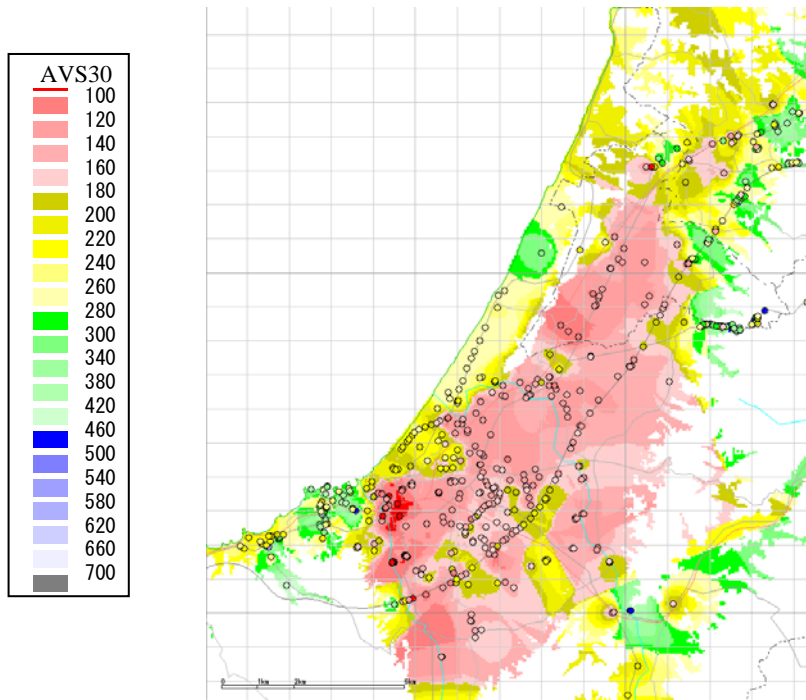


図-7 50mメッシュのAVS30分布（道路橋示方書式）
○はボーリング地点での値を示す

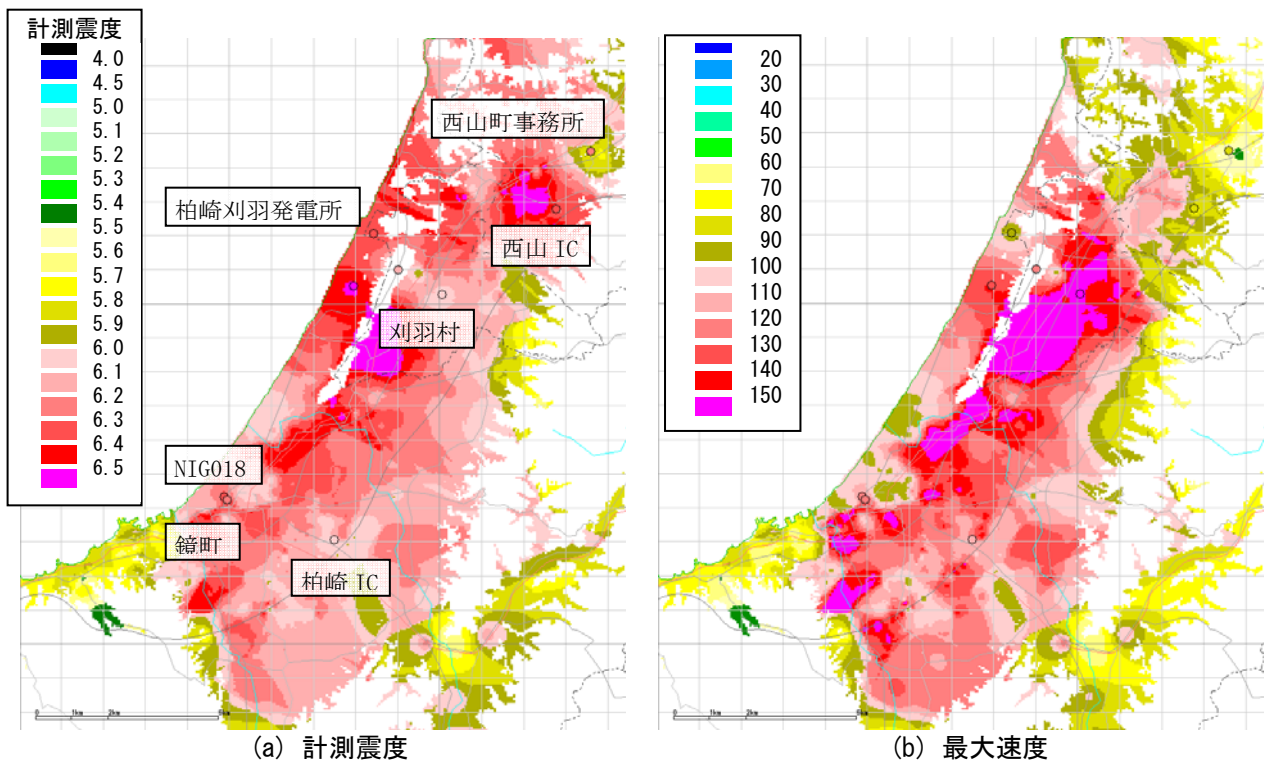


図-8 推定地震動分布（50mメッシュ）
○は観測値を示す



図-9 柏崎市中心部 (○：観測点)

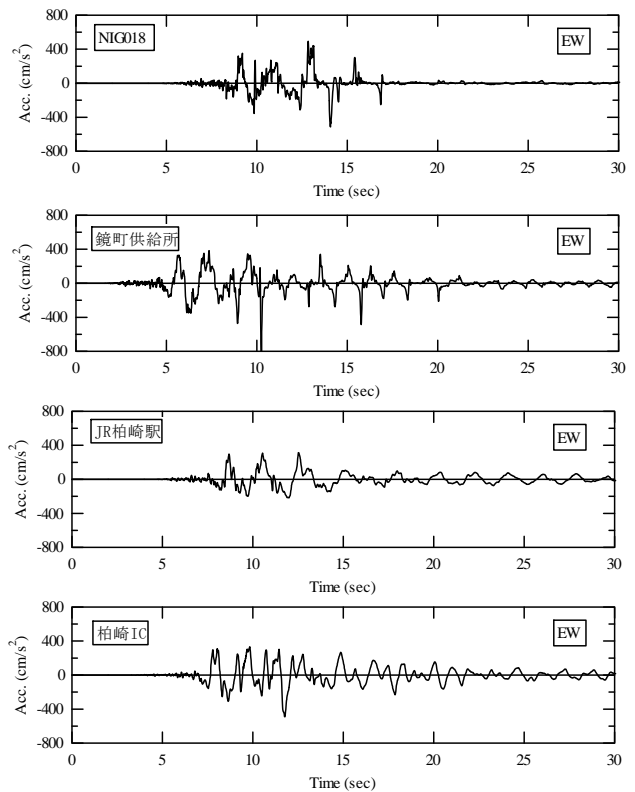


図-10 柏崎市で観測された加速度波形 (EW成分) →

(4) 地域別にみた地震動特性

a) 柏崎市中心部

柏崎市中心部での観測点を図-9に示す。海側から、K-NET柏崎(NIG018)、鏡町、JR柏崎駅、柏崎ICの4観測点における加速度波形を図-10に示す。K-NET柏崎と鏡町では、液状化を示唆するサイクリックモビリティと思われるパルス波が見られる。K-NET柏崎の深さ20mまでの地盤情報では、比較的締まった砂層の下に粘土層が続いている(周辺のボーリングデータや断面図¹⁹⁾から基盤深さは約60mと推察される)。両観測点とも地震計の回りでは噴砂等の地盤変状は見られなかった。鏡町では、敷地外の歩道で液状化に起因すると思われる変状が見られたので、液状化層の深さが地表での変状に関与していると思われる。今後、液状化層の深さや厚さと、地表での地盤変状との関係が解明されることが望まれる。K-NET柏崎が砂丘上に位置するのに対し、鏡町とJR柏崎は低地である。JR柏崎の記録は、地震計の特性によって短周期成分が含まれていないと考えられ³⁾、周辺では顕著な地盤変状は生じない程度の液状化は起きていた可能性がある。その点を考慮して比較すると、鏡町とJR柏崎の波形はよく対応している。柏崎ICは、他の3点とはやや離れ扇状地に位置する。比較的地盤条件がよいので、卓越周期は他より短く、地盤の非線形化の影響も特には見られない。

b) 刈羽村

海に面した柏崎刈羽原子力発電所と陸側に入った刈羽村役場で記録(図-11)が得られているが、観測記録の周期特性は図-4で示したように大きく異なっており、深層・浅層のサイト特性の差異が大きく影響しているものと考えられる。図-12は、新潟県平野部の地盤図集¹⁹⁾による刈羽村付近の東西断面である(図左下のA-A')。海岸付近は古い砂丘砂、内陸側は軟らかい粘性土層であり、砂丘端で急激に地下構造が変化していることがわかる。

平野部では建物被害は(1)の地域に比べ小さいものの、ガス導管の被害が刈羽村役場より1km程度被害のエリアで生じている。この被害形態は小口径管の長柱座屈であり、周期がやや長く震幅の大きな波が繰り返し作用した、導管周りの地盤が軟らかく導管がたわみやすい、等が主要因と考えられている²¹⁾。

刈羽村役場に設置された震度計で、計測震度6.0、最大加速度(合成)496.4cm/s²を観測している。地震計の周りでは盛土部の変状が見られた。近くのボーリングデータでは、深さ50m程度までの多くでN値が10以下となっている。

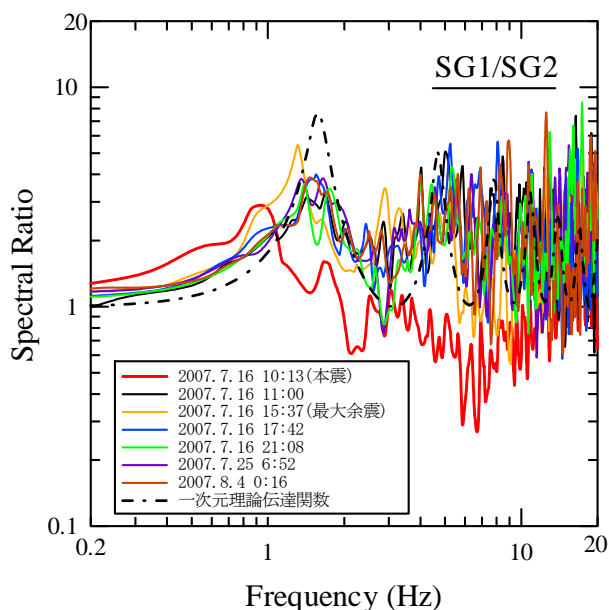


図-14 地表(GL-2.4m)と地中 (GL-50.8m)のフーリエスペクトル比

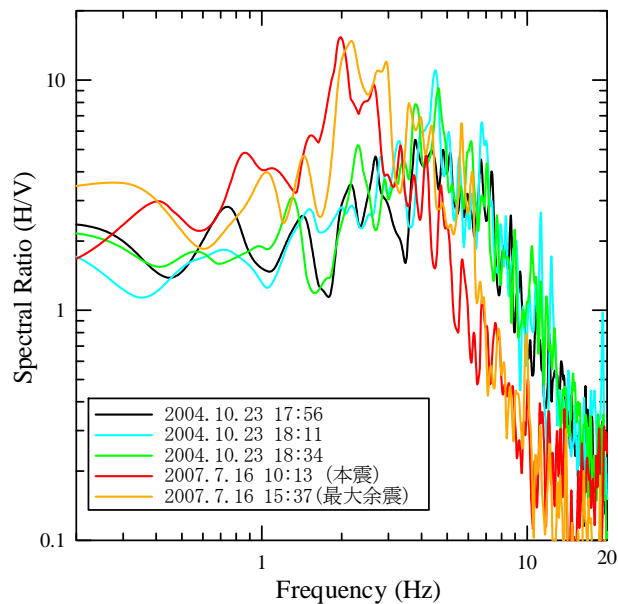


図-15 地震動の H/V スペクトル (西山 IC)

地震後、国および東京電力により精力的な分析が行われ、2008年5月に、東京電力株式会社から経済産業省原子力安全・保安院へ、地震動に関する報告書²²⁾が提出されている。この中で、極めて大きな地震動が観測された要因として、下記の3点を挙げている。また、解放基盤表面における距離減衰式による応答スペクトルに比べ、1号機で4倍程度大きく、要因別にその寄与も定量的に示している。2)3)はいずれも不整形地盤の影響であるが、2)は2kmより深いところでのもので敷地全体に影響が及ぶのに対し、3)は2kmより浅いところでのもので敷地内での地震動の差異をもたらしている。

1) 震源の影響

同規模の地震に比べ大きい (1.5倍程度)

2) 深部地盤における不整形性の影響 (深さ2km以深)

深部構造の不整形により地震波が屈折して集まり増幅する。これまでの観測記録からは2倍程度、3次元解析からは1.5倍程度に増幅されていると推測される。

3) 古い褶曲構造による増幅 (深さ数百~2km)

1~4号機側が5~7号機側に比べ、2倍程度大きい。このような現象は過去の観測記録を分析した結果、海域で起きた地震の場合に見られている。2次元の地震応答解析でも1号機側において、発電所敷地下の古い褶曲構造による不整形性の影響が現れている。

(独) 原子力安全基盤機構による分析結果²³⁾でも、概ね同様の結果が得られている。多数の地震観測記録が蓄積されていたことが、上述のような定量的評価につながったものであり、地震観測記録を残すことの重要性を示す事例でもある。

c) 柏崎市西山地区

西山町事務所に設置された震度計で、計測震度 6.2, 最大速度 82.7cm/s を観測している。また、西山 IC では、計測震度 6.3, 最大速度 86.8cm/s を観測している。図-4 に示した加速度応答スペクトルでは、いずれも周期 0.5~0.7 秒が卓越しており特性は似ている。西山町事務所の近くでは、宅地盛土の被害が生じている。

西山 IC では、新潟県中越沖地震の本震と最大余震に加え、2004 年新潟県中越地震の本震と 2 つの余震での観測記録が公開されている。これらの地震動の H/V スペクトルを図-15 に示す。卓越周波数が弱震では 5Hz (0.2 秒) 前後と高いのに対し、本震 (赤) 及び最大余震 (橙) では 2Hz 前後と明瞭に低くなっている。これは、地盤の非線形化により卓越周期が延びたことを示していると考えられる。

翠川ら²⁴⁾の墓石転倒調査では、西山町で転倒率が 80%を超える墓地があった。山田ら²⁵⁾でもこの地域の転倒率が高い。山田らは、墓石のサンプル計測から等価固有周期を 0.93 秒と評価し、地震動の卓越周期がこれより短い場合に最大速度と転倒率の相関が高いと述べている。

d) その他

柏崎平野より西側の上越市方面は山地となり、海岸線に沿って JR 信越本線及び国道 8 号が走っている。JR 青海川駅で背後の崖が崩れたり、北陸自動車道で柏崎 IC と柿崎 IC の間で橋梁被害等が見られた。この地

域の地震計では、SI値が国土交通省米山観測点で77カイン²⁶⁾、柿崎の震度計で82カイン、柿崎ICで70カインであり、震度では6弱の揺れが観測されている。

北東側の出雲崎方面は震央に近いが、目立った被害はなかったようである。出雲崎町米田のJMA観測点で、63カイン、震度6弱が観測されており、概ね上記の柿崎方面と同程度の揺れの大きさであったと考えられる。

翠川ら²⁴⁾の墓石転倒率の調査によると、観音崎より北東側では転倒率は20%以下で、そこから原子力発電所の北の大湊にかけては、転倒率が50%を超えることを示している。山田ら²⁵⁾でも同様である。この差は、翠川らが述べているように、地盤条件はいずれも硬い地域であるので、震源との位置関係(距離・方向)による基盤地震動の差異を反映したものと考えられる。

3. 被災地地形・地盤の特徴

(1) 砂丘と被害

新潟県中越沖地震は、その3年前に発生した2004年の中越地震と同様、中越地域の活褶曲地帯で発生したものである。この地震では柏崎市や刈羽原子力発電所が立地する砂丘とその東背後に広がる柏崎平野、そして米山北側の海岸段丘の発達する日本海沿岸に大きな被害が集中した。それらは現地の地質・地盤条件に密接に関連しているように思われる。

図-16は現在の柏崎とその周辺の衛星写真(Google earthより)を1912年(明治45年)当時の地形図と比較したものである。1912年の地形図には日本海側に連続する砂丘が、鯖石川、鵜川の河口を南西に向かって曲げるように北東から南西に向かって発達する様子が示されている。柏崎市は標高10m程度の砂丘群の上に広がっていて、砂丘群の間にはS字形の丘間凹地も見られる。鵜川はかつて砂丘南背面(柏崎駅西側)で大きく蛇行し、これが日本海に注ぐ河口あたりに潟を形成していたが、現在の衛星写真はこれらが陸地として改変を受けている様子を示している。

図-17は柏崎市街地の舗装道路に現れた亀裂分布を示したものである(小長井 他²⁷⁾、²⁸⁾)。破線枠(図-16を参照)が調査を行った区域である。赤が引っ張りによる開口亀裂、青が圧縮を受けた舗装の圧壊で開口部では代表的な開口幅を、また圧縮部では舗装の重なりをmm単位で計測した。一般に亀裂の密度は道路幅や舗装厚さの影響を受け必ずしも下位の地盤の変形を直接現すものではないが亀裂の大きさや密度が大きい部分で地盤変形が顕著であることが推測できる。代表的な開口亀裂(図-18)は、図-17にあるように旧市街地を東西に走る中心街沿いに集中し、これらは南側に向かって比較的大きな勾配で下る、馬の背状の砂丘斜面の肩に当たる。一方、砂丘の麓部分では図-19に示すような圧縮痕が随所に見られ、特にかつて潟であった鵜川河口近くでこれが顕著である。これらは砂丘斜面が低い部分に向かってわずかながら移動したことを示す痕跡と捉えられる。その他、柏崎市役所北の丘間凹地や北部の日本海側にも亀裂群の集中が認められる。



図-16 1912年頃の柏崎と2007年(現在)の柏崎(Google Earth)
破線域は舗装の亀裂調査範囲(図-17参照)

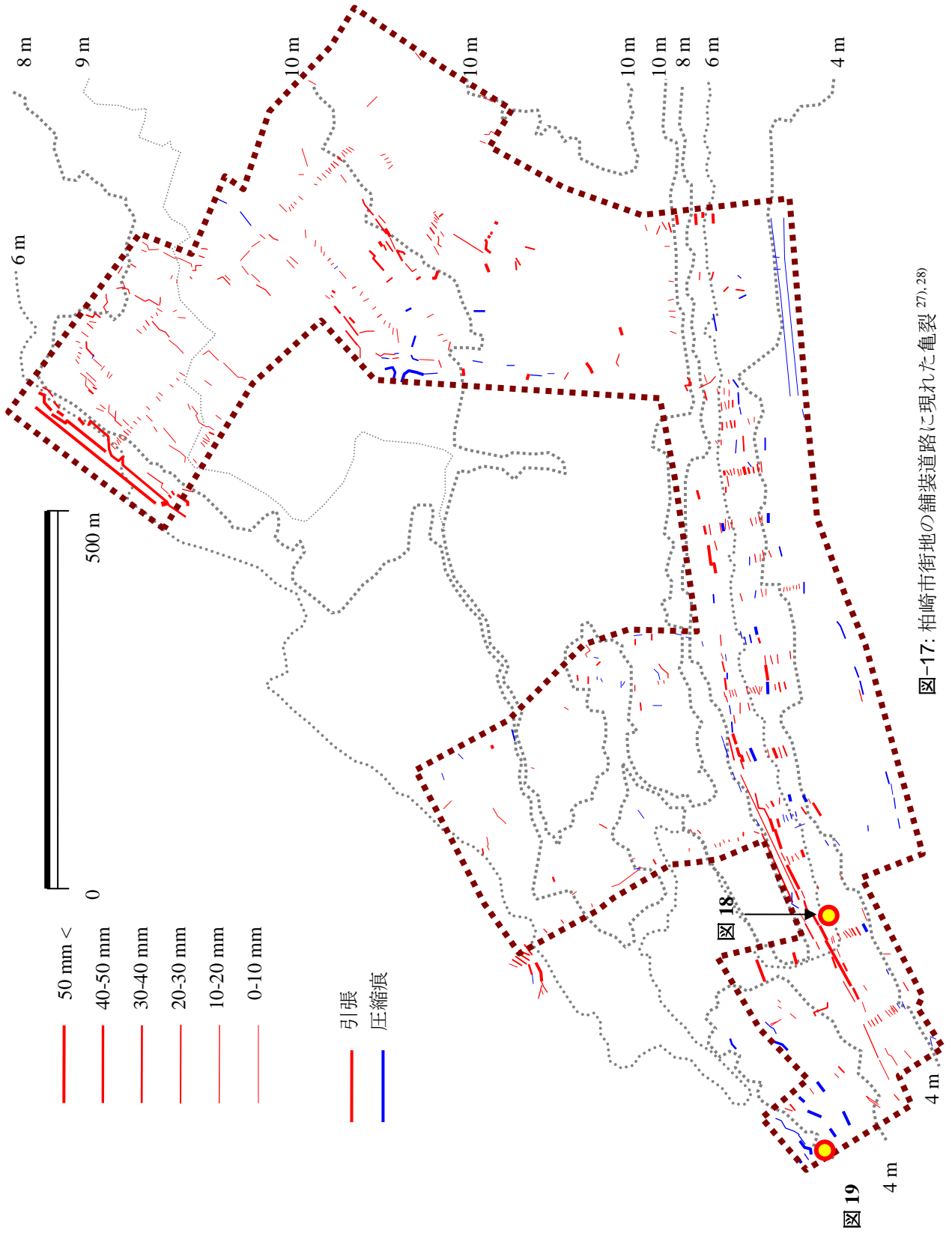


図-17: 柏崎市街地の舗装道路に現れた亀裂^{27), 28)}



図-18 馬の背状の砂丘肩部分に現れた亀裂開口
撮影場所：(37.367019,138.546063)

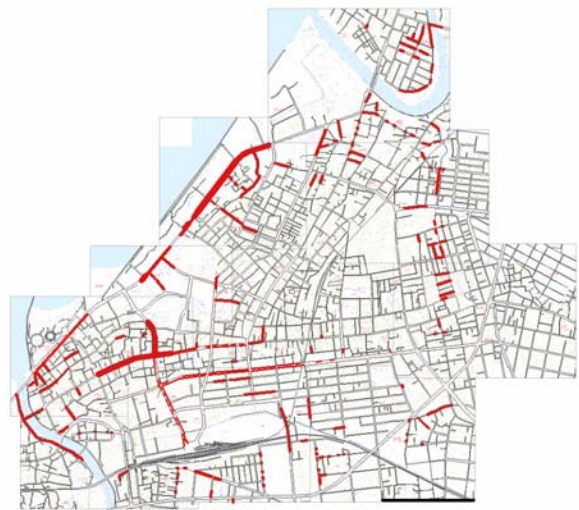


図-19 砂丘麓部分の圧縮痕
撮影場所：(37.367855,138.54487)

- 道路補修
- 舗装補修
- 側溝補修
- 中越地震災害復旧



2004-2006年



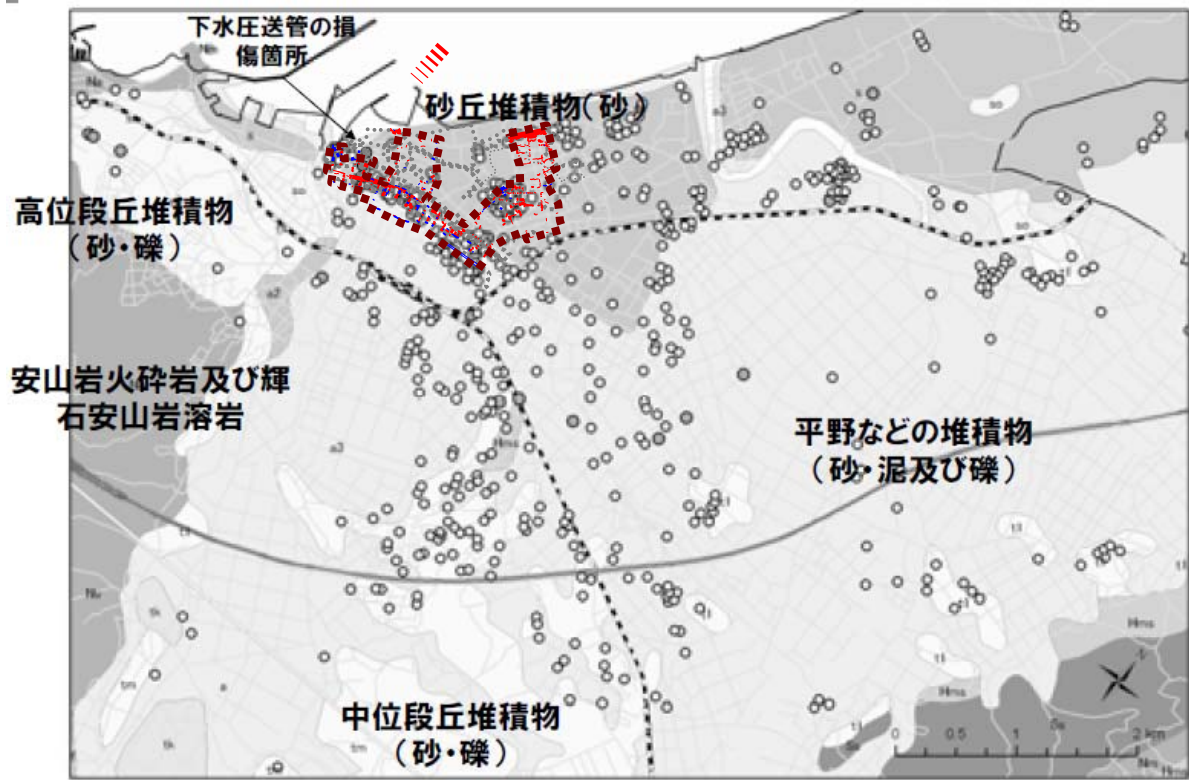
2007年地震後

図-20 柏崎市街地での道路補修（柏崎市提供）

図-20 は新潟県中越沖地震前後における道路工事記録を集約したものである。全体的に見ると地震後の補修箇所は図-17 で道路亀裂の確認された砂丘縁辺部に集中しているが、地震前（2004年中越地震以降2年間）の補修箇所もやはり砂丘斜面や、丘間低地の砂丘縁辺に集中し、常時から沈下や側方移動など地盤の緩慢な変形が進行しているところに被害が集中したことを示唆している。また詳細に見ると、打ち換え(道路補修)による補修箇所はオーバーレイ(舗装補修)による補修箇所より被害が軽微であり、適切な補修が被害を軽減させることを示している。

図-21は埋設管路被害箇所をやや広域で整理したものである（楢田²⁸⁾）。道路直下に埋設されることの多い管路も道路被害と同様、砂丘縁辺部や旧河道跡に集中し、柏崎周辺の地形の成因と深いかかわりがあることが示唆される。

図-22 は柏崎市のやや北東部の鯖石川下流部分の現状（Google Earth, 2007）と1912年頃の状況を比較したものである。かつての鯖石川は下流部に向かって次第にその周期を長くするような蛇行が発達していて、この旧河道に沿っての地盤変形と被害（例えば図-23）が目立つ。旧河道は標高70mにも達する北部の砂丘（図-25）麓を削っていてここで図-24に示すような道路の被害が見られる。背後に見えるのは柏崎クリーンセンター（塵焼却施設）である。煙突を覆っているRCの塔のコンクリートが中段ぐらいから崩落し、煙突頂部が突き出している。このクリーンセンターが被害を受けたことで、被災した柏崎市のゴミ処理が大きく停滞した。



(国土地理院数値地質図引用)

図-21 柏崎およびその周辺の埋設管路の被害箇所(鉦田 2007 に加筆) : 図中の破線で囲まれた市街地で舗装道路の亀裂調査結果(図-17)を重ねると亀裂の集中したところと埋設管の被害の集中したところが重なる様子がわかる。

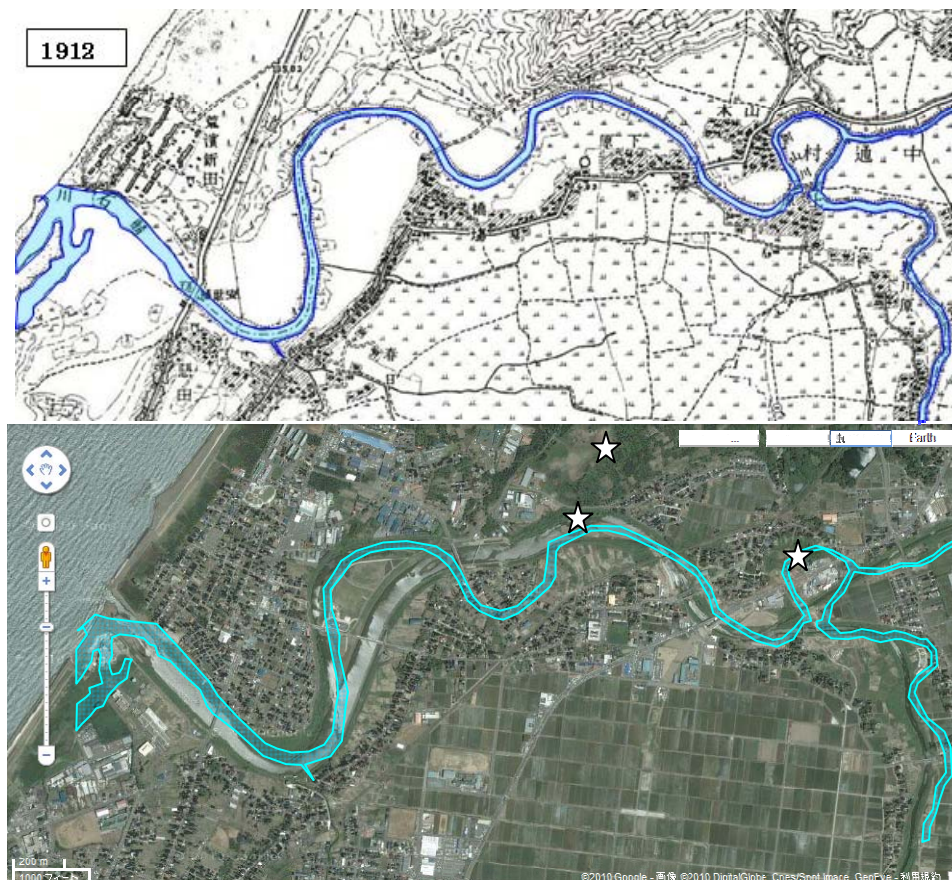


図-22 鯖石川下流部分の現状(Google Map, 2007年)と1912年の状況: ☆は次ページ図-23~25の被写体の位置を示す。図-23~25に併記する撮影箇所でないことに注意。



図-23 旧日月湖跡の道路
(37.392715,138.594911)



図-24 柏崎クリーンセンターと道路陥没
(37.39355,138.586307)



図-25 クリーンセンター北東の砂丘
(同左)

図-23～25で()内は撮影箇所の緯度，経度(単位：度)である。

柏崎・刈羽原子力発電所を迂回する国道 352 号線(図-26)には大きな被害は報告されていない。しかし舗装面やトンネル覆工の亀裂はこのあたりの砂丘の変形を示唆するものでありここに取りまとめて報告する。

図-26(下)には発電所南側の国道の歩道に現れた亀裂位置と開口を示している、およそ200mの長さの引っぱり亀裂、そのすぐ西隣の100m程の区間に圧縮痕が集中しており、砂丘の変形がこのあたりに集中していることを示している。このあたりは盛土区間でありわずかながら残る凹地を横切っている。発電所建設時に確認された堆積岩の深度図から確認される谷筋の名残かとも推察される。

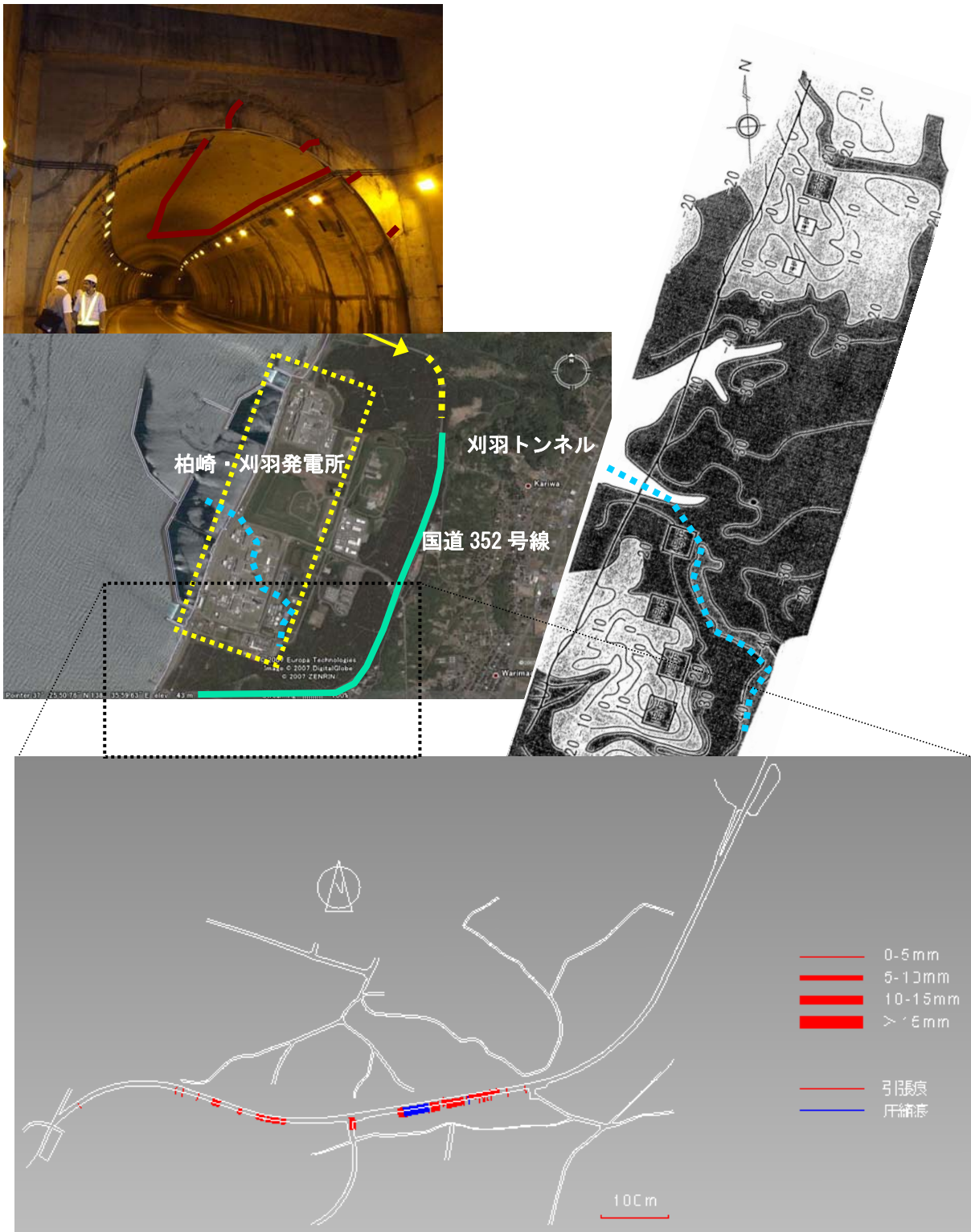


図-26: 刈羽トンネル（上）および発電所南側の国道歩道の舗装に発生した亀裂および圧縮痕（下）と堆積岩の深度図（衛星写真は Google earth, 堆積岩の深度図は東京電力提供, トンネル坑口写真撮影箇所：37.441848, 138.610983）

刈羽トンネルは発電所の東背面の砂丘の北端部を貫く 500mのトンネルである（図-26 上）。以下に現れる距離は南坑口から計測したものである。トンネルは南坑口から 300m程度はほぼ真北向かって進むが、北坑口付近は大きく西に向かってカーブしている。被害状況の確認のため一旦は車両通行止めの措置がなされたが軽微な被害であったため、通行止はほどなく解除された。被害は軽微ではあるが、覆工コンクリートの亀裂のパターン（図-27, 図-28）が砂丘の変形を推定する手がかりになる。図中上から、トンネル内側を表に向ける形の覆工の展開図、縦断勾配と土被の変化、路面継ぎ目に発生した開口亀裂である。全体的に北坑口近く 100m 程度の区間に亀裂の集中が著しく、また西側（北上車線側）の方が亀裂の開口が大きい。これは

北坑口が北東に向かって押されてわずかに曲げられていることを示すものと考えられ、砂丘の北東斜面が動いたことによるものと推定される。特に亀裂の集中が著しい付近の 450m 付近のカーボンファイバーシートの剥がれおよび亀裂の状況を図-28（上）に示す。同じく図-28（下）には 2001 年に修復が行われたときのトンネル内部の亀裂状況を示す。この区間での覆工の赤外線画像を見ると FRP で被覆された裏側にやや高温の筋が明瞭に確認でき、亀裂の存在が確認できる（図-29）。これら補修は地震以前に行われていたものであり、常時に動いた部分が地震によってさらに変形したことを示している。

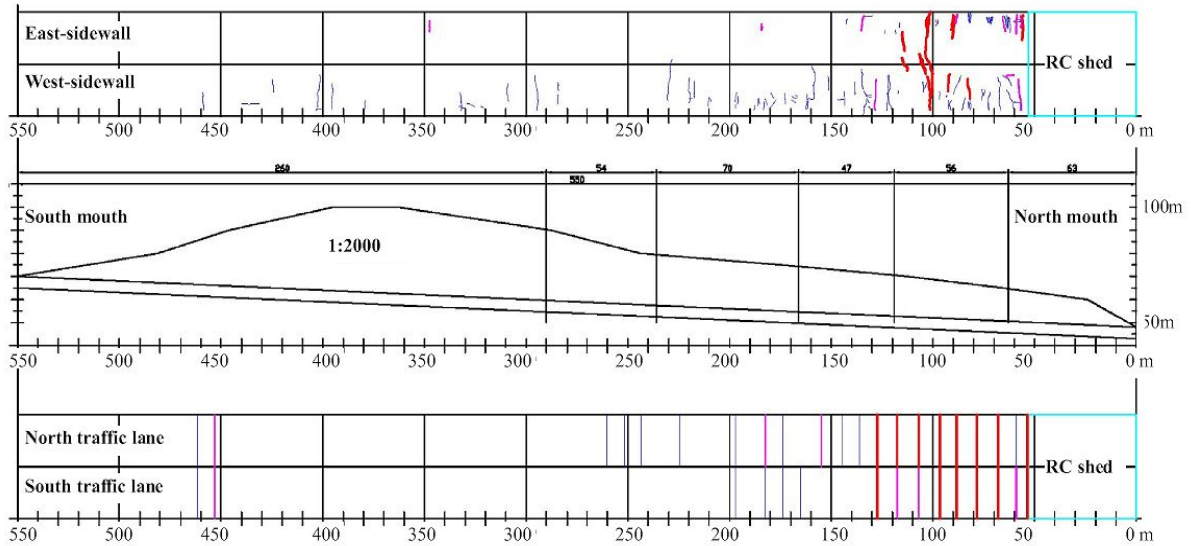


図-27 刈羽トンネル内部のクラックマップ（南坑口を起点に距離を示す）

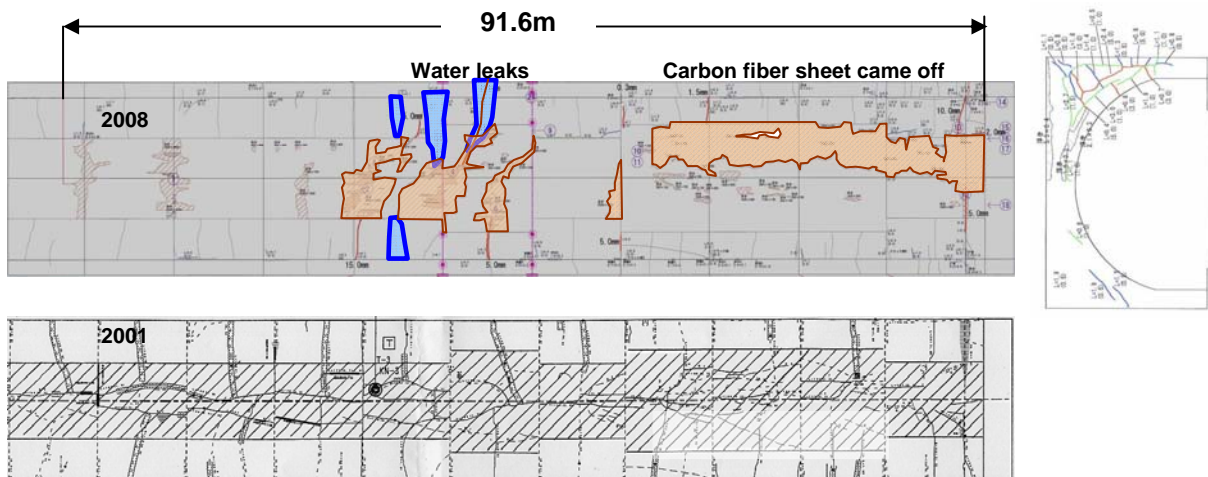


図-28 2001 年補修時に確認された亀裂（下）と地震後に確認されたカーボンファイバーシートの剥がれおよび亀裂（上）（データ：新潟県柏崎地域振興局提供）

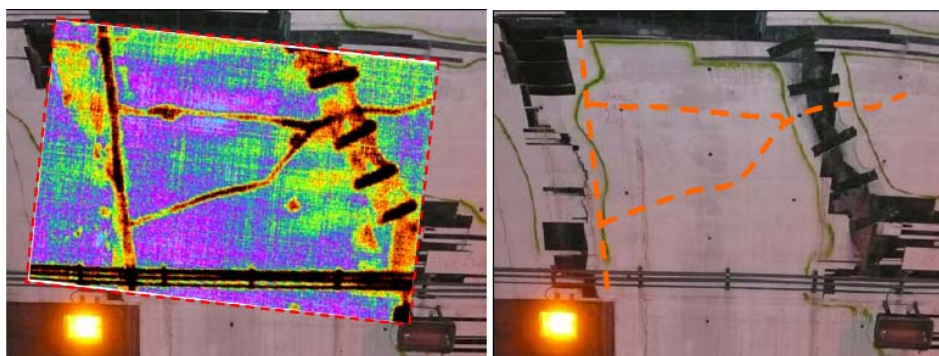


図-29 刈羽トンネル覆工修復時（2001 年）に取り付けられたカーボンファイバーシートとその裏側の亀裂の赤外線画像

(2) 丘陵部と被害

米山山地は、柏崎平野南西の標高993mの米山麓一帯で海岸沿いには細長く分布する緩慢な傾斜の段丘が広がっている。この段丘面は標高 50mほどで、安田層と呼ばれる中位段丘堆積物で構成されていて、最終間氷期（約 13万年前）に形成された段丘面とされる（小林²⁹、小荒井 他³⁰）。この北東海岸部（北陸線青海川駅付近）は成層した堆積構造が確認でき、この層境界面に沿っての水の存在が斜面崩壊の一因になった可能性を示唆する事例としてJR北陸線の青海川駅南斜面の崩壊に触れておく。

信越本線は、この段丘の海食崖の下の海に面した箇所を通過している。この海食崖の何箇所かで斜面崩壊が発生しており、土砂が海まで到達して海域を濁している。崩壊は海食崖の上部の段丘面の縁に近いところで発生しているものが多い。海食崖の地質は、新第三紀鮮新世の米山層で、下部が火山礫岩（主に円礫岩）、上部が泥岩とされる（小荒井他）。信越本線の青海川駅南斜面の崩壊土砂は信越本線を覆った（図-30）。斜面崩壊は、幅50m、高さ90m程度。写真右にロックシェッドがある。段丘中位には、崩壊位置からロックシェッドさらに左に向かって一直線に伸びる植生を水平に二分する成層地層境界が確認できる。ロックシェッドのさらに左にはこの境界面から湧出する水が滝になっていて、このあたりが常時から水の湧出と小規模の崩落があったことを示唆している。なお写真7の崩壊地の左脇にはこの境界面と同じレベルの小段がありその中ほどに亀裂（白矢印）が確認できる。滑り残しの土塊として後日安定化のための対応がなされている。

崩壊地の露頭（図-31）では、上位より①砂礫層、②火山礫岩・泥岩互層、③泥岩が確認される。赤外線カメラ(NEC SanEi TH702MV)で撮影した露頭の画像を図-32に示す。層境界面から緑や青色の筋が滑落面に沿って流れている様子が確認できる。地下水の滲出である。露頭の土（概ね26℃以上）に比べ20-25℃と低い温度である（この写真は復旧時の有効な排水処理に必要な情報として、関係機関で対策の参考に提供された）。

この青海川駅での崩壊の詳細は第4章および第7章に譲る。



図-30 青海川駅背面の斜面崩壊：海岸段丘の地層の境界（黄色矢印）。すべり残しの部分も（白矢印）。写真（上）提供：朝日航洋，写真（下）撮影箇所：37.345273, 138.484254

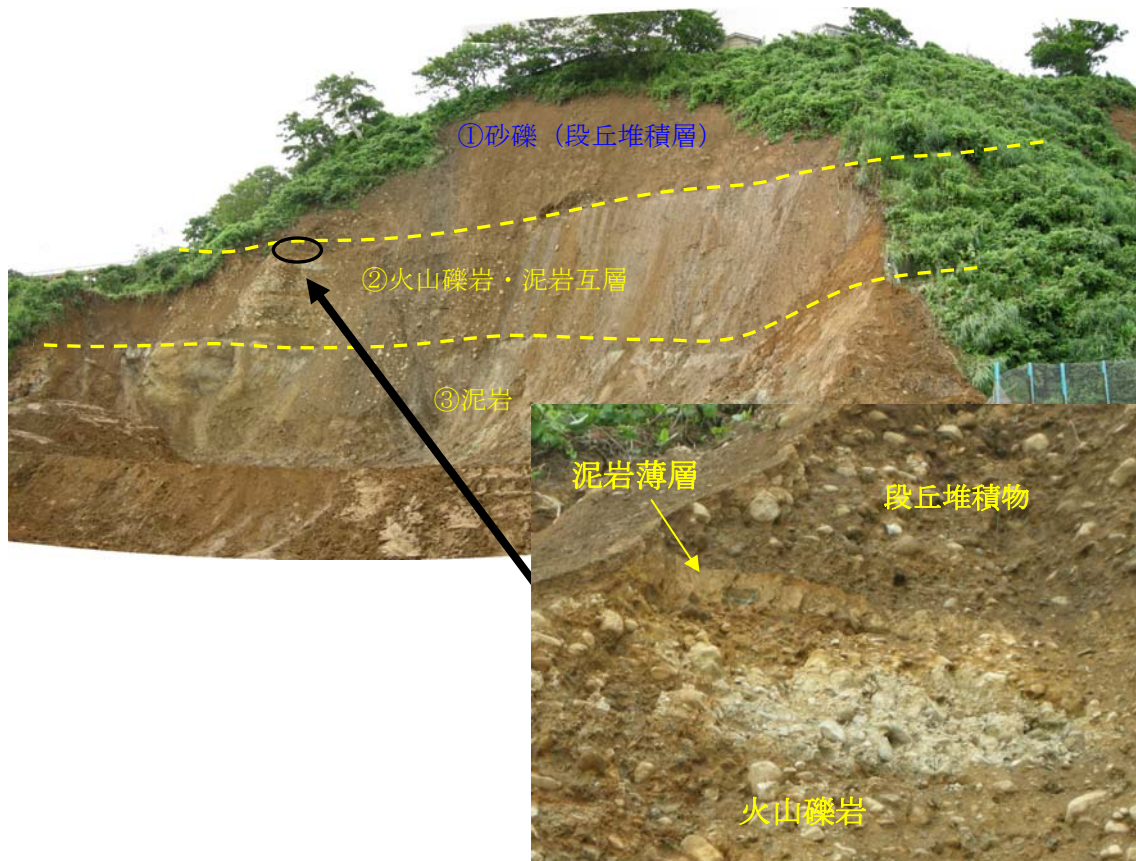


図-31 崩壊地露頭に現れた層構造 (撮影場所: 37.34523, 138.483428)

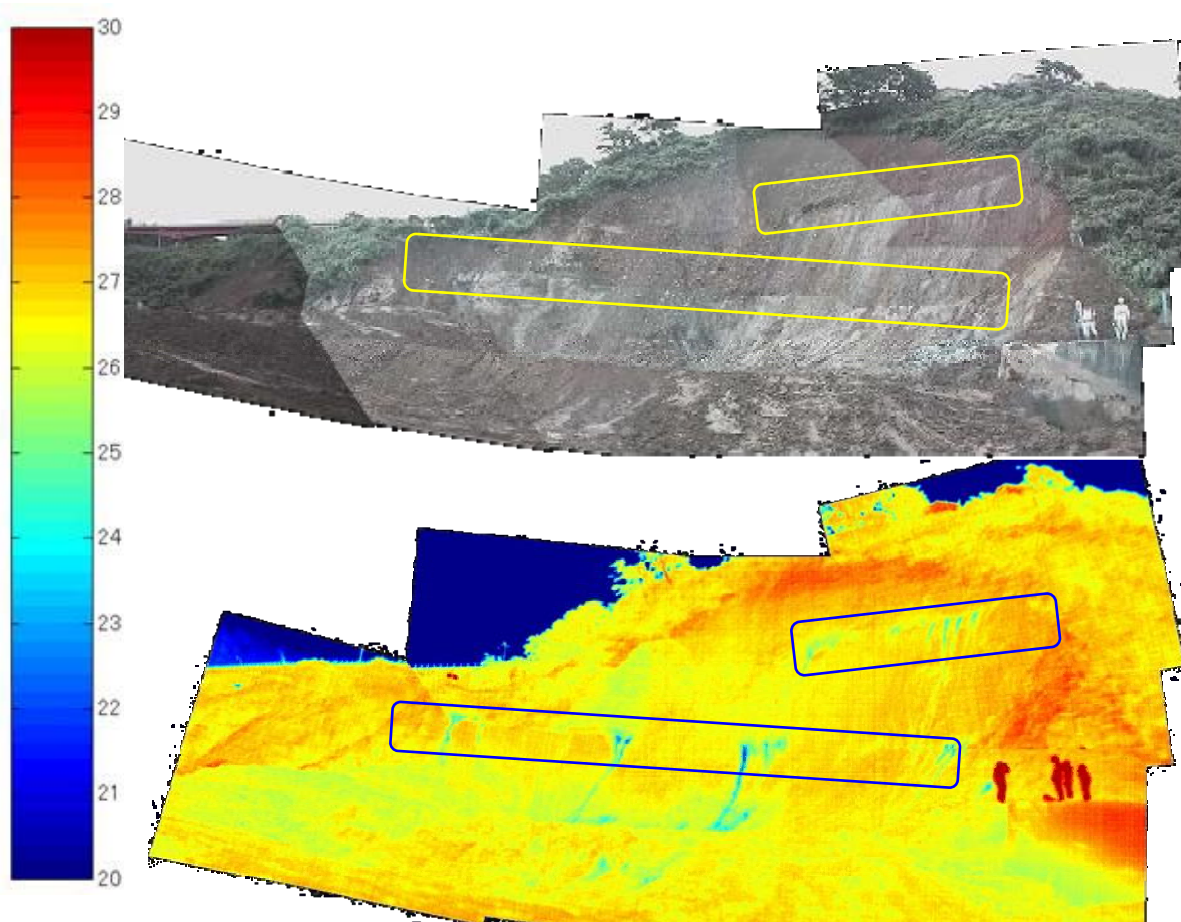


図-32 青海川駅南斜面の赤外線画像 (撮影: Johansson Jorgen 撮影場所: 37.34523, 138.483428)

4. 地盤の被害

(1) 地盤の液状化

地盤の液状化による被害は、宅地、公園・グラウンド、道路、鉄道、河川・海岸、上下水道、電柱などに見られるが、道路や鉄道に関連した施設・構造物の液状化被害は他の章で報告されるので、ここでは主として宅地と家屋に関する液状化被害について報告する。宅地については、柏崎市と刈羽村において、鯖石川氾濫原と旧河道及び荒浜新砂丘後背地で液状化が著しかった。この地域は1964年の新潟地震でも液状化の被害を蒙り、また2004年新潟県中越地震によっても深刻な被害を受けて新築・補修・復旧した家屋が多数に上り、今回は度重なる宅地の液状化を忌み、再建を断念して転地するケースも少なくなかった。

柏崎市と刈羽村を中心に、液状化によって宅地の被害が集中した地区を図-33に楕円で示す。柏崎市街の北に位置するこれらの地域のうち、安政町、松波2丁目、鯖石川改修記念公園、橋場（現松波4丁目）、橋場町は鯖石川の氾濫原に、また大字山本は別山川の氾濫原に位置する。他の地域は、荒浜砂丘の後背湿地側斜面の麓に位置する。山本団地、大字長崎、下高町の一部は、砂丘斜面に隣接した柏崎平野の沖積粘土層上に盛砂で造成された宅地である。各地区の被害は、以下の通りである。

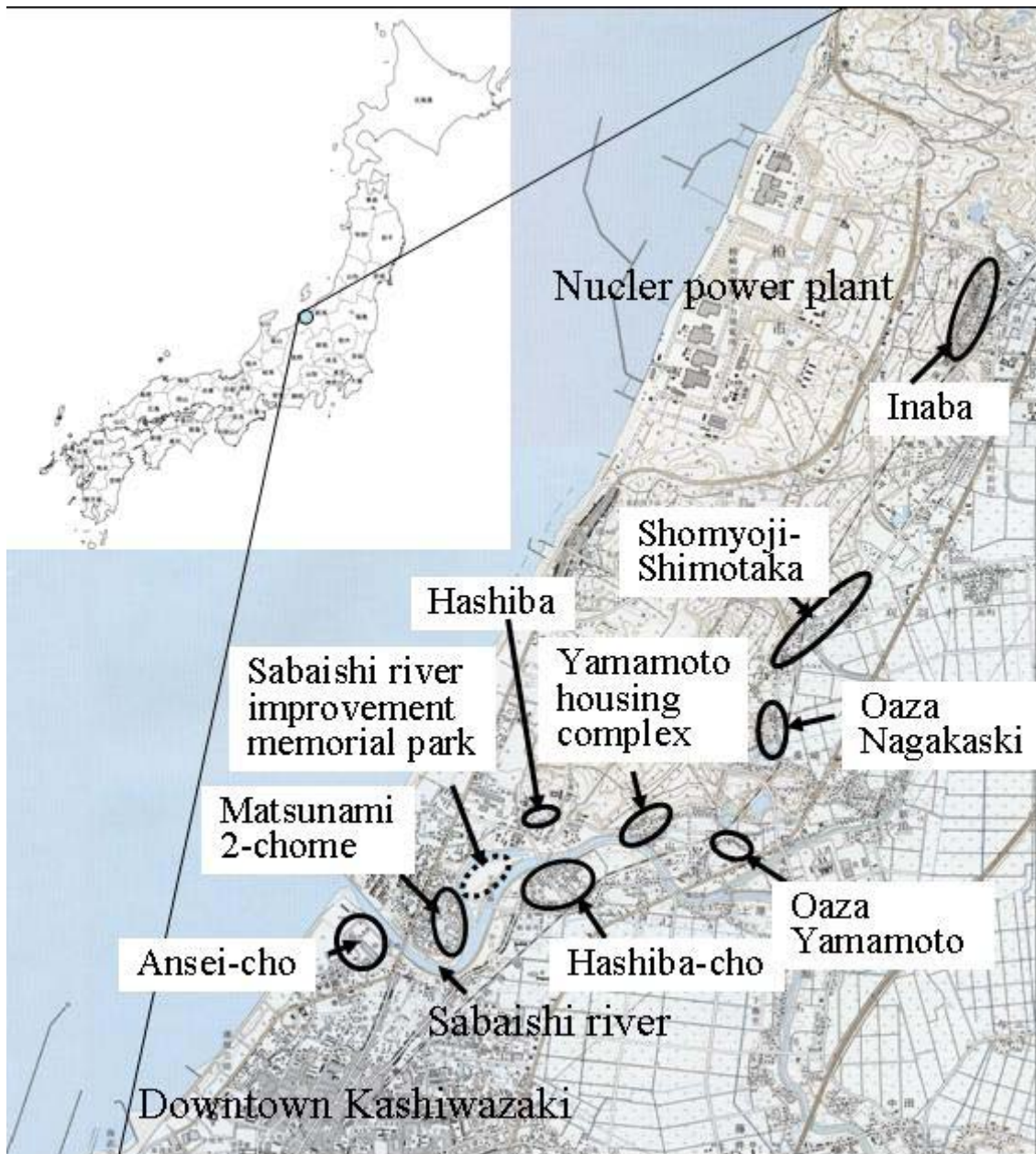


図-33 液状化被害が集中した主な住宅地域



図-34 松波2丁目の街路の冠水(本震9分後)



図-35 旧河道における液状化被害(橋場町)



図-36 液状化に伴う地すべりの滑落崖上の家屋被害(山本団地)



図-37 井戸からの水と砂の自噴(大字山本, 本震5分後)

- a)安政町：鯖石川河口左岸に位置する柏崎市自然環境浄化センターでは、液状化によって最大35cm程度、平均で20cm程度の地盤沈下が生じ、数箇所地すべりとともに、監視汚泥棟、ガスホルダー、脱硫装置の基礎杭が破断した。地下水位はGL-2.5m～約3mで、GL - 6m以浅の氾濫原堆積砂礫層が液状化したと考えられる。
- b)松波2丁目：図-34は、液状化で冠水した松波2丁目の街路である。この住宅地は、かつてやや高かった北側の砂丘砂を削って松林の低地であった南側の鯖石川の氾濫原に盛土し、昭和48年から51年にかけて宅地化された。この付近の舗装道路は、本震直後に側溝脇や宅地からの噴砂で街一帯が砂で覆われ、最大余震で再び液状化した。
- c)橋場町：図-35は、橋場町の宅地に長く連なって出来た地割れと噴砂痕である。この噴砂の位置は、昭和49年に埋め立てられた鯖石川旧河道にあたり、地割れは旧河道と河畔の境界に並行して走っている。同写真の奥に写っている家屋は旧河道と河畔の境に跨り、この境界に沿う亀裂と段差で大破した。表土の下は氾濫原堆積物であって、液状化による被害は旧河道に限らないが、その割合は旧河道と旧河畔に多い。
- d)鯖石川改修記念公園：鯖石川旧河道と現河道に挟まれる公園で、地盤は橋場町と同様と考えられる。ここでは緑地に長い陥没と大きな噴砂孔が、駐車場に亀裂や褶曲・噴砂が発生した。
- e)橋場：開運橋を挟んで橋場町と反対側の橋場(地震後、2008年から松波4丁目に編入)は新砂丘の麓にあたる。さざなみ学園西側の緩傾斜住宅地一帯と低地の宅地が液状化し、家屋の大破や傾斜、基礎のひび割れに伴う不陸などの被害があった。
- f)山本団地：山本団地は砂丘後背斜面のひな壇状住宅地であるが、団地西端で砂丘の擁壁が一部家屋に倒れ架かって家屋背面を損壊した。図-36は、地盤の液状化によってひな壇造成地の中段の宅地に地すべりが発生し、その滑落崖が直下に出現して破壊した家屋を写している。この地すべりによって、中段の宅地を土留めしていたブロック擁壁が倒れて下段の家屋を直撃し、下段の宅地がさらに下方の道路に向かって押されて圧縮された。地下水位はほぼ下段の宅地表面に一致し、中・下段の宅地の液状化がこの地すべりを惹起したのみならず、上段の宅地よりさらに山側にある桃畑の亀裂を含め、広範な地盤変状を伴った。
- g)大字山本：別山川の旧河道に沿った大字山本地区の地盤は、他の地域と異なって柏崎平野の軟弱粘性土が卓越している。しかしその別山川の氾濫原堆積物の一部に砂層や砂礫層が挟まれており、これらの層が液状化したと考えられる。液状化によると思われる広範な地すべりが別山川旧河畔に向かって発生し、多数の家屋が傾斜・裂損し、基礎が壊れた。図-37は、深さ3mの浅井戸と16mの深井戸の二本の井戸から、地震直後に砂と水が噴出している様子である。深井戸は深度3mあたりで屈曲し破損しているの、すべり面はこの深度と

判断される。一方、砂で盛土された宅地の液状化被害も甚だしかった。

g)長崎北端：新砂丘後背湿地にあたるこの地域では、北西側の緩傾斜地から南東側の平地にかけて液状化による全壊家屋が多く、マンホールも抜け上がった。砂丘斜面は各所で小規模に地滑りし、亀裂と段差が生じた。

図-38の家屋（昭和49年築）は西に1%余り傾き、さらに西端が南下がりに約1%ねじれた。同写真に見るように家屋内の地盤は土台付近まで隆起し、束石で支持された各部屋は中央部が盛り上がり、庭も大きく盛り上がった。外周や家屋内の布基礎は無筋で、多数の亀裂が入っている。この北側の家屋も南側の家屋も同様である。南側家屋の地下水位はGL-32cm～-50cmと浅く、GL-50cmから-6mの間の新砂丘砂が液状化したものである。

h)正明寺/下高町：刈羽村正明寺では、県道黒部柏崎線と砂丘の間で液状化が生じて、建物が数棟倒壊した。倒壊あるいは大破した家屋は、築35年以上の古い建物が多かった。上高町の巨大スーパーはまだ新しいものの、建物の土間が不同沈下し、敷地の駐車場と建物との間に高低さ20cmもの段差ができるなど、地盤の沈下が酷かった。地下水位は高く、県道表面すれすれである。図-39は、砂丘斜面法尻から、このスーパーの駐車場に湧水している地下水を示している。

i)刈羽村稲場：刈羽村稲場地区では、中越地震による被災後に改築や再築した多数の住宅が、宅地の液状化と砂丘の地すべりによって再び甚大な被害を受けた。図-40はその一例で、再建後半年余りで再度全壊した。地震前の資料と地震後の測量結果を比較すると、家屋は約4m前方に移動し、全面は1.4mほど、背面は2.5mほど隆起して、写真のように10°余り前傾して大破した。地盤は、地震前の宅地で言えばG.L.-5m～-7m以深でN値20以上となり、この深さ辺りから古砂丘になると考えられる。建物直下の地下水位は、地震前の地表面に対してG.L.-1.5mと浅かった。前庭の道路寄り半分には排水暗渠が埋設されていたが、排水暗渠のない宅地部分が液状化して法先の強度を失い、砂丘斜面の地すべりが誘発されたと考えられる。稲場地区では、砂丘斜面全体にわたって幾重もの亀裂と段差が生じており、この地区の地盤変状は同じメカニズムに起因する。

j)その他地域：柏崎市街地でも海岸に近い北部のアクアパークに噴砂痕があり、敷地全体が地盤沈下した。砂丘南部辺縁にあたる駅前バスターミナルに噴砂痕が見られ、砂丘斜面の夥しい圧縮/引張り亀裂も深部の液状化を伺わせる。段丘の谷埋盛土地盤である南半田住宅団地の半田小学校

グラウンド、刈羽村十日市町の砂丘麓、同平野部の田圃に砂で盛土した宅地などで噴砂が見られた。さらに、荒浜砂丘南西端頂稜部に位置する番神は、標高30mの高台にもかかわらず、液状化による噴砂が見られた。

k)港湾・海岸の地盤：主として砂質土で埋め立てられた柏崎港の埠頭にも噴砂が見られる（図-41）が、矢板やケーソン岸壁の目地からの砂の吸出しが多く、液状化した砂が陸上に噴出した量は比較的少なかった。安政町潮風公園では防潮工天端が約1m前傾し、背面地盤にクラックが生じたが、砂質盛土下に堆積する緩い砂層が液状化し、護岸背面の盛土が海側に移動したことが原因となった。

l)河川堤防の地盤：信濃川左岸町軽井地区の堤防裏小段の舗装道路に縦断クラックが多数発生し、噴砂が認められた。クラックの規模は最大で延長約90m、深さ約7mであった。さらに堤外地の法尻部に多数の噴砂が、また高水敷に川筋平行方向に延びるクラック・噴砂が多数認められ、約500mにわたって低水護岸に浮き上がりや亀裂を生じた。これらの被害は、堤防中央下部から川表側にかけて分布する砂質地盤の液状化に起因するものと判断され、再発を防ぐために堤体を一時的に除去して、基礎地盤を静的締固め砂杭工法で改良した。

柏崎市橋場町地先では、図-42にみるように鯖石川左岸堤防が地盤の液状化によって約80mにわたって陥没した。



図-38 液状化による布基礎の沈下と床下地盤の盛り上がり（長崎北端）



図-39 砂丘斜面（雑草部分）からの湧水（下高町、写真：保坂吉則）

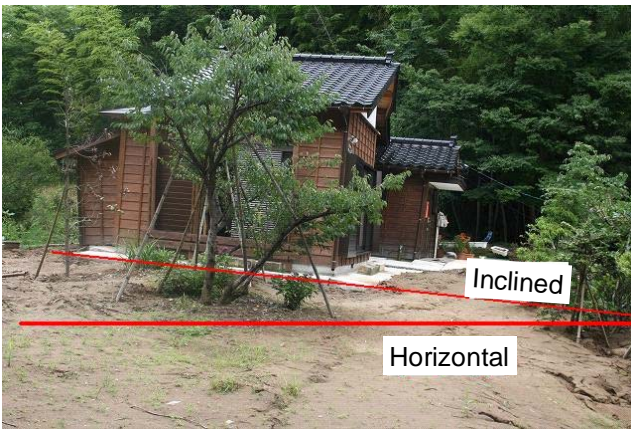


図-40 液状化に伴う砂丘斜面の地すべりによる家屋の破壊 (刈羽村稲場)



図-41 傾斜したケーソン岸壁 (柏崎港)



図-42 陥没した鯖石川左岸堤防 (橋場町)

(2) 斜面崩壊

この地震による斜面崩壊で特徴的なのは、崩壊箇所（被災地も）が震源の南に集中していることである。これは、断層の動き（震源から南方向にずれた）や地震波の伝播特性に起因すると考えられる。主な崩壊箇所は、Toyota and Onoue (2008)³²⁾に示されている。2004年新潟県中越地震に比べ斜面崩壊が少なかったのは、今回の地震の震源が海底にあったことにもよるが、震源に近い海岸斜面を除くと、全般に起伏が緩やかである地形条件にも大きく影響されているであろう。これが海岸沿いに主な崩壊箇所が集中した理由にもなる。ここでは、柏崎平野の北部の丘陵地における表層崩壊的なもの他、長嶺や大積という内陸部（東方向）でも地すべり型の崩壊例について報告する。なお、ここでの記述は、参考文献31)の第4章、第5章3節、4節を参考にしていることをことわっておく。

a) 椎谷の崩壊

柏崎市北部の椎谷鼻（観音崎）周辺は、東西方向に延びる丘陵の西端が直接日本海に没し、1km余りにわたって数10m～100m余りの急崖が連続している。傾き約45度の急崖で、幅10m程度の崩壊が数ヶ所見られた。長さは最大のもので70m（すべり落ち土塊も含む）程度、厚さは3m程度である。地質は椎谷層の砂岩泥岩互層で、受け盤構造である。風化した表層が剥がれ落ちたような崩壊である。図-43に椎谷の崩壊写真を示す。斜面の上部、特に遷急線の上の土砂が崩れ落ちているようである。斜面下部はモルタル吹付で保護されており、この部分はほとんど崩れていない。モルタル吹付が地震に有効であることには疑問が残るが、表層の風化を抑制するという意味では有効であろう。図-44に類似の崩壊として、2004年7.13水害で発生した斜面崩壊取り上げて比較してみる。場所は違うが、海岸沿いであり、また地質的にもほぼ同じである。豪雨時においても、地震時と同様、風化した表層及び遷急線上部の堆積層が崩れ落ちていることがわかる。

これらより、誘因は違っても、地形・地質によっては、同様の斜面崩壊を起こすことがわかる。

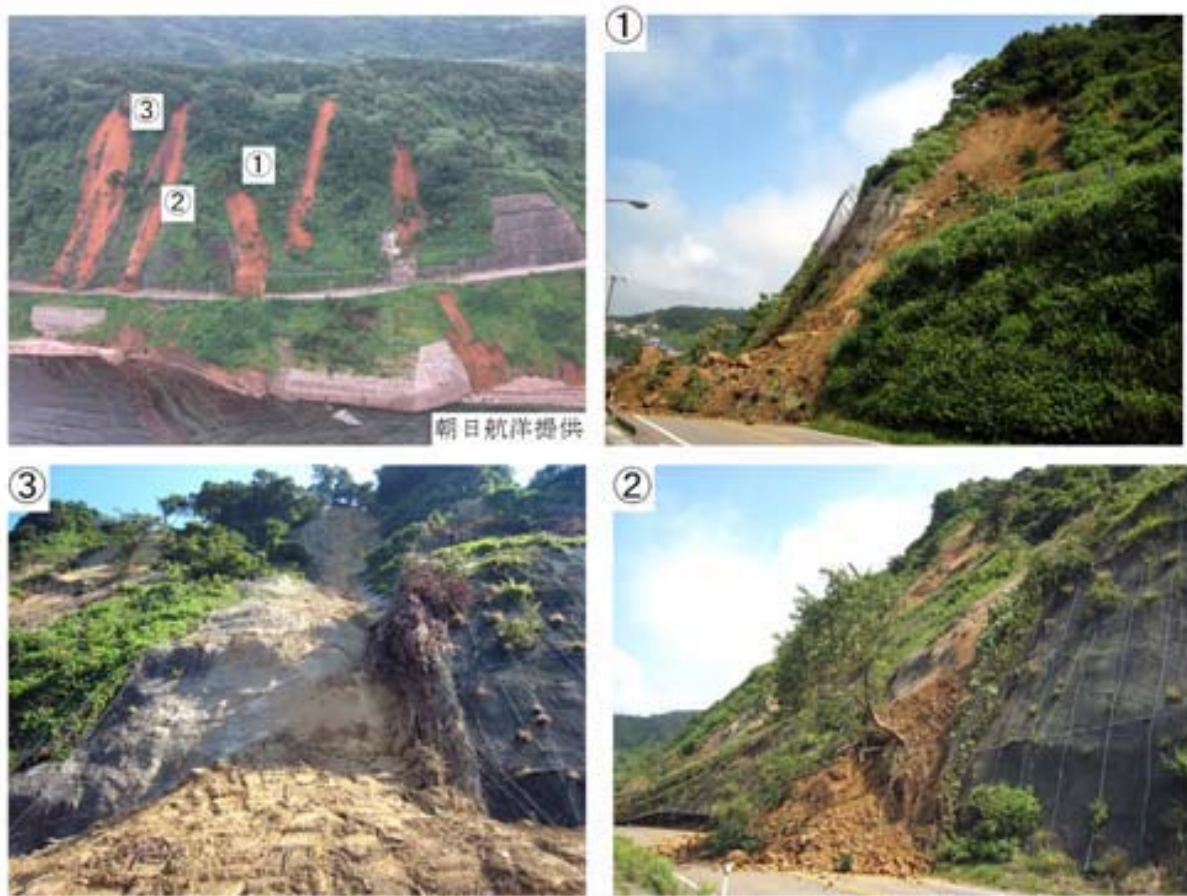


図-43 椎谷の崩壊写真

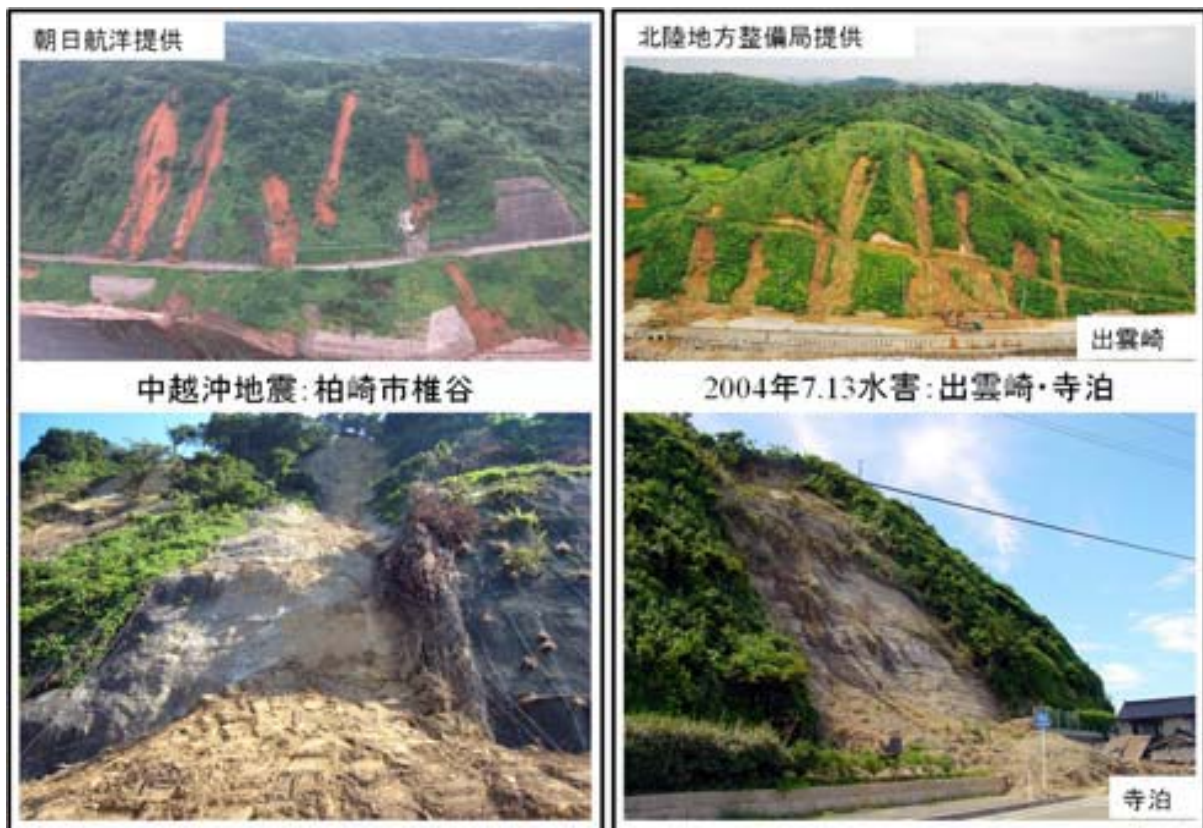


図-44 椎谷の崩壊と類似の崩壊

b) 長嶺の崩壊

長岡市西山町長嶺において、中越地震の中では大規模な斜面崩壊が発生した。今回取り上げる中では唯一、凹型地形での斜面崩壊である。傾き約20度の斜面で起こった、幅約100m、長さ約210m、厚さ10m程度の崩壊である。地質は西山層の砂岩泥岩互層で、流れ盤構造である。崩壊地中央に土塊が残っているのが特徴である。図-45に長嶺の崩壊写真を示す。図に示すように白っぽい灰色の泥岩のすべり面が現れている。この滑らかな泥岩の傾きは約32度であり、簡単に薄層で剥離し、図でもわかるように、異なる深さですべり面が現れている。中央部に残った土塊は、すべり落ちてきた可能性はあるものの、明確に動いたという兆候を見つけることはできなかった。図-46に類似の崩壊として、2004年7.13水害で発生した斜面崩壊を取り上げる。場所は出雲崎町中山であり、豪雨時においても、地震時と同様、泥岩の滑らかなすべり面が現れている。また、新潟県中越地震時にも、東竹沢で、滑らかな泥岩面に沿って、上部の砂岩がすべり落ちており、誘因とは関係なく、流れ盤の泥岩面に沿っての斜面崩壊は発生しやすいことがわかる。



図-45 長嶺の崩壊



図-46 長嶺の崩壊と類似の崩壊

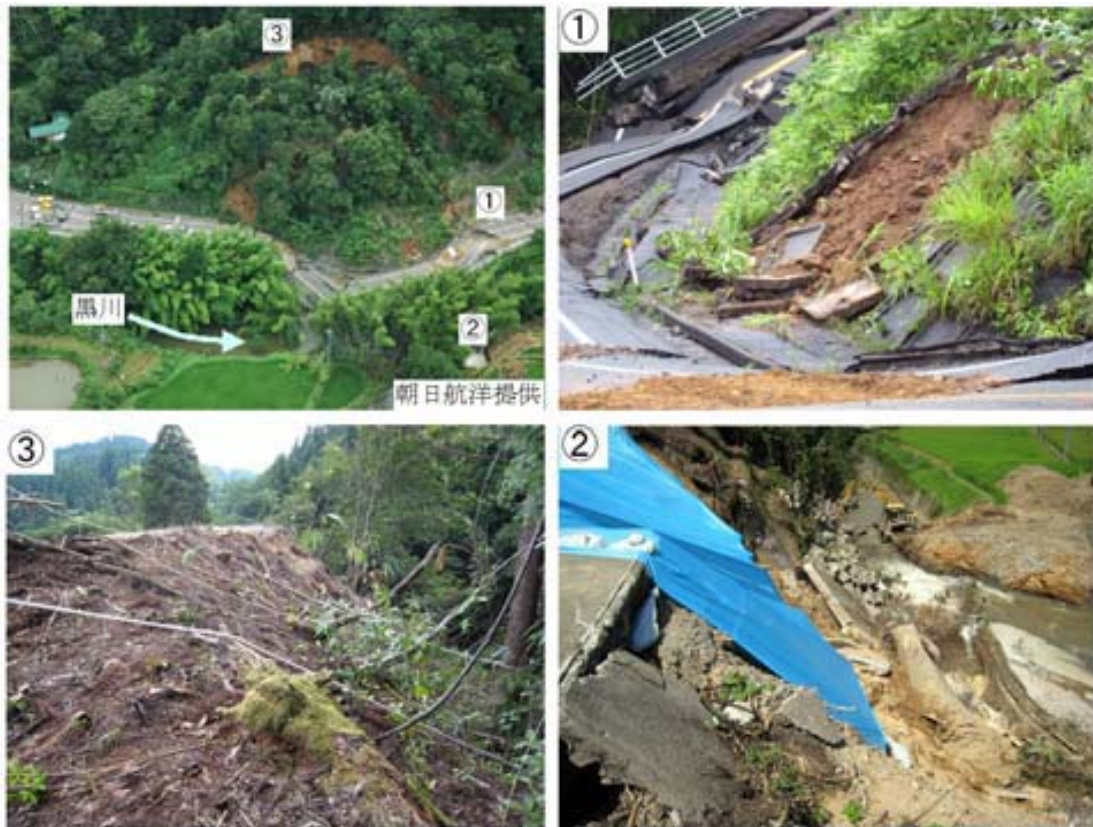


図-47 大積の崩壊写真

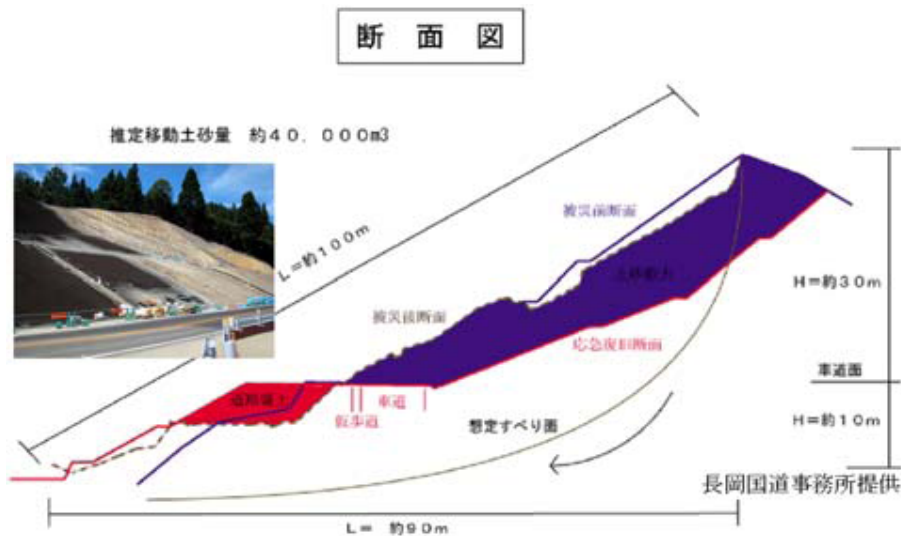


図-48 大積の応急復旧断面

c) 大積の崩壊

長岡市大積千本町において、地すべり型の斜面崩壊が発生し、国道8号を巻き込んで土塊がすべった。震源よりかなり内陸（東側）に入り込んだところでの社会基盤に被害を与えた崩壊であった。傾き約25度の斜面で、幅約100m、長さ約100m、厚さ10m程度の土塊の移動をとこなう地すべり型崩壊である。地質は魚沼層の砂シルト細互層で、斜面方向と傾斜しているものの、ほぼ流れ盤の構造である。背後には地すべり地形が存在しているが、今回は黒川に接する末端部ですべりが発生した。図-47に大積の崩壊写真を示す。地すべり土塊が国道8号ともにすべり、黒川を一時閉塞した。黒川には、泥岩面が現れており（②の地点）、この滑らかな泥岩に沿ってすべったと考えられる。崩壊斜面上部（③の地点の背面）は谷地形で落ち込んでいることがわかる。これは、浸食により形成された可能性もあるが、以前、地すべりですべった土塊の跡とも考えられる。図-48に応急復旧のための切土断面を示す。応急復旧では崩壊土砂の表層を切土し、また、斜面下には押さえ盛土を施工し、安定性を高めた。同図には切土面の写真も示してある。応急復旧は迅速であり、地震1週間後の7月23日より二車線供用をはじめた。



図-49 青海川の崩壊写真

d) 青海川の崩壊

柏崎市青海川のJR 信越本線青海川駅のすぐ隣で斜面崩壊が発生し、崩壊土砂が線路を埋めた。この崩壊により、斜面上部にはクラックが発生し、斜面上にある家屋を危険にさらしている。海と谷根（たんね）川に挟まれた凸型地形を呈しており、その海側（北西）斜面が崩れた。傾き約45度の海食崖で、幅約40m、長さ約50m（すべり落ち土塊含めず）、厚さ5m程度の規模の崩壊が起こった。地質は米山層（西山層相当）の泥岩（シルト岩）で、段丘砂礫が泥岩を覆っている。図-49に青海川の崩壊写真を示す。写真からわかるように崩壊土砂が線路を埋めている。遷急線で堆積構造が違って見えるように見える。遷急線の層境とその下にも地下水にしみ出し（湧水）が見られる。このような湧水（地下水）は、間隙水圧の増加や強度の低下など、崩壊に何らかの影響を与えたと考えられる。遷急線の上部および表層は円礫を含んだ段丘堆積物で覆われている。崩壊土砂には、大きな岩がほとんど見られないので、固結度の低い部分が崩壊したと考えられる。斜面下部に現れていた灰色の泥岩も、水にぬれていればかなり軟らかいものであった。



パスコ提供

撮影：株式会社パスコ・国際航業株式会社



図-50 聖ヶ鼻の崩壊写真

e) 聖ヶ鼻の崩壊

柏崎市米山町の聖ヶ鼻において、多数の斜面崩壊が発生した。震源からかなり南方に離れたところでの崩壊である。海に面した北東斜面（流れ盤）で多くの崩壊が発生し、南西方向の斜面（受け盤）でも1箇所崩壊が発生している。北東斜面で最も大きかった崩壊は、傾き約25度で、幅約90m、長さ約200m、厚さは上部で約10mであるが、下部は薄い。当該区間で信越線が現ルートに移設されたのは1968年9月であり、それまでは地すべり（崩壊）区間海岸線を複数のトンネルで通過していた。今回大規模な岩盤崩壊が発生した北東斜面は、この数十年で斜面下部の崩壊が少しずつ進んでいるようであり、斜面下部の崩壊厚さが薄いことも頷ける。このように安定度の余裕が少しずつ減ってきている斜面であったといえる。地質は聖ヶ鼻層（西山層相当）の砂岩、砂岩泥岩互層である。北東斜面の東側には、地すべり地形が広がっており、大きな範囲で地すべり危険箇所にも指定されている。崩壊した南西方向の斜面のすぐ隣は、急傾斜地危険箇所となっている。

図-50に聖ヶ鼻の崩壊写真を示す。①の斜面は受け盤斜面で発生したが、下の民家に崩壊土砂が崩落する危険性が高く、注意が必要である。②の崩壊は、滑らかなすべり面が現れているが、薄く表土が崩落してい

る。③、④は堆積岩の層理面に沿って斜面上端から大規模な岩盤崩壊が発生している。滑らかな灰色の泥岩面（約28度）が現れているところもあり、そこにはすべりの跡である条線が刻まれていた。斜面側面にも、土砂の堆積がわかる堆積岩が現れており、この堆積構造（流れ盤）の弱層ですべりが発生したと考えられる。この最大崩壊の隣（西側）には、滑らかなすべり面の現れていない地すべり性の崩壊も認められる。図-51に中越沖地震前（2005年8月16日）の聖ヶ鼻の写真を示す。図-50の②の崩壊の箇所はすでに崩れているのがわかる。このように、この場所では以前から崩壊が発生していたようである。柏崎市によると、2004年7月16日に柏崎を襲った豪雨により、②の崩壊箇所は道路半分が落ちてしまい、2004年10月23日（中越地震）で道路全体が落ちてしまったということである。また、2005年6月28日の豪雨でも被害を受けたが、重要性のない道路ということで、復旧は行っていないようである。今回の地震でも、崩壊箇所の拡大や滑落崖が少し後退したように見受けられる。また、①の南西斜面の崩壊も、豪雨・地震のイベントごとに、道路の半分ほどを崩壊土砂が埋めたようであるが、その都度、土砂を取り除くのための復旧を行ってきている。このように、以前より崩壊しやすい場所であり、今回の地震では、崩壊箇所の拡大や新たな崩壊が発生した。

図-52に類似の崩壊として、新潟県中越地震で発生した横渡の岩盤すべりを取り上げて比較してみる。どちらも岩盤すべりであり、滑らかな泥岩面が現れている。横渡では、聖ヶ鼻ほど岩盤の堆積構造は明確でないが、滑らかなすべり面の上には固結度の低い凝灰質砂岩の薄層の存在が確認されており、この砂層の強度低下で岩盤崩落が起こったといわれている。一方、聖ヶ鼻では明確な砂層の存在は確認できなかった。このように、地震時には層理面（または節理面）に沿ったすべりが発生しやすいので注意が必要である。



2005年8月16日撮影 明治コンサルタント佐藤博文氏提供



2007年8月14日撮影

図-51 地震前後の聖ヶ鼻

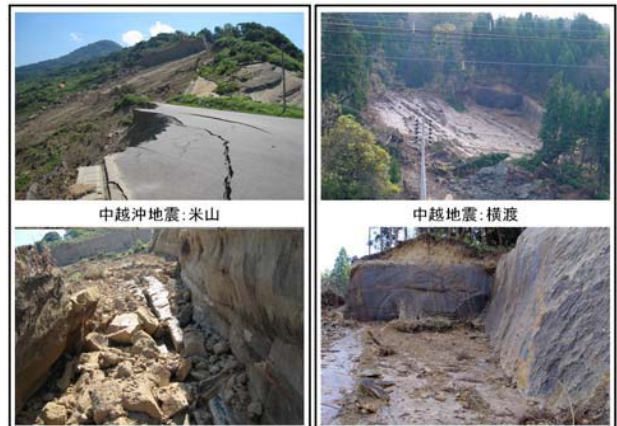


図-52 聖ヶ鼻の崩壊と類似の崩壊

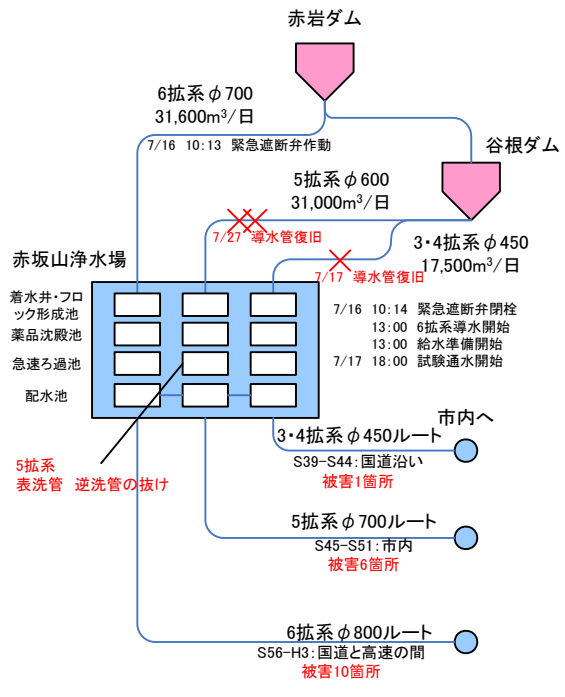


図-54 柏崎市水道システム概要と被害

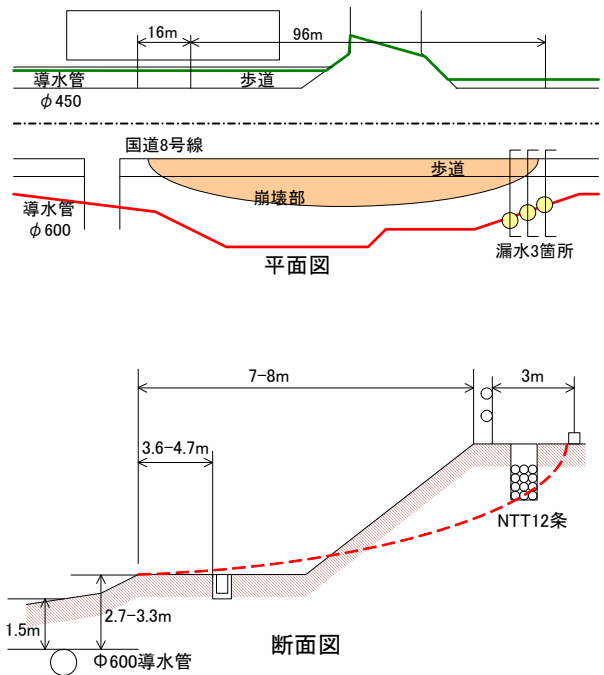


図-55 国道8号線沿いの導水管被害現場



図-56 国道8号線盛土崩壊状況 (新潟市水道局撮影)



図-57 導水管(5拵・DIP(K)φ600の抜け)
(新潟市水道局撮影)

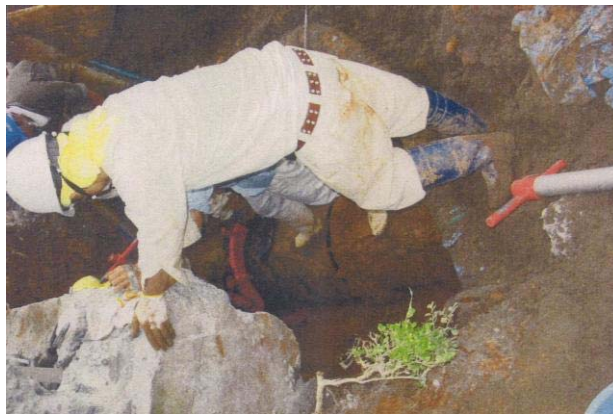


図-58 逆洗管DIP(K)φ500の抜け (新潟市水道局)

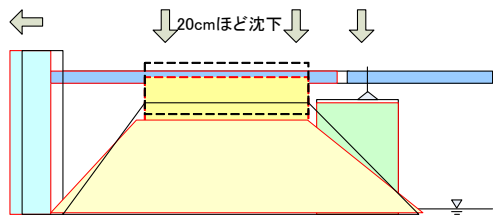


図-59 六識橋左岸の盛土沈下による管路被害



図-60 六識橋左岸の盛土沈下による側溝の損傷



図-61 六識橋左岸の鋼管継手の抜け



図-62 橋場町の地盤流動による亀裂



図-63 松波町の地上仮設配管

c) 柏崎市水道の管路被害の特徴

柏崎市の配水管路は海岸側から3・4拵系、5拵系、6拵系の配水幹線の管路が市街地を横断するように埋設されている。比較的最近に建設された大口径管路の6拵系配水幹線（S56-H3年）で10箇所の継手損傷を受け、敷設年度の古い他の配水幹線（3・4拵系はS39-S44年、5拵系はS45-S51年）よりも被害が多かった。

柏崎市は、JR線より海岸側に砂丘が広がり、西側に流れる鶴川と東側に流れる鯖石川に挟まれた河川堆積層の平野に広がっている。

柏崎市の管路被害の特徴として、配水幹線を含む比較的口径の大きい管路の被害が顕著であった。図-60は6拵系配水幹線が鯖石川を横断する水管橋(六識橋)の左岸側(橋場町)における管路支承部の損傷である。

図-59に示すように左岸盛土の天端が20cm程度沈下し、天端の側溝内を通過していた鋼管が側溝のコンクリート蓋を割っている。また管台の支承ボルトは抜け、図-60、61のように口径φ600の鋼管継手が引き抜けた。

図-61からわかるように抜けた管路の上端部が擦れており、管軸方向以外に沈下等による鉛直変位による痕、または管路が交錯した痕とみられる。

橋場町一帯では、六識橋周辺の液状化による管路被害の他、液状化に伴う地盤の側方流動が発生し、路面の圧縮亀裂が見られた。六識橋から200mほど南では、図-62のように広域な地盤流動に圧縮されて地盤が隆起し、亀裂が発生している。この地盤亀裂線上に管路は連続的に破損した。当場所の管路復旧時には管中心がずれていることが確認された。

鯖石川の対岸西部にある松波町でも面的に液状化被害を受けたため、地上に仮設配管(図-63)を設置して復旧された。



図-64 クリーンセンター前の管路被害

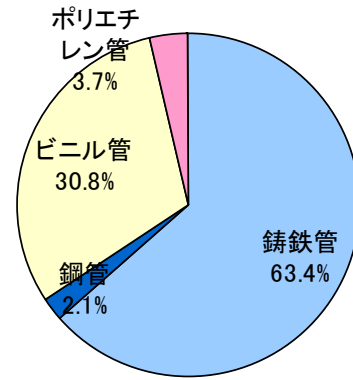


図-65 柏崎市の管種構成比（配水管総延823.3km）³⁴⁾

表-1 柏崎市管種別管路被害率

（件数は平成19年8月11日時点）³⁴⁾

管種	被害件数	延長 (km)	被害率 (件/km)
DIP	212	522.1	0.41
SP	56	17.4	3.22
VP	221	253.7	0.87
PE	2	30.1	0.07
その他	45		
合計	536	823.3	0.65

注) PEは二層PE管

橋場町の対岸側のクリーンセンターでは、煙突にせん断亀裂が入り、その東側では図-64に示すように路面が2.3m近く沈下した。これは、写真右には砂採場があり、左側の鯖石川に向けて砂地盤が滑ったことによる地盤沈下である。配水管路DIP(K)φ100は写真の道路左側に埋設されていた。本現場では、早急な復旧が困難であるためクリーンセンター周辺の区間を止水した。

柏崎市での管路被害要因として、液状化による側方流動・沈下による地盤変位・道路法面崩壊による地盤変位が挙げられる。とくに柏崎の市街地では、砂質地盤が厚く堆積しているために、路面アスファルト舗装が他の地域よりも厚く、復旧作業にも支障を来した。

しかし、柏崎市の管路は図-65に示すように全体の6割程度がダクタイル铸铁管(DIP)である。铸铁管(CIP)は、平成10年からの更新事業で、NS継手のダクタイル铸铁管に更新されており、数%残っている程度である。石綿管も敷設されていない。一方、NS継手などの耐震継手をもつ耐震管路は14.4%あり、全国的な基幹管路の耐震化率14%と同程度である。耐震継手管路はえんま通り商店街で導入されており、地震で建物等の被害は甚大であったが、耐震継手管路には被害が発生していない。

表-1は配水管路の被害率を示している。小口径のねじ継手鋼管の多いSP(鋼管)では被害率が3.22件/kmと高い。また、全体の被害率は0.65件/kmで、最近の中越地震の長岡市・小千谷市の倍、兵庫県南部地震の神戸市(0.44件/km)よりも高い値となった。

その一方で、給水管の被害件数は283件であった。兵庫県南部地震で、配水管被害件数の約10倍が給水管被害件数であることと比較すると、配水管被害件数536件に比べて給水管被害は非常に少ない。その原因として、給水管に可とう性のあるポリエチレン管が多く採用されており、被害が少なくなったと考えられる。管路の被害箇所と地質図³⁵⁾とを重ねると、海岸近くの砂丘の砂層と河川堆積層との地質境界で管路被害が集中して発生している(図-66)。砂丘は、非常に緩やかな傾斜地になっており、斜面を登るように埋設されていた配水幹線は砂丘の斜面部で被害を受けている。新潟県地盤図³⁶⁾を参考にすると、砂丘砂のN値は20~30程度と比較的硬い一方で、平地の表層20mの地盤ではN値5以下の緩い砂質土が堆積している。つまり、被害の集中箇所は硬軟地盤の境界地域に符合する。図-67は、被害が集中した地域の復旧された路面(平成19年12月撮影)である。砂丘の頂部ではなく、緩やかに傾斜した地域で砂丘上に堆積した薄い表層土が地域一帯で滑ったものと考えられる。地盤と建物被害・管路被害との関係については、さらに詳細な分析が必要である。

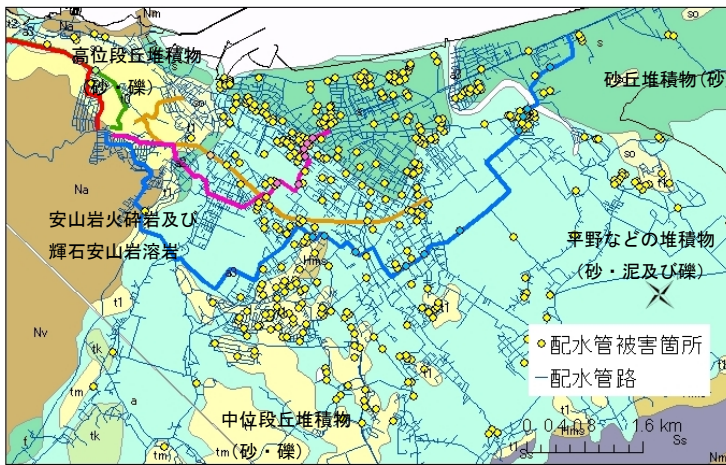


図-66 地質と管路被害分布 (新潟市水道局の被害図により作成)



図-67 地質境界付近の地盤状況 (復旧後)



図-68 柏崎市の水道幹線と復旧ブロック (新潟市)

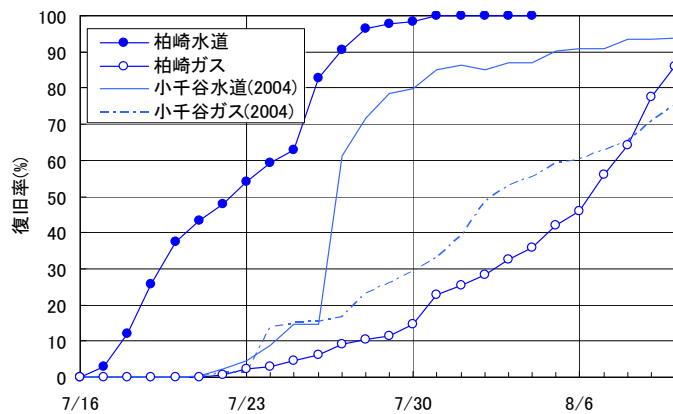


図-69 柏崎市の水道・ガス復旧率³³⁾

d) 柏崎市水道の管路システムの復旧

復旧時には、柏崎市を6つの大ブロック (市街地においてはさらに分割して全9ブロック) (図-68) に分けて、幹線ルートとの復旧と合わせながら復旧が進められた。北部ブロックは6拡系の幹線ルートの下流にあり、本配水幹線の復旧の遅れからブロックへの通水開始時期も遅れた。ブロックごとの復旧にあたっては、基本的には日水協・新潟県支部が担当したが、鶴川と鯖石川の間でJR線より海岸側の中央ブロックのみ日水協・関東地方支部が対応した。

図-69 は柏崎市の水道・ガスの復旧曲線を示している。また、柏崎市の曲線と併せて、2004年新潟県中越地震で被災した小千谷市の復旧曲線を重ねている。小千谷市水道 (12,000 戸) と比べて柏崎市 (40,000 戸) の方が事業規模は大きいですが、いずれも地方自治体の一つの企業課 (ガス水道課) でガスと水道を管理・運営している。柏崎市においては、2006年4月より下水道事業も企業課に加えられた。

柏崎市は、基幹施設の機能に一部影響があったものの、2日目から配水が再開でき、約2週間で復旧している。小千谷市は、浄水場での停電・自家発電装置の地下水による冠水や配水池までの管路復旧に時間を要し、復旧の立ち上がりが遅かった。一方で、ガスの復旧曲線を比較すると、柏崎市の方が小千谷市に比べて復旧が遅れていることがわかる。ガス管路の復旧では、水道管路破損による漏水や地下水によってガス管内に差し水が入り、排水に長く時間を要した。被災地が山間地域ではなく平地であったために、差し水が滞留するのではなく、管路から管路へと差し水の影響範囲が広がったことも柏崎市のガスの復旧が遅れた要因である。

被害の様相が明らかになるにつれて、日水協・新潟県支部だけでなく、日水協・中部地方支部・関東地方支部から適宜、復旧応援隊が派遣され、支部間の災害時応援協力態勢が図られた。最終的に給水応援は、51事業体・966人・483車両（内、県内より22事業体・514人・257車両）、復旧応援（漏水調査・修繕）は86事業体・5,425人・2,880車両（内、県内より22事業体・2,435人・1,416車両）で行われた。施設・配水幹線の復旧に伴って液状化被害が深刻なことが明らかとなり、復旧人員が地震1週間後に増員されたことが応援人数の推移で顕著であった。また、日水協・新潟県支部では中越地震での経験が今回の連絡体制・復旧対策などの緊急対応で活かされていた。

e) 刈羽村水道施設の被害と復旧

刈羽村の水道は、地下水を水源とし、砂丘上にある浄水場を経由して村内全域に配水されている。図-70に刈羽村の配水管路と被害箇所を示す。φ50以下の管路には塩化ビニル管が、それ以上の口径の管路にはダクタイル鋳鉄管（A・K形）が採用されている。最近ではポリエチレン管も導入されている。

管路被害は浄水場近くの砂丘斜面上に埋設された管路 DIP φ300（図-71、図-72）で数箇所被害が発生し、その復旧に2,3日を要している。この斜面上での管路は、継手抜けだけでなく、管体自体に変形を残していた。また、柏崎市と同様に、砂丘と平地堆積層との境界地域で管路被害が集中したが、ポリエチレン管には被害が出ていない。配水管被害件数は94箇所に入った。刈羽村では、水道担当の職員が3名しかおらず、内1名は地震で負傷したこともあり、復旧においては日水協の関東地方支部が応援に入った。

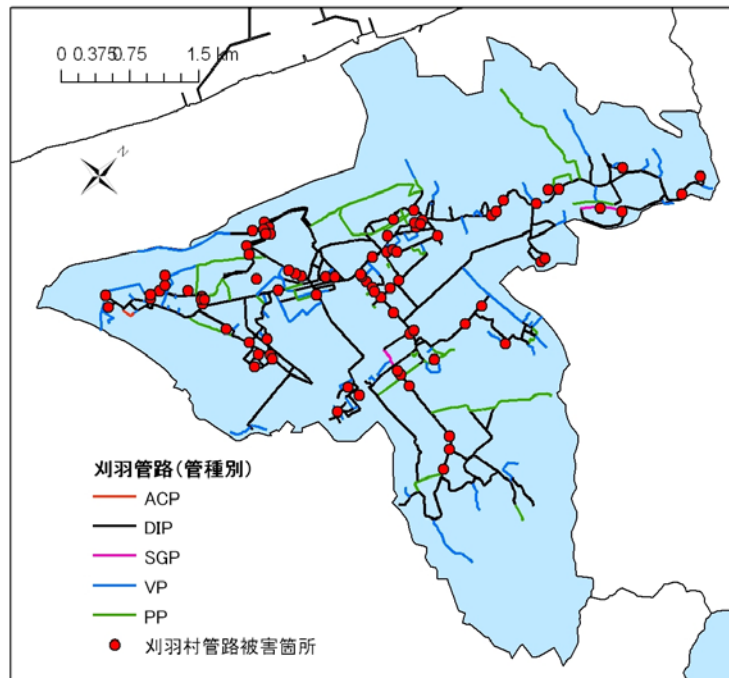


図-70 刈羽村の水道管路網と被害箇所
（刈羽村水道課の被害図により作成）



図-71 斜面上での送水管路被害箇所

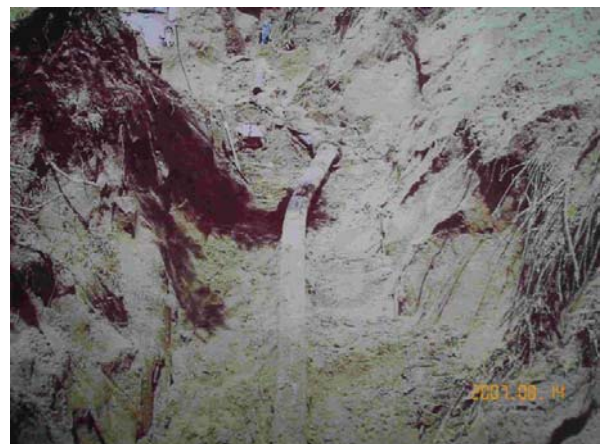


図-72 斜面上での継手抜けと管路変形（新潟市水道局撮影）

f) 出雲崎町水道施設の被害と復旧

出雲崎町には、上越側と下越側に2箇所の簡易水道がある。地下水が水源であり、13基の井戸と町内4つの配水池があり、配水系統は4つに分かれている。浄水施設ではドレインパイプが外れる、配水池周辺のコンクリート基礎に亀裂が入るといった軽微な被害が2箇所で発生した。停電したが、自家発電装置を備えていたため停電の影響はない。3年前の新潟県中越地震で全戸断水した経験もあったので、水確保のために地震後手動で閉栓し、地震直後は1,800世帯のうち1,100世帯で断水が発生した。新潟市・川口町・自衛隊の応急給水応援もあり、給水活動を展開した。地震当日の夕方には断水世帯が300世帯に減少し、18日午後4時に全戸断水が解消した。管路被害は、震源寄り（上越側）の第1簡易水道で集中した。第1簡易水道では、口径別にφ50以下で5.4km、φ125以下で26.8km、φ150以上で3.8kmの延長で管路が埋設されており、φ100以下にはHIVPが使用されている。同様に、第2簡易水道では、φ50以下で8.3km、φ125以下で12.8km、φ150以上で19.2kmの延長で管路が埋設されている。配水管被害は42箇所、給水管被害は78箇所であった。配水管の被害は主にHIVP管のRR継手の抜けによるものである。第2簡易水道で日本海岸側にDIP（K）φ150の管路が埋設されていたが、砂岩地域で地盤がよいため管路被害は発生しなかった。平成3～14年にかけて下水道建設工事に併せて上水道の石綿管を全て更新していたことも、今回の地震で管路被害が軽微であった一因といえる。

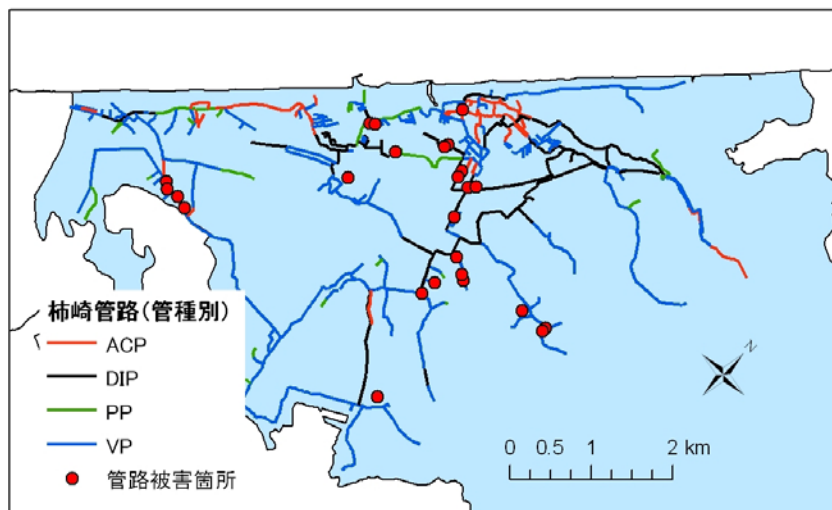


図-73 柿崎地区の管路網と被害箇所
(柿崎区水道課の被害図により作成)



図-74 坂田新田周辺の管路被害

g) 上越市柿崎区水道施設の被害と復旧

上越市柿崎区(旧柿崎市・旧吉川町)では、柿崎川ダムの表流水を周辺の水道事業体に送水している上越地域水道用水供給企業団から通常時 100%受水している。地震時、この企業団の送水管 DIPφ700 に継手抜けの被害があったと伝えられており、送水が停止した。以前では湧水を使用している地域もあったが、地震時にはその水は使用できなくなっていた。柿崎では、中山地区で 7/17 14:45、百水地区で 7/17 6:05 に企業団からの受水が再開した。一方、吉川では、高区で 7/17 11:15、低区で 7/17 19:27 に受水が再開した。断水期間中、自衛隊、新潟市、糸魚川市、妙高市、金沢市、高岡市、東京都荒川区(吉川町の姉妹都市)からの給水応援を受けた。

柿崎では、配水本管 15 箇所、給水管 12 箇所の合計 27 箇所、吉川では、配水本管 29 箇所、給水管 8 箇所の合計 37 箇所で管路被害が発生した。吉川の 37 箇所の被害のうち、5 箇所は石綿管、24 箇所は鋼管でライニングした石綿管 SACP であり、他の地区と比べて石綿管の被害が顕著であった。柿崎地区の管路網を図-73 に示しているが、住宅の多い地域に多く石綿管が埋設されていることがわかる。柿崎では配水管延長 102km の内、64km が塩化ビニル管であり、石綿管は 7.4km 埋設されている。その一方で、吉川地区では、配水管延長 94km の内、54km が鋼管でライニングした石綿管 SACP となっており、元々石綿管が多く埋設されていたことが被害の一因といえる。吉川に似た水道施設は、上越市の他区でも見られる。上越市の管路被害は柿崎区以外にも、頸城(本管 2 箇所)、安塚(本 1, 給水管 2)、浦川原(本 1, 給 4)、大島(給 1)、大潟(数不明)の水道システムで管路被害が発生した。

柿崎区の管路被害事例を図-74に示す。坂田新田の坂田池周辺では、宅地内で液状化の噴砂跡が確認できた。池に向かって宅地地盤が変位しており、水道管だけでなく、ガス管も被害を受けている。池周辺の道路では地盤が流動したために 20cm 程度沈下している。

h) 長岡市水道施設の被害と復旧

長岡市で断水が発生した水道システムは、長岡・小国・和島・与板・寺泊である。市町村合併後も以前の市町の独立した水道システムを維持しているため、旧長岡市以外の水道は小規模の水道施設である。

長岡では、国道 8 号線の大積で斜面崩壊によって、幅 140m にわたって土砂が流動し、道路沿いの配水管 DIP(K)φ150 の管路も流出した。この崩壊で、下流の 3 地区(千本・田代・刈羽) 81 世帯が断水となった。被災した配水管の下流には千本配水池(27m³×2 基)があり、地震の翌日から配水池に応急給水を入れ、通水・復旧活動が行われた。地区内で 2 箇所の管路被害を修繕し、地震から 3 日後には復旧工事が完了した。本箇所の被害は管路システムの末端部であったため、断水の影響は大きくなかった。

旧与板地区では、1,793 世帯が断水となった。管路被害件数は、送水管φ200 で 4 箇所、送配水管φ100 で 2 箇所、給水管(φ30 以下)で 25-30 箇所となっている。一方、旧和島地区でも小島谷・日野浦で 1,252 世帯が断水したが、4 日後には復旧している。これらの地域では給水車を所有していなかったため、長岡市から給水車 1 台とタンクを積んだ車両 2 台の応急給水車が 5 日間派遣された。今回の地震で、長岡市は日水協に応援要請をしていない。

i) 上水道施設のまとめ

下記に上水道の被害と復旧活動についてまとめる。

- ・ 管路被害の原因として、地盤の液状化に伴う地盤の沈下・側方流動、幹線道路法面崩壊が挙げられる。また地質境界部で管路被害が集中した。
 - ・ 送水管・幹線配水管など大口径管路の管路被害が顕著であった。
 - ・ 過去の地震と比べて管路被害が大きかったが、耐震継手管路やポリエチレン管には被害がなかった。また、給水管のポリエチレン管に被害軽減の効果があることを確認した。
 - ・ 市町村合併した旧町・村の水道事業では、応急給水車が整備されていない地域も多かった。
 - ・ 経年管路の更新が進んでいる地域では被害が少なかったが、石綿管を多く有している事業者では地震動はそれほど大きくないものの被害が甚大であった。
 - ・ 新潟県中越地震を経験した新潟県支部の応援体制はよく機能していた。
- 水道管路被害がガス管への浸入水に影響を与え、ガス管路の復旧に支障を来たした。

(2) 下水道の被害と復旧

a) 柏崎市下水道の被害と復旧

柏崎市下水道システムは 2 地区の公共下水道と 21 地区の農業集落排水によって構成されている。柏崎市の市街地の柏崎処理地区は昭和 56 年に供用を開始し、処理面積は 2,212ha である。合併した西山地区の公共下水道は平成 11 年に供用を開始し、処理面積は 95ha である。

公共下水道の施設被害については、柏崎市自然環境浄化センター（終末処理場）において建物周辺の地盤が沈下・流動するなどの被害が発生した他、施設内の汚泥掻き寄せ機のチェーンが脱落した。また、汚泥棟の既設部と増設部において不同沈下が生じ、送泥搬送管が可撓継手を使用していたものの破断した。この他、汚泥消化槽やガスホルダー、脱硫塔が傾斜するなどの被害が発生しているものの、センターの水処理機能には支障がなかった。

浄化センターでの甚大な被害の要因は海岸周辺の液状化しやすい軟弱地盤の他に、汚泥棟既設部がサンドコンパクションパイルによる地盤改良上に直接基礎で建設されたものに対して、増設部には基礎杭が使用され異なる構造物が隣接していたことが挙げられる。既設部では顕著な変形は確認されていないが、増設部では基礎杭が破損した。基礎杭破損の原因として、設計荷重以上の地震力が作用した可能性があるが、監視汚泥棟及び周辺地盤に数十センチ程度の水平方向の残留変位が確認されたことから地震動の影響だけではなく地盤の流動化も影響しているとも考えられ、これらの挙動については詳細な検討が必要である。

柏崎市内の流域汚水は4つのポンプ施設を介して柏崎自然環境浄化センターに導かれている。市街地からの汚水を集めてポンプ圧送する八坂中継ポンプ場では、地震によって周辺地盤が沈下し（図-75、76）、ポンプ場裏の鶴川に向かって道路盛土が移動していることが確認された。ポンプ場内敷地内で建屋と地盤の間に段差が生じたために可撓性のある圧送管φ400から漏水が発生したが、早急な復旧工事と上水道の機能が停止していたことにより機能支障には至っていない（図-77）。



図-75 八坂中継ポンプ場内の地盤沈下



図-76 八坂中継ポンプ場裏の盛土のすべり



図-77 八坂中継ポンプ場の圧送管漏水
(引用：日本下水道新聞)



図-78 下水幹線図と圧送管の被害箇所



図-79 八坂中継ポンプ場の管路漏水

表-2 農業集落排水の被害一覧
(2007年8月8日現在, 柏崎市ガス水道局提供)

No.	地区名	計画人口	管渠延長(m)	マンホール	中継ポンプ	被災延長(8/8)	被災率
3	柏崎東	3,240	18,013	484	6	5,150	28.60%
4	向安田	350	3,673	100	2	0	0.00%
5	下田尻	560	4,837	125	1	2,250	46.50%
6	柏崎南部	2,480	14,920	371	8	2,850	19.10%
7	上条	1,430	11,745	342	3	1,350	11.50%
8	北鱈石	3,170	21,520	550	9	7,900	36.70%
9	上条東	820	6,842	188	2	30	0.40%
10	平井	900	5,459	203	1	1,100	20.20%
11	中通	2,580	24,996	599	10	7,350	29.40%
12	北条	2,030	17,721	428	14	1,000	5.60%
13	広田	2,290	26,100	884	23	0	0.00%
14	谷根	320	3,533	161	5	450	12.70%
15	西山	510	1,932	79	0	1,000	51.80%
16	礼拝	570	2,063	73	0	1,000	48.50%
17	別山	630	4,328	144	5	1,350	31.20%
18	西山南部	980	12,054	347	14	4,300	35.70%
19	別山北部	330	5,906	181	8	3,000	50.80%
20	二田	2,580	25,417	628	20	7,900	31.10%
21	中川	2,060	14,321	399	16	5,500	38.40%
22	門出	500	4,818	195	3	0	0.00%
23	岡田	560	4,536	208	3	0	0.00%
		28,890	234,734			53,480	22.80%

柏崎処理地区の下水幹線はヒューム管や DIP が使用され、それ以外の小口径の管きよには PVC が使用されている。柳橋中継ポンプ場から八坂中継ポンプ場を結ぶ二条の圧送幹線において DIP φ 500 の継手抜けの被害が 3 箇所確認された(図-78 参照)。被害箇所は八坂中継ポンプ場の内陸側になるが、水道管路の被害が集中した箇所とも符合する。浅埋圧送管 DIP φ 500 の漏水により道路冠水の被害になったが、開削によって早急に復旧対応されている。一方、深埋圧送管 DIP φ 500 の被害については、埋設深さが 6m あり、圧送管上部には図-79 に示すように他の地中埋設物が入り組み、開削による復旧工事が難しい状況にあった。地震後 1 ヶ月の調査時には浅埋圧送管のみ復旧されており、深埋圧送管については推進工法(反転工法)によって非開削に復旧することが計画されていた。

八坂中継ポンプ場から自然環境浄化センターまでのヒューム管(φ 1000~φ 1200)の幹線では、コンクリート腐食が進んでいたために平成14年に200mの延長で管更生が実施されている。更生箇所については今回の地震において被害は報告されていない。

柏崎処理地区の他の下水道施設被害については、マンホールが 12,960 基ある中で 1,000 基が浮上や周辺地盤の沈下によって被害を受けている(図-80)。

公共下水道に比べて農業集落排水の被害は甚大であった(図-81)。柏崎市内の農業集落排水21地区の管きよ総延長は230kmあり、PVC φ 150~φ 350の管きよが使用されている。2004年新潟県中越地震における管きよ被災延長は40km程度であり、この被害復旧に柏崎市では2年を要した。一方、今回の新潟県中越沖地震では50km以上被災していることが確認され、農業集落排水管きよの2割近くが被災したことになる。表-2に農業集落排水の被害一覧を示す。



図-80 マンホールの浮上
(柏崎市ガス水道局)



図-82 出雲崎市の下水道管きょ上の地盤沈下



図-81 農業集落排水の被害が大きい箇所
(柏崎市ガス水道局)

地震後の復旧対応では、緊急調査、一次調査によってマンホールの蓋を開けて流下機能を確認する作業が早急に進められた。さらに7月25日から、バキューム車で滞水を除去しながら被災状況を確認し、流下機能が確保されない箇所については仮設ポンプと仮設配管を組み合わせて応急復旧が実施された。応急復旧箇所は総計52箇所であった。一次調査には新潟県、県内自治体、中部ブロック、大都市など51団体が応援に入り、ピーク時のバキューム車投入数は23台であった。7月28日からはTVカメラを導入した二次調査を行っており、被災自治体の他、新潟県、新潟市、名古屋市が支援に入った。

仮設トイレについても地震直後から手配し、地震当日には346基、最終的には1,949基が配備された。これらの早期の復旧対応については、新潟県中越地震の経験が活かされているといえる。

b) 出雲崎市の下水道の被害と復旧

出雲崎市の公共下水道は平成3年から平成14年にかけて建設された比較的新しい下水システムである。管きょにはヒューム管はなく、口径φ150からφ400mmのVU管が使用されている。平成7年には本管の建設を終えていることから、兵庫県南部地震後の下水道施設の液状化対策は適用されていない。

震源に近い日本海側では比較的地盤が良く、顕著な管きょ被害は見られなかったが、内陸側の砂丘後背地では、マンホールの浮上や管きょ周辺地盤の沈下が確認された(図-82)。

2004年新潟県中越地震では被災延長が8kmに達したことから、地震復旧作業には埋め戻しに改良土が使用されており、これらの対策を講じた箇所については今回の地震で被害は発生していない。中越地震では復旧費に約50億円を要したが、今回の中越沖地震では30億程度になると見込まれている。

c) 下水道施設のまとめ

下記に下水道の被害と復旧活動についてまとめる。

- ・ 2004年の新潟県中越地震で被害を受けて、液状化対策をしたマンホールについては今回の地震では顕著な被害がなく対策が有効であったといえる。
- ・ 浄化センターの沈泥棟の被害については、地震荷重の他に地盤流動の影響も考慮して検討する必要がある。

新潟県中越地震を経験したことで、仮設トイレの配備など事後対応が早急であった。

6. 道路施設の被害

(1) はじめに

今回の地震により被災した地域には2004年新潟県中越地震の被災域と重複する地域があり、僅か2年半余りの間に、再び地震により多数の人命が失われるとともに、建物や土木施設にも多くの被害が生じた。地震後、国土技術政策総合研究所、土木研究所、建築研究所及び港湾空港技術研究所では連携して、関係する分野ごとに調査チームを編成の上、7月16日から10月31日までの間に延べ103名の職員を順次派遣し、現地における技術支援、調査等に当たった。本稿は、その被害調査報告³⁷⁾に基づき、道路施設被害の概要について取りまとめたものである。

表-3 調査橋梁一覧

番号	路線	橋梁名	竣工年	構造形式		損傷の有無と状況
				上部構造	下部構造	
1	国道8号線	胞姫(ヒトリ)橋	1974年	鋼ランガー(アーチ橋)	A1:半重力式橋台, A2:控え壁式橋台	支承部:可動支承の抜け出し、サトブロッグの損傷 固定支承のモルタルの破断 下弦材下方サドルプレート変形 上縦樑:座屈変形、橋門樑:隅角部の座屈変形、割れ 下縦樑:破断1箇所(腐食あり) 橋台取り付け部段差あり
2	"	上輪(アガリ)橋	1965年	鋼桁(合成),アーチ橋	A1:A2:控え壁式橋台, A2:半重力式橋台, P1,P2:アーチ拱台	親柱損傷,ジョイント部の衝突損傷,橋台取り付け部段差あり, 下縦樑ガゼットの变形
3	"	米山(ヤナ)大橋	1967年	鋼箱桁(鋼味版),I桁(合成)	A1,A2:逆T式橋台, P1~P4:二層ラーメン橋脚(鋼製)	支承部の損傷,橋台取り付け部段差あり
4	"	比角(ヒサ)跨線橋	1963年	鋼桁(合成)	A1,A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり(1m)
5	"	柏崎(カサガ)高架橋	2002年	鋼桁(非合成)	P15~P21:ラーメン橋脚(RC), A2:逆式橋台	支承サイドブロッグの变形
6	"	豊田(トヨダ)橋	2004年	鋼箱桁(非合成)	A1,A2:逆T式橋台, P1,P2:T型橋脚小判型(RC)	橋台の残留変位,橋台取り付け部段差あり
7	国道116号線	荒谷(アライ)高架橋	1984年	ボスレンT桁	A1,A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり
8	"	水神(ミヅガミ)橋		鋼桁		橋台取り付け部段差あり
9	"	藤串川(フジカガ)橋	1981年	プレテンT桁	A1,A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり A2橋台壁の水平ひびわれ(5~6mm)
10	"	和田(ワダ)橋	1978年	プレテンT桁	A1,A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり
11	"	田沢川(タザガ)橋	1981年	プレテンT桁	A1,A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり
12	一般県道黒部柏崎線	なごみ橋	2005年	鋼桁		橋台の残留変位,橋台取り付け部段差あり
13	主要地方道柏崎高浜堀之内線	栄橋	1964年6月	コンクリートT桁		橋台取り付け部段差あり
14	国道352号線	石地(イシジ)橋		コンクリート桁		橋台取り付け部段差あり
15	主要地方道長岡西山線	別山(ナツヤマ)大橋	2004年9月	鋼桁		(支承部:こすれ跡,高欄:こすれ跡)
16	市道柏崎11-130号線	平成大橋	2000年3月	コンクリート箱桁		橋台たて壁前面ひび割れ,高欄変形
17	"	平成橋	2002年2月	コンクリートT桁		橋台取り付け部段差あり
18		藤掛川橋近傍の跨道橋		鋼桁		固定支承の移動制限装置破断,橋台取り付け部段差あり
19	市道11-53号線	上原(カミハラ)一の橋	2005年3月	鋼桁(非合成)	A1,A2:逆T式橋台, P1,P2:壁式橋脚	橋台の残留変位,橋台パレットひび割れ
20	"	上原(カミハラ)二の橋	2005年3月	鋼桁(非合成)	A1,A2:逆T式橋台, P1:壁式橋脚	橋台の残留変位,橋台パレットひび割れ
21	"	安政橋		仮橋、架替え工事中		段差あり
22	北陸自動車道	鉢崎橋		コンクリートT桁		固定支承部桁端下面のせん断破壊,橋座のひび割れ

(2) 道路橋の被害

a) 調査概要

道路橋の地震による被害の有無及びこれらと地震動の関係の把握を目的として、新潟県柏崎市を中心とした国道8号、国道116号等の主要幹線道路、県道等にかかる橋梁の調査を行った。調査対象橋梁の竣工年、構造形式、被害状況等を表-3に示す。

b) 主な橋梁の被害状況

胞姫橋：

胞姫橋は、1974年に竣工した米山町近くの上輪において弘川を跨ぐ国道8号の橋である（図-83～87）。上部構造は、鋼単純ランガー橋（リベット橋、下路式）であり、橋長は120mである。下部構造は、半重力式（可動側）と控え壁式（固定側）で、基礎は直接基礎である。支承形式は、ピンローラー支承（可動支承）とピン支承（固定支承）である。

図-84に被災の状況を示す。上部構造においては、上横構の座屈変形、橋門構隅角部の座屈変形、割れ（図-86）、下横構連結板の破断1箇所が確認された。破断が確認された下横構では、地震により破断したと考えられるが、腐食も生じていた。支承部では、柏崎側の可動支承において、ローラーの抜けだし、サイドブロックの損傷が確認された。

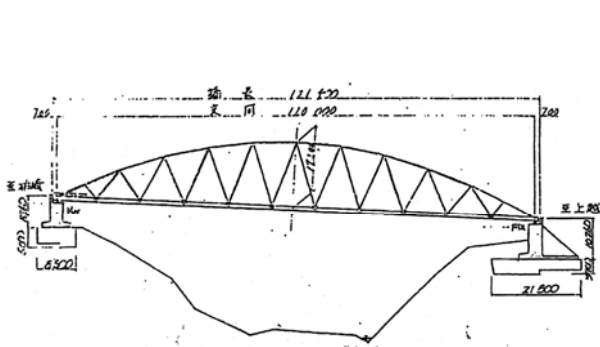


図-83 胞姫橋一般図

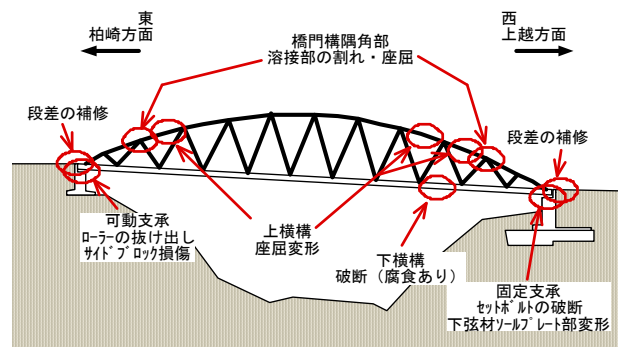


図-84 胞姫橋の被災概要



図-85 胞姫橋



図-86 橋門構隅角部の溶接部の座屈変形と割れ



図-87 固定支承のセットボルトの破断

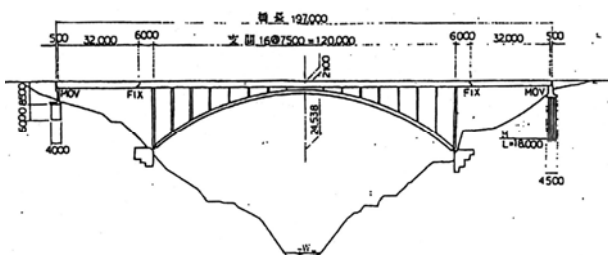


図-88 上輪橋一般図

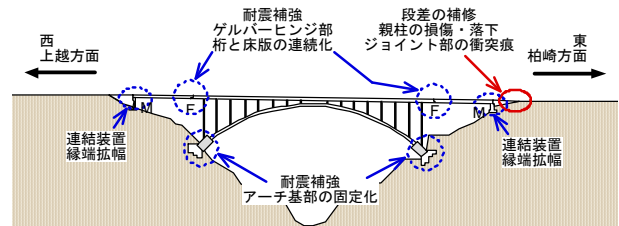


図-89 上輪橋の被災概要（実線）と耐震補強（破線）



図-90 上輪橋



図-91 アーチ部下横構のガセットプレートの座屈変形

また、上越側の固定支承ではセットボルトの破断（図-87），下弦材下フランジソールプレート部の変形が確認された。また、橋台背面土には沈下による段差が生じた。

本橋では、地震力が集中する支承部周辺に損傷を生じるとともに、上部構造については主として橋軸直角方向の地震力により、横構の一部に、座屈、変形、破断が生じたものと推定される。

上輪橋：

上輪橋は、1965年に竣工した米山町近くの上輪において弘川を跨ぐ国道8号の橋である（図-88～91）。胞姫橋の約100m柏崎側に位置している。上部構造は、鋼アーチ橋（リベット橋，上路式，両端にゲルバー鋼単純桁）であり、橋長は197mである。下部構造は、両端橋台は半重力式と控え壁式で、基礎は直接基礎、杭基礎である。アーチ構台は直接基礎である。両端が可動支承，アーチ部が固定支承である。なお、本橋に対しては、図-89に示すように耐震補強（アーチ支承部の固定化，アーチリブへのコンクリート充填などの耐力補強，落橋防止構造の設置）が実施されている。

被災状況を図-89に示す。上部構造には、親柱の損傷，及びジョイント部の衝突の痕跡が確認された。また、アーチ部においては、一部の下横構のガセットプレートに座屈変形が生じた（図-91）。また、橋台背面土には沈下による段差が生じた。

本橋では、地震力の作用により、アーチ橋に変位が生じ、橋台部との接触が生じたものと推定される。なお、本橋では、上記の通り耐力補強がなされており、アーチ主構等には変状が確認されず、耐震補強が効果を発揮したことが推定される。

米山大橋：

米山大橋は、1967年に竣工した青海川を跨ぐ国道8号の橋である。青海川駅近傍における大規模な斜面崩壊が生じた箇所の付近に位置している（図-92～95）。上部構造は、鋼溶接連続橋（3径間連続箱桁橋＋2径間連続橋）であり、橋長は279mである。下部構造は、両端橋台は控え壁式で基礎は直接基礎とケーソン基礎である。橋脚部はラーメン鋼製橋脚である。3径間部の橋脚は、高さ約44mの高橋脚である。基礎は直接基礎とケーソンである。3径間部は、両端が可動支承，橋脚部が固定支承の多点固定式，2径間部は、橋台に固定を有する1点固定方式である。なお、本橋に対しては、耐震補強（鋼製橋脚基部の固定化，コンクリート充填，梁部材への補剛材の追加，落橋防止構造の設置）が実施されている。

図-93に被災状況を示す。3径間部では、端部支承においてアップリフト止めの損傷，サイドブロックの変形（図-95）が確認された。また、中間橋脚のピン支承でもアップリフト止めのピンキャップの変形が確認された。2径間部では固定支承の固定用の突起の損傷，破断（が確認された。両端の橋台ではパラペット部にひびわれ，伸縮装置の変形，ウイング部壁高欄の損傷が確認された。また、橋台背面土には沈下による段差が生じた。

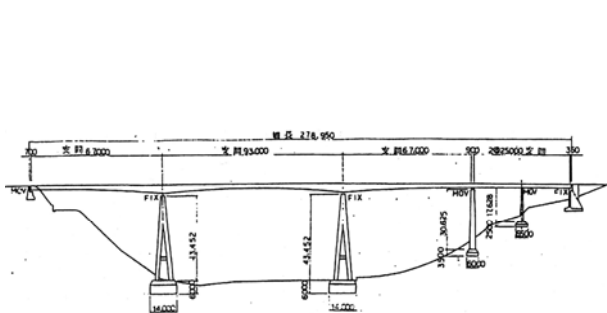


図-92 米山大橋一般図

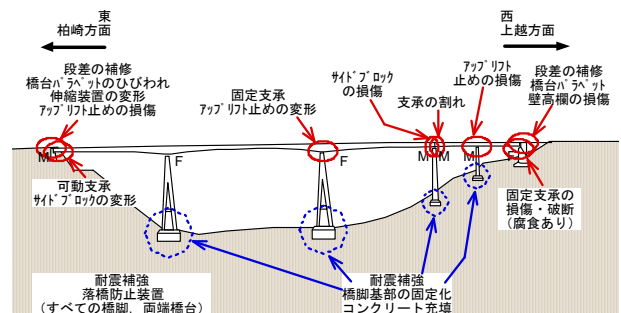


図-93 米山大橋の被災概要



図-94 米山大橋



(a)アップリフト止めの損傷



(b)サイドブロックの変形

図-95 径間部の端部支承の損傷

本橋では、地震力の作用により、支承部の損傷、橋台部との接触が生じたものと推定される。本橋は橋脚高さが45m規模の高橋脚であり、大きな変位が生じたこと、橋軸直角方向に対する地震力の作用により支承部にはアップリフト力が生じたことが推定される。

本橋については、上記の通り耐力補強がなされており、橋脚には変状が確認されず、また、支承部にはアップリフト止めが耐震補強として増強されており、これが作用した形跡も確認できることから、耐震補強が効果を発揮したことが推定される。

豊田橋：

豊田橋は、2004年に竣工した鯖石川を渡河する国道8号の橋である（図-96）。上部構造は3径間連続鋼箱桁、下部構造は逆T式橋台、T型小判断面RC橋脚で杭基礎により支持されており、支承はゴム支承である。橋台への土圧軽減対策としてFCB工法が用いられている。本橋梁には隣接してボックスカルバートが設置されている。

地震により、ゴム支承部に橋台の移動に伴う変形が生じた（図-97～98）。また、伸縮装置の遊間が詰まるとともに、橋台背面土の沈下による段差が生じていた。さらに、本橋に隣接するボックスカルバートの盛土部の沈下による段差が確認された。高欄には親柱と高欄との接触による座屈変形が確認された。なお、鯖石川周辺では堤体や周辺地盤の変位、変状が多く確認されている。また、豊田橋に近接するなごみ橋、上原一の橋及び上原二の橋でもゴム支承に変形が生じた。

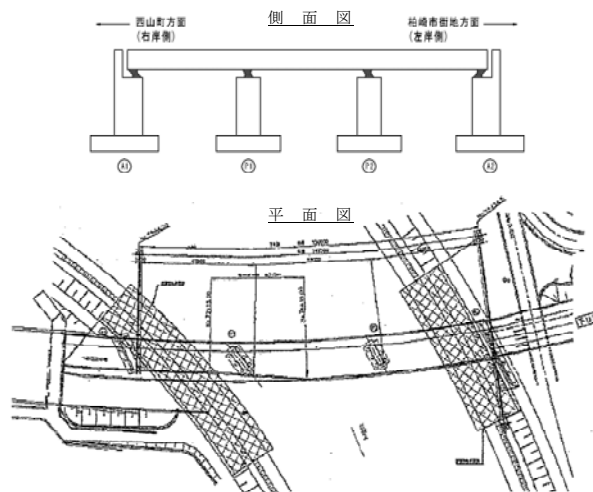
本橋では、橋台裏込め土に軽量盛土（FCB）を使用し土圧軽減対策をとっていたが、地震力の作用による周辺地盤の変位、変状に伴い、橋台が河心方向に約20cm程度変位し、支承部に変位が発生、伸縮装置の遊間のつまりが生じたものと推定される。なお、橋台や支承部の変形は、支承本体や本橋の安定性に影響を及ぼすまではなかった。



図-96 豊田橋



図-97 ゴム支承の変形



		A1	P1	P2	A2
G1	橋軸方向	-17.0	-6.5	-8.0	+22.5
	直角方向	0.0	+1.5	+9.5	0.0
G2	橋軸方向	-17.0	-6.5	-10.0	+21.5
	直角方向	0.0	+1.5	+10.0	0.0

※橋軸方向: A1からA2への変位を+とする。
 直角方向: A1からA2を望み、右への変位を+とする。

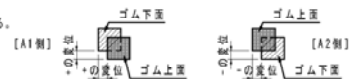


図-98 豊田橋のゴム支承の変形量（北陸地方整備局による現地計測の結果）

c) まとめ

今回の地震により、道路橋では支承部の損傷、二次部材の変形・破断、地盤変状に伴う橋台の変位、桁端部の接触により橋台パラペットの損傷、橋台背面土の沈下等、従来から比較的多く見られる損傷が生じた。なお、橋梁本体の損傷により構造安全性に著しい影響のあるような損傷は見られなかった。

橋台・カルバート背面土の沈下・段差が相対的に多く見られた。段差を生じた箇所では、地震直後の交通に影響を及ぼした箇所もあったが、アスファルト敷設等により応急復旧は早期に完了していた。

安定に影響を及ぼすほどではないが、橋台背面地盤の変位変状に伴い、橋台に残留変位を生じた橋が見られた。豊田橋等のゴム支承が用いられた橋梁では、ゴム支承にも変位を生じた。

上輪橋、米山大橋という大規模な橋梁で耐震補強が実施されていた橋では、主部材には影響はなく、耐震補強の効果があつたと推定されるものが見られた。

(3) 道路土工・斜面の被害

a) 調査概要

2007年新潟県中越沖地震により、何等かの通行規制を要する道路土工・斜面の被害は44箇所が生じた。内訳は、直轄国道で14箇所、補助国道で5箇所、県道で25箇所である。土木研究所では、国道8号（長岡市～柏崎市）及び国道116号（燕市～柏崎市）の盛土高10m程度以上の比較的規模の大きな道路盛土を対象として調査を行った。また、前記の道路盛土以外に、県道及び市町村道についても道路盛土の特徴的な被害が見られた箇所について調査を行った。さらに、道路斜面に関しては、地すべりが発生した国道8号長岡市大積地区、斜面崩壊が多数発生した国道352号柏崎市椎谷～大崎地区（新潟県管理）等について調査を行った。

b) 道路土工の主な被害状況

国道8号柏崎市鯨波地先（道路欠壊）：

延長120m程度、盛土高10m程度の片盛土が、右折レーンを含む3車線のうち1車線が延長60m程度にわたり1m程度沈下した。被災箇所は、上越市方面の下り側へ傾斜した地盤上の盛土である。また、路面と同様に、盛土のり面にも沈下が見られた。盛土のり先には液状化によると思われる噴砂が見られた。被災状況及び被災箇所の平面図を、それぞれ、図-99～101に示す。盛土上部の地山は粘性土と砂質土の互層地盤となっており、盛土中腹からのり先にかけては粘性土層が堆積しており、さらにその上に砂質土層が堆積している（図-101）。この盛土のり尻直下の砂質土層は、N値が2程度と非常に緩く、地下水位も高くなっていたことから、この砂質土層が液状化した可能性がある。また、被災後の地盤柱状図から盛土内の水位も比較的高く、地山からの盛土内への浸透水の影響も被害を拡大させた要因である可能性もある。

地震後より片側交互通行の措置がとられたが、下り車線を右折レーンにシフトさせ、暫定2車線を確保することにより7月17日には規制解除された。



(a)路面の被災状況



(b)盛土のり面の被災状況



(c)盛土のり先の状況

図-99 被災状況（国道8号柏崎市鯨波地先）

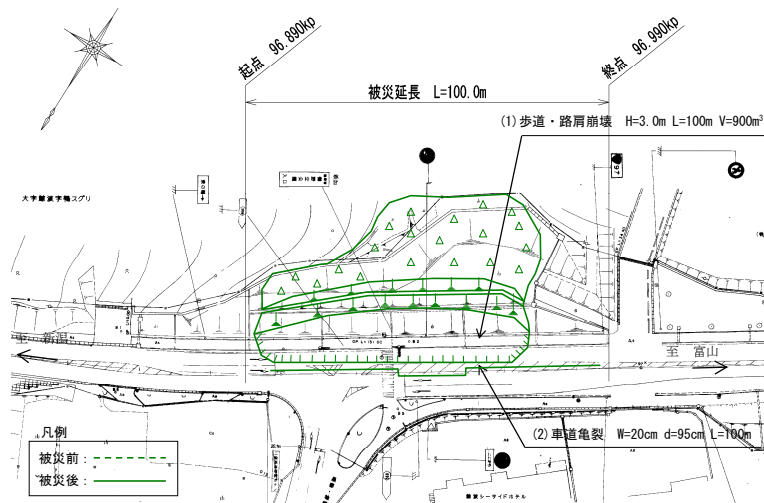


図-100 被災箇所平面図（国道8号柏崎市鯨波地先）

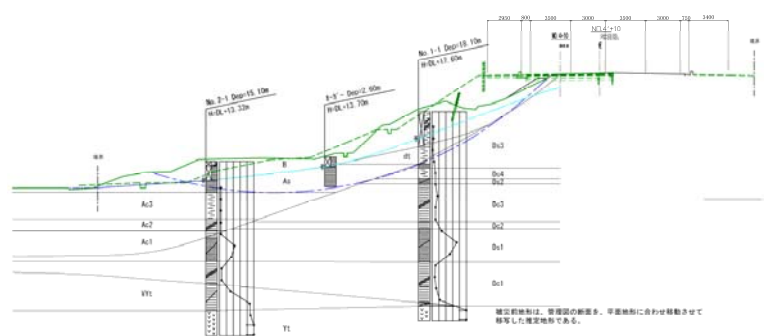


図-101 被災箇所主断面図（国道8号柏崎市鯨波地先）



(a)路面崩落状況



(b)盛土のり面変状状況

図-102 調査箇所の状況（国道8号沿い市道 柏崎市笠島）

国道8号沿い市道 柏崎市笠島地先（盛土のり面崩壊）：

国道8号102.3kp沿いの市道の片切片盛土において、路面全体を含む盛土のすべり崩壊が生じた（図-102）。当該盛土は、盛土延長10m程度、盛土高20m程度の片切片盛土であり、のり尻にはふとん籠が3段設置されている。すべり面端部は盛土のり尻のふとん籠の上部に現れており、のり尻のふとん籠は1m程度はらみ出ししているものの、崩壊はしていない。また隣接する国道8号ののり面の補強土壁、被災区間に隣接する擁壁には変状は認められなかった。

国道8号及び国道8号を挟んだ道路反対側の平地部は沢埋め盛土となっている。また国道8号と平行に北陸自動車道が通っており、そこからの路面排水を横断暗渠にて当該盛土ののり先まで流下させている。

盛土材料は粘土分を多量に含んでおり、含水比は相当高いようであった。被害の原因として、盛土は集水地形に立地しているため、盛土背面からの表面水などが浸透し、盛土内が湿潤していたことが、可能性として考えられる。

c) 道路斜面の主な被害状況

国道8号長岡市大積地区地すべり：

1) 被災状況

本地すべり地は、長岡市の市街地より西に約12km離れた柏崎市との市境に近い大積千本町地内に位置し（図-103）、本震の震央より南東に約20km離れている。地すべり斜面は信濃川水系黒川の左岸側にあり、その下部を国道8号が南西から北東に通っている。

地すべりによって、国道8号の延長約90mにわたり路面が落差約6mに崩落するとともに、地すべりの崩積土が道路に堆積した。これに伴い道路下部の路肩地山、擁壁及び護岸工が黒川の対岸まで押し出され、延長約40mの区間で河道を閉塞した。それによって黒川の上流側及び支流で湛水したが7月17日の12:00までに、河道開削により仮通水路を確保した。本地すべりによる国道8号周辺の被災状況を、図-104～109に示す。

2) 斜面周辺の地形・地質

本地すべり地は、南西－北東方向に伸びる標高100～150mのカマボコ型尾根地形の南東斜面にあたり、平面的に凸地形を呈している。地すべりが発生した南東向きの斜面は勾配が10°～20°と緩やかであるのに対し、その反対側の北西向き斜面は勾配が30°～40°の急斜面となっている。当地域の地層は南向きに傾斜していることから、地すべり発生斜面はケスタ地形の一部と考えられる。国道8号は南東側斜面に沿った線形となっており、地すべりが発生した区間では高さ約10mの切土法面となっていた。

一方、空中写真判読によると、地すべりが発生した斜面の背後には緩やかな斜面があり、その両側に沢地形がみられ、頭部付近には滑落地形や陥没帯、分離小丘等が存在し、大規模な既存地すべり地形が考えられる。すなわち、今回滑動した地すべりは、過去に発生した大規模地すべりの一部（末端部）が再滑動したと推定される（図-107）。

3) 地すべり挙動及び発生機構

地すべりブロックの滑落崖、陥没帯などの分布から全体ブロックと下部ブロックに分けられる（図-108）。全体ブロックの規模は、幅約90m、奥行き約90mで、斜面傾斜は約20°である。下部ブロックは全体ブロックの滑落崖の南西約20mに位置し、規模の小さい滑落崖とその東側に落差約5mの陥没帯を伴う。下部ブロックの規模は、幅約60m、奥行き約60mで、斜面傾斜は約20°である。

地すべり発生後、長岡国道事務所により、地震直後応急対策のため図-108のA-A測線上3地点、その後の本復旧では6地点でボーリング調査が実施された。その結果から、当地すべりの既存すべり面は図-109に示すように考えられている。それは風化岩とその下位の新鮮岩の境界付近になる。なお、下部ブロックと全体ブロックのすべり面は共有されている。すべり面の勾配は18°、深さは10m程度で、すべり末端は黒川河床左岸まで達していると考えられている。

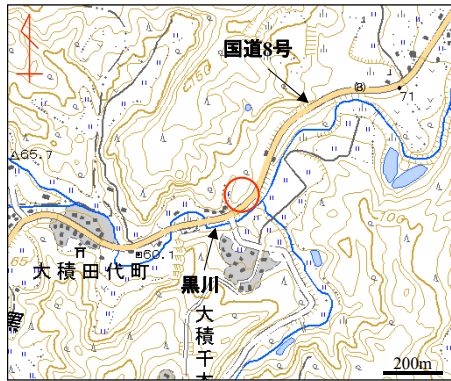


図-103 大積地すべりの位置 (電子国土より)

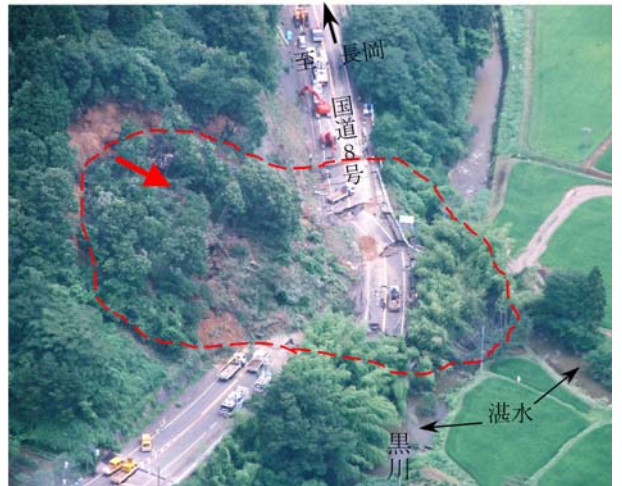


図-104 被災直後の大積地すべり

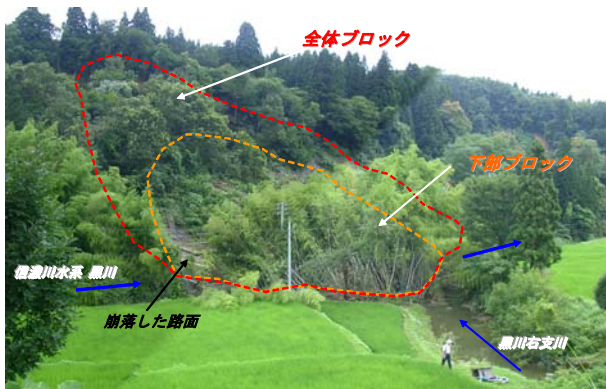


図-105 大積地すべりによる河道閉塞状況 (路肩より下部の竹林が滑動した)

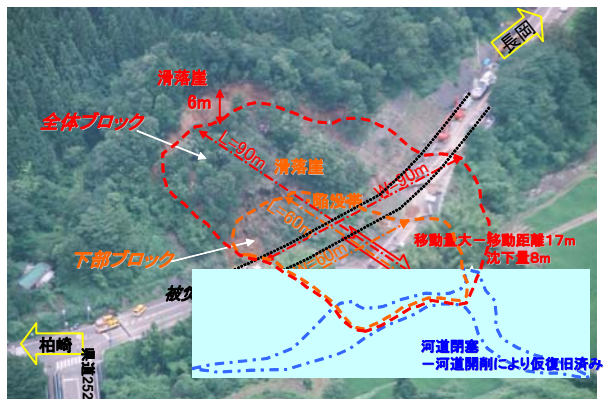


図-106 大積地すべりの全景 (ブロック界と滑動状況)

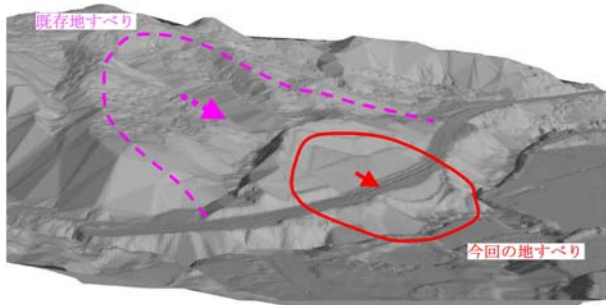


図-107 大積地すべり地及びその背後斜面の鳥瞰図 (7月24日計測DEMデータによる)



図-108 大積地すべりの平面図 (長岡国道事務所提供図面に加筆)

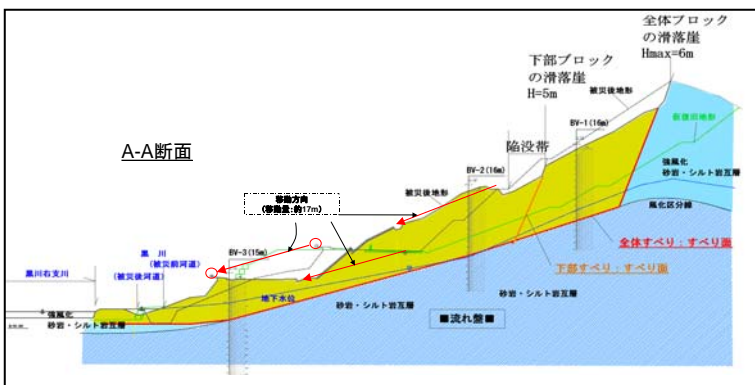


図-109 大積地すべりのA-A断面図 (長岡国道事務所提供図面に加筆)



図-110 被災位置図 (柏崎市大崎)

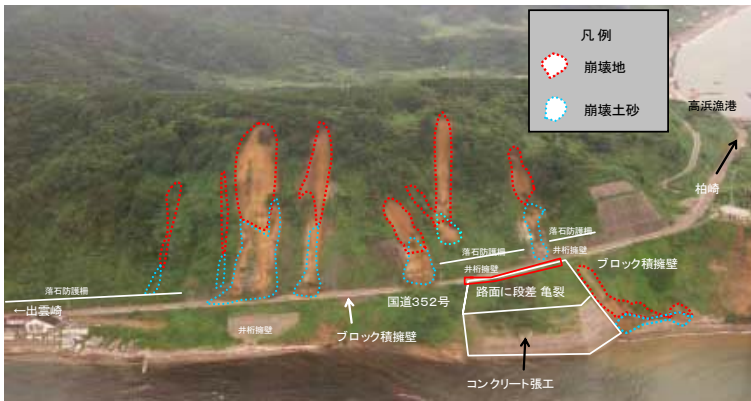


図-111 大崎崩壊の斜面全景



図-112 崩壊による国道の被災状況

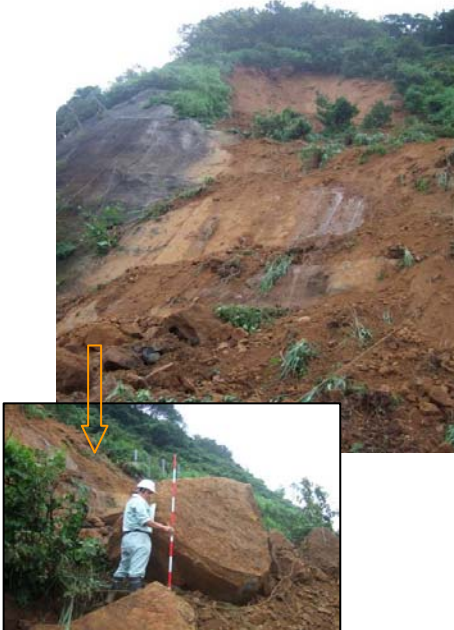


図-113 斜面崩壊と国道に到達した巨石 (φ=3m)

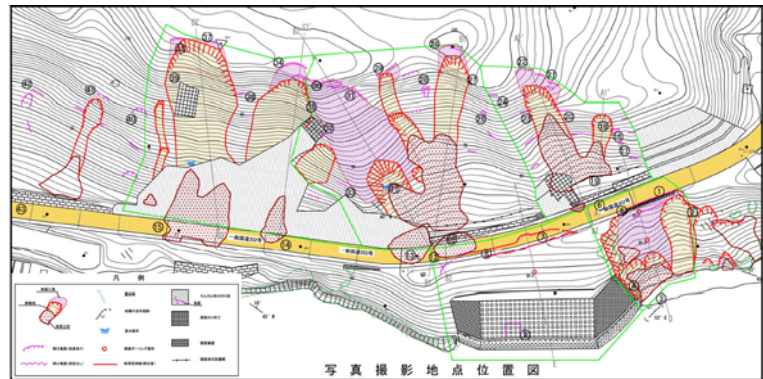


図-114 被災位置周辺の地形（柏崎地域振興局（2007）に加筆）

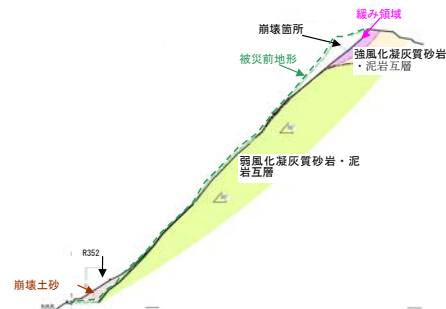


図-115 崩壊機構の模式図

国道352号柏崎市大崎地区崩壊：

1) 被災状況

本崩壊地は、柏崎市椎谷～大崎地内に位置し、観音岬の両側、北西向き斜面にあたる（図-110）。本地区は柏崎市の市街地より北東に約15km離れ、震央より南に約9kmの地点である。崩壊した斜面は、海岸沿いに走る国道352号の南東側にあり、崩壊した土砂の堆積及び道路路肩の変状によって国道が被災した。

当該斜面は国道の山側の北向き斜面（一部はのり面）であり、平均高さ約70m、平均勾配が40°の急斜面である。図-111に示すように、道路延長約100mの区間で、国道より上方の斜面や下方斜面で数箇所の崩壊が発生し、上方斜面からの崩壊土砂によって3箇所まで国道が埋塞された（図-112）。

国道より上方の斜面崩壊は道路路盤高より30m～60m上方で発生し、それぞれ幅10m～15m、長さ10m～20mと推定される。このうち3箇所の崩壊土砂は道路まで到達し堆積し、通行を遮断した。また2箇所の崩壊土砂は斜面中腹で堆積し、不安定な状態となっている。崩壊した土砂は、風化した砂質凝灰岩で、最大径は約3mに及ぶ巨礫が混じる土砂である（図-113）。国道より下方の斜面崩壊は、幅約30m、長さ約20mと推定され、国道路肩を頭部として発生している。崩壊土砂は海岸線まで到達せず、斜面中腹に堆積している。また、これより北側の路面には、最大高約0.8m、延長約60mの段差を伴った亀裂が発生している。

一方、当該区間は、従前より脆弱な地盤で、斜面对策工（モルタル吹付工、法枠工の法面保護工、落石防護網、落石防護柵などの落石防護工）が施工され、この区間では、一部海岸沿いに擁壁工による海岸侵食対策がなされている。

2) 斜面崩壊機構

当該地区は平均勾配40°の海食性の急崖地形であり、崩壊等の土砂移動の履歴を有していることから、被覆層は薄く表層付近まで岩盤が分布する斜面と考えられる。一方、標高100～110m付近にある遷急線（平坦斜面と急崖との境界）付近には、地形から考えて比較的厚い風化層が水平に分布している可能性が高い。一方、海側の路肩付近は、道路改良時に盛土されている可能性が高く、斜面と比較すると岩盤上に多量の土砂が存在する状態にあったといえる。

すなわち、今回の崩壊は、遷急線付近（図-114）の風化岩や道路路肩の盛土など、周辺と比較して脆弱な地盤が、地震動によって不安定化し、崩壊に至ったと考えられる。また、ほとんどは表層崩壊であったため、崩積土量が小さく、一部の崩積土は斜面途中で堆積した（図-115）。

(4) まとめ

本章は、前述したように、関係機関が連携して行った2007年新潟県中越沖地震の被害調査に基づき、道路施設被害の概要について取りまとめたものである。

a) 道路土工

今回の地震による道路盛土の被害の主な特徴は、以下のとおりである。

- ①直轄国道において道路盛土に生じた被害は、路面の亀裂・段差、及び、盛土のり肩の陥没であり、道路交通に大きな支障を与える盛土崩壊は生じなかった（ただし、国道8号長岡市大積地先を含む2箇所では、斜面崩壊により全面通行止め措置がとられた）。路面の亀裂・段差は地震後直ちに応急措置が講じられ、道路交通への影響は早期に解消されていた。
- ②被災のパターンは、盛土の変形に伴う縦断亀裂・段差、切り盛り境での横断亀裂・段差、カルバート上部での横断亀裂・段差、盛土のり肩の液状化に伴うのり肩の陥没等であり、既往地震で見られた被害と同様の傾向であった。
- ③現地調査で確認された路面の亀裂には、常時の補修箇所が地震により再度開口した箇所も散見された。こうした箇所では、常時の降雨等による盛土の変形が地震により助長されたものと考えられる。
- ④沢埋め盛土ではのり尻付近が湿潤して路面に亀裂が発生した箇所が散見されたが、いずれも、2007年能登半島地震の際に能登有料道路で発生したような流動性崩壊に至るほどの被害とはならなかった。この背景には、盛土の規模・のり面勾配・盛土材料・締固め状況、排水施設の設置状況、基礎地盤や地山とのなじみ等の諸条件が関与していると推測される。

b) 道路斜面

長岡市大積地区の国道8号沿いで発生した地すべりに関しては、地震時の地すべり土塊の再滑動したメカニズムを2004年新潟県中越地震における事例と対比した。その結果、大積地すべりは流れ盤構造の上シルト系互層に属する既存の大規模な地すべりの末端部が地震時に再滑動したのと考えられ、その発生機構が中越地震による代表的な再滑動型地すべりと一致すると考察した。

柏崎市大崎地区の国道352号沿いで発生した斜面崩壊に関しては、遷急線付近の風化岩や道路路肩の盛土等の周辺と比較して脆弱な地盤が、地震動によって不安定化し、崩壊に至ったものと考えられる。

2007年新潟県中越沖地震による道路施設の被害は、一部の斜面災害を除き、比較的軽微であったが、本稿が震災記録のアーカイブスの一端を担い、震災経験の継承に資することができれば幸いである。

7. 鉄道施設の被害

(1) はじめに

平成19年7月16日に発生した新潟県中越沖地震での鉄道施設の被害は、新潟県長岡市、柏崎市と刈羽村など震度6強～6弱を観測した箇所です。主に生じた。

新幹線においては大きな被害は無かったが、唯一、上越新幹線の魚沼トンネル内でコンクリート片の剥落があったため、越後湯沢～新潟間で運転見合わせ、同日21:31に運転再開となった¹⁾。

在来線の被害は、信越本線では、青海川駅構内の大規模な斜面崩壊、3トンネルでの被害（米山～笠島間の第一米山トンネルの覆工コンクリートの剥落、第二米山トンネルの側壁部の損傷、笠島～青海川間の第三笠島トンネルのひび割れ）、2橋梁の支承部の損傷（米山～笠島間の弘川橋梁、鯨波～柏崎間の鶴川橋梁）および多数の盛土、軌道、ホームなどの変状が発生した（図-116）^{38), 39)}。

また、越後線では荒浜駅のホーム盛土の崩壊、5橋梁の支承部の損傷（柏崎～東柏崎間の枇杷島第二架道橋、東柏崎～西中通間の鯖石川橋梁、礼拝～石地間の第三別山川橋梁、刈羽～西山間の第四別山川橋梁、寺泊～分水間の信濃川分水橋梁）および多数の盛土、軌道、ホームなどの変状が発生し、駅施設が被災した^{1), 2)}。

最も復旧に時間を要したのは第一米山トンネルと青海川駅構内の大規模な斜面崩壊の区間で、地震発生から59日後の9月13日に運転再開となった。

加えて、越後線柏崎駅構内では、ホーム停車中の2両編成の下り列車1両が脱線したが、乗客等にけが人はなかった。この脱線した2両編成の列車後部の位置から21m離れた箇所にJR東日本の地震計があり、強震動データが計測された³⁾。

また、米山～笠島間で貨物列車が脱線したと地震発生当初に報道されたが、脱線は生じていないことが判明し翌日訂正された¹⁾。

以下に示す被害調査報告は、土木学会第2次緊急調査団の一員として、家村浩和（京都大学大学院教授、調査団長）、C.スコソーン（京都大学大学院教授）、高橋良和（京都大学防災研究所准教授）および著者で2007年7月31日～8月3日まで実施したものである。



図-116 新潟県中越沖地震の鉄道施設の主な被害³⁹⁾

(2) 青海川駅構内の斜面崩壊

信越本線青海川駅の隣接の山肌の斜面は、幅約80m、斜面長さ約40mにわたって崩壊し、線路に延長約80m、高さ約3～4mの土砂（推定約13,000m³）が堆積した。

図-117～118は、地震発生直後に報じられたもので、図-119は、8月2日の復旧作業状況である。図-120は、高さ約4mの護岸が延長約40mにわたり崩壊した状況であり、他にホーム、駅設備が損傷を受けた。復旧は9月11日に完了し、9月13日に運転再開となった。



図-117 青海川駅構内の斜面崩壊

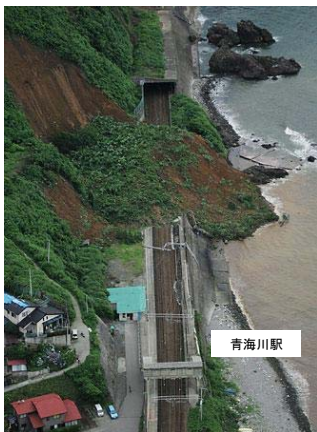


図-118 斜面崩壊



図-119 復旧状況



図-120 青海川駅構内の護岸の損傷

(3) 荒浜駅のホーム盛土の崩壊

越後線の荒浜駅では、レール側に布設されたホーム擁壁が倒壊し、延長約100mにわたりホーム盛土が図-121のように崩壊した。レール面よりホームに設置されていた笠石（コンクリート板）が下に位置している。駅駐車場においては、図-122のように液状化による噴砂の跡が見られ、その影響で電柱が傾斜していたと考えられる。また、荒浜駅から刈羽駅に至る県道黒部柏崎線沿いでは、数多くの液状化による噴砂の跡や、マンホールの浮き上がりが見られ、倒壊家屋も多く見られた。

軟弱地盤上に構築されたホーム盛土は液状化の影響もあり、図-123のように盛土の基底破壊で最大1.0m程度沈下し、復旧は図-124のようにホーム端部にすりつくようにホーム盛土が再構築されていた。

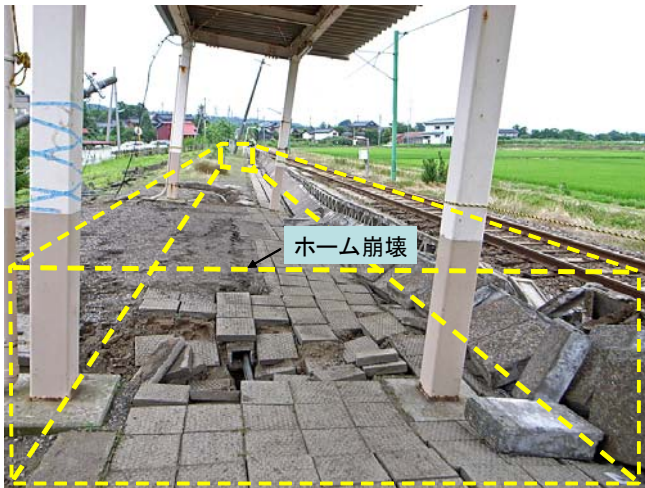


図-121 荒浜駅のホーム盛土崩壊



図-122 荒浜駅駐車場の噴砂

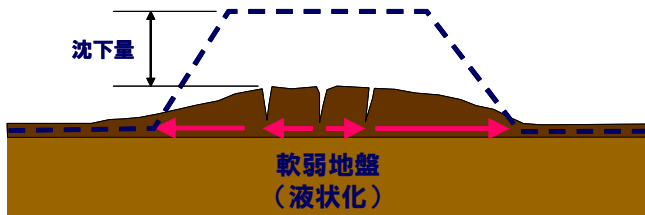


図-123 盛土の崩壊



図-124 荒浜駅のホーム復旧



図-125 鯖石川橋梁の損傷

(4) 鯖石川橋梁の損傷

信越本線の東柏崎～西中通間の鯖石川橋梁では、図-125のように損傷し、橋台パラペットとの橋桁端部が接触、桁遊間が無くなっている。

また、橋台パラペットには亀裂が生じ、橋台ウイング部も破損しており、双方補修がなされていた。

橋桁は、リベット製の下路プレートガーダーの単純桁で、支承は鋼製の線支承となっていて、橋桁の支承部の鉛直方向の補剛材の補修、支承下面の樹脂注入の補修がなされていた。

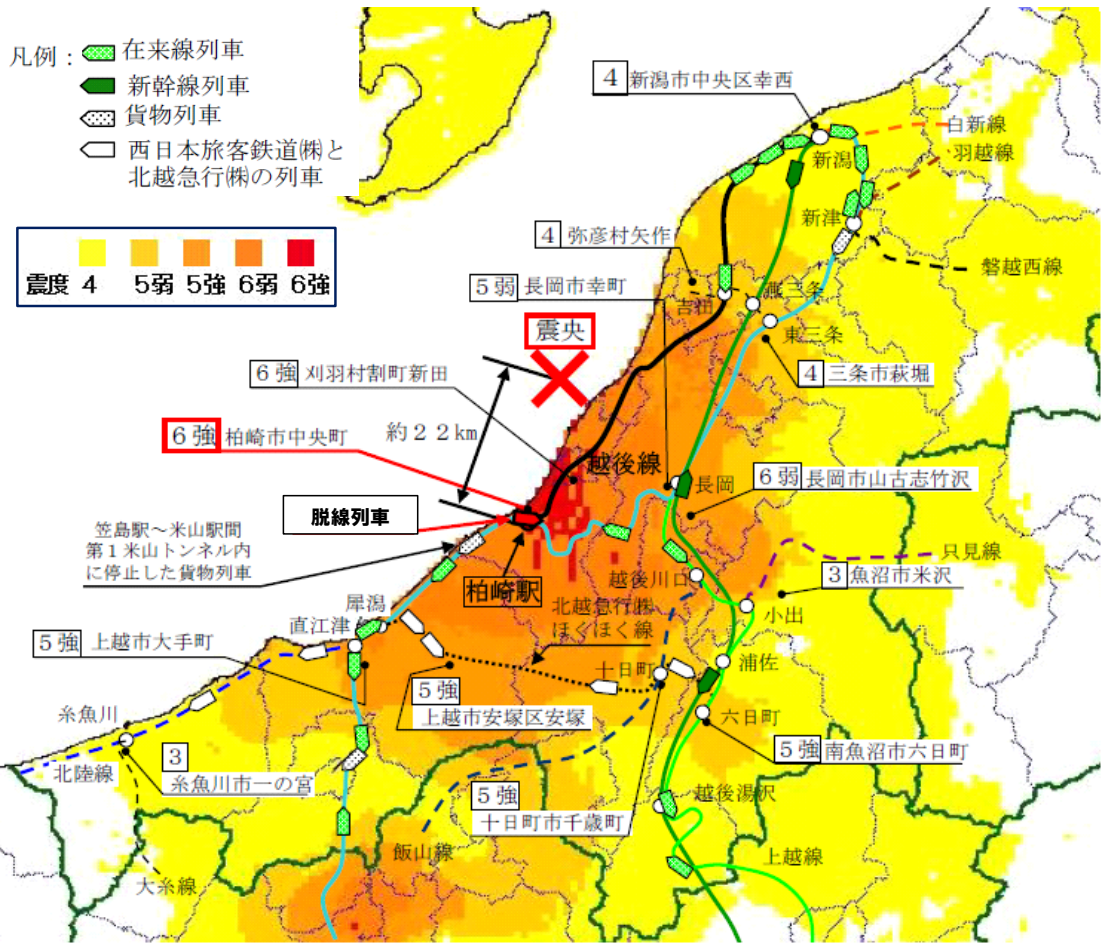


図-126 地震時の列車位置

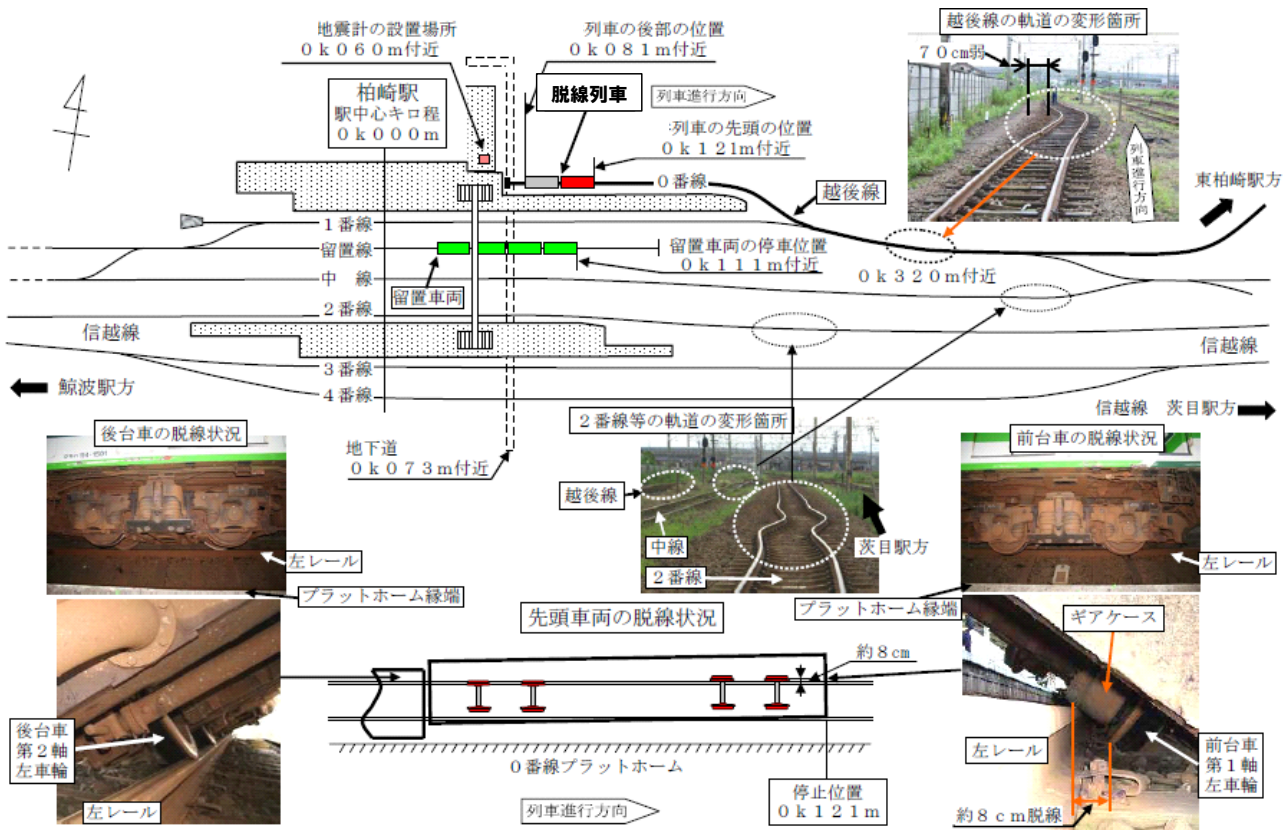


図-127 柏崎駅脱線列車位置

(5) 柏崎駅構内での脱線

a) 脱線の概要

柏崎駅構内0番線に停車中の越後線下り141M列車が脱線した。この列車は10時16分に出発予定もので、2両編成の先頭車両が大きく傾き、全4軸が脱線した。

乗客は後部車両に6名、先頭車両に2名乗車、乗務員は2名乗車していたが、死傷者は無かった⁴⁰⁾。

b) 脱線車両の位置および損傷状況

脱線車両の位置関係等を図-126、図-127に示す。0番線に停車中で軌道は直線、勾配は無かった。

また、編成長40mで、先頭車両が約40°傾き脱線（図-128、図-129）、後部車両は脱線せず、連結器の胴受けが曲損しているものの、外れていなかった。

脱線車両は、プラットホームに接触し、2段の線状の塗装が剥落した跡があり、強震によりホームに強く衝突したものと考えられる（図-130、131）。また、脱線しなかった後部車両にも塗装の剥落痕があるものの、脱線車両と比べ細く、プラットホームに接触してはいるが、その衝突力は小さいものと考えられる。

c) 地震動

脱線編成列車の後部から21m後方に地震計が設置されており、これだけ脱線車両の近傍で強震データが得られた事例は無く、その波形を図-132に示す⁴¹⁾。震央からの距離は22.2kmで、最大加速度はNS成分316.2Gal、東西方向313.6Gal、また、水平変位の軌跡を図-133に示す。ほぼ脱線方向である北西-南東方向が最大を示しており、双方30cm以上の変位となっている。

d) 脱線車両

脱線の有無が生じた列車の相違は、外観ではパンタグラフの有無、乗客・乗務員数程度で、車両重量比では大差無い。

本列車は国鉄時代に製造され、1970年代末～1980年はじめ頃に導入され、その後、越後線が1983年～1984年に電化開業用のために運転台取付けや耐寒耐雪装備など改造改良されたものとされている。脱線の有無の一因としては、長期供用期間内にメンテナンスされ、台車バネ値が相違となったことが挙げられる。

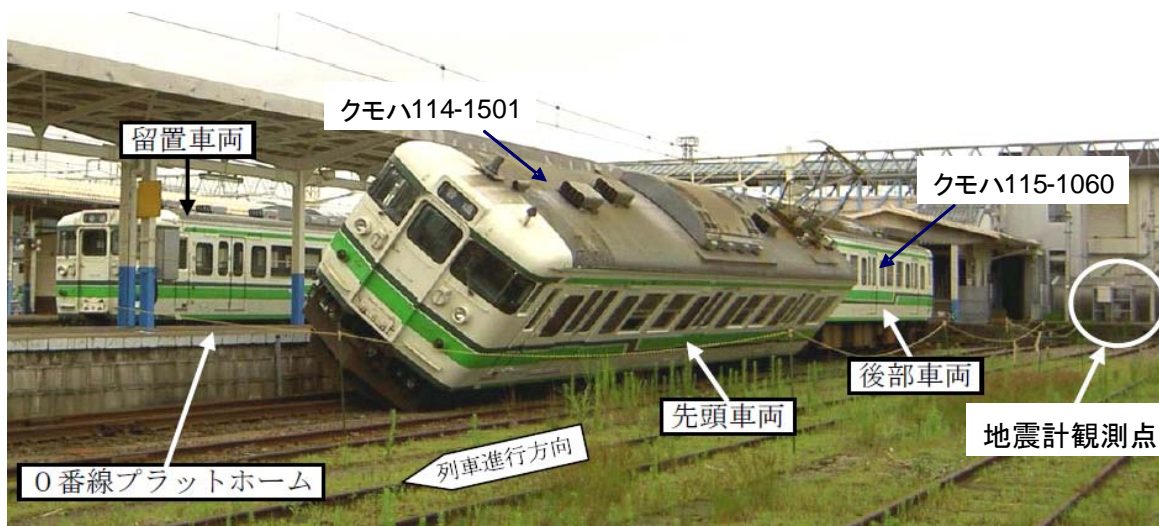


図-128 柏崎駅構内の脱線

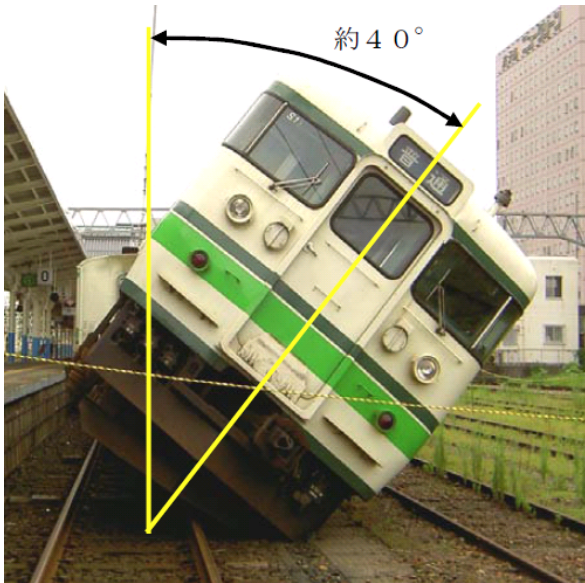


図-129 脱線列車（正面）



図-130 ホームとの衝突痕

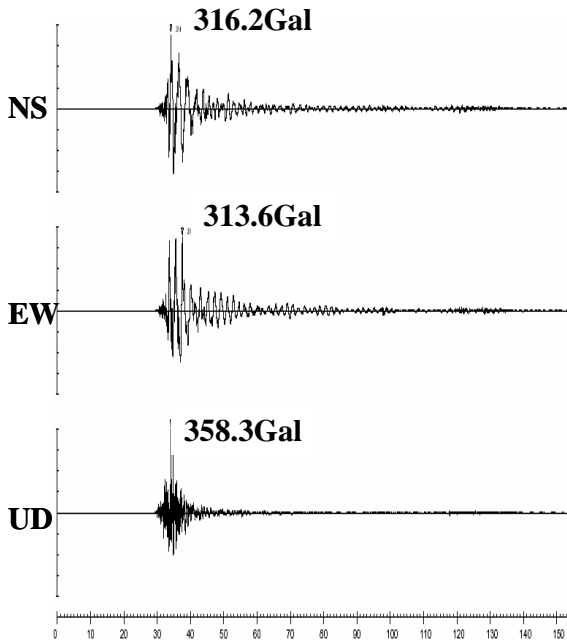


図-132 柏崎駅構内の計測波形



図-131 ホームとの衝突痕（2本）

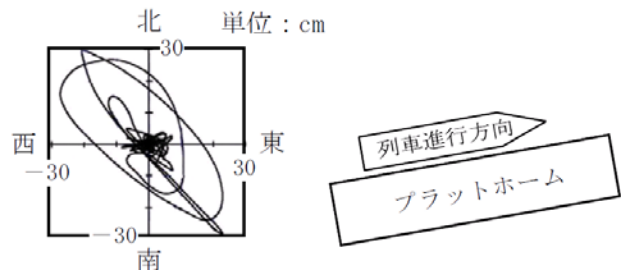


図-133 柏崎駅構内の計測波形（水平変位の軌跡）

(6) あとがき

新潟県中越沖地震の被害は、柏崎刈羽原子力発電所の被災をはじめ、甚大な被害が生じた。鉄道施設としては、青海川駅構内の大規模な斜面崩壊、第一米山トンネルの覆工コンクリートの剥落などの被害が生じ、また柏崎駅では停車中の2両編成の下り列車1両がホームに衝突し脱線した。

列車脱線としては、脱線車両の極めて近傍で強震動データが得られたもので、類を見ない貴重ものである。なお、今回の調査においては、短時間であったこともあり、間違った記述がある可能性があることをお断りしたい。

8 宅地の被害

(1) 宅地被害の概要

2007年7月16日に新潟県上中越沖の深さ10kmでマグニチュード(M_{JMA})6.8の新潟県中越沖地震が発生し、新潟県柏崎市西山町、柏崎市中央町、刈羽村、長岡市小国町と長野県飯綱町芋川で最大震度6強を観測し、多くの建物・宅地被害が生じた。

この地震により生じた、地すべり、盛土造成地の滑動、液状化現象等により宅地地盤の沈下、隆起、段差、亀裂等が、市街地や市街地周辺の造成団地を中心に被害が多く発生した。

柏崎市では、震災直後に実施した「被災宅地危険度判定調査」1398箇所と市民より通報のあった箇所を調査し、宅地・がけ地等の被災の調査箇所は1794箇所に及んだ。そのうち、「被害はあったが、防災上問題なしの小被害は856箇所」、「放置すると被害が拡大あるいは早急に対策が必要な箇所は938箇所」となった(図-134)。

a) 宅地擁壁等の被害

市内全域にわたり、宅地擁壁の被害が及んでいる。特に造成団地において、盛土底面部を滑り面にして、盛土部分が旧地形に沿って流動し崩落する多くの現象が見受けられた。

図-135は、市内近郊部の昭和40年台の造成団地で、のり面をブロックで覆った上に上部建築ブロックを積み重ねたもので、地震動により滑動し亀裂が生じている。上部建築ブロックまで盛土されており地震動に耐えられない状況であった。図-136は、市街地の西本町地内の道路法面のL型擁壁が地震動により倒壊したもので、それぞれの擁壁が独立していたためと考えられる。図-137は、馬の背のような地形を現場打ち擁壁で広げた宅地地盤(写真の左側)が滑動したことにより傾斜したものである。鉄筋は見受けられない。図-138は、造成団地の盛土部分での滑動崩落で、写真の奥は完全に倒壊している。図-139は、家屋裏側の斜面が滑動崩落により、移動しそれに伴い家屋に影響を及ぼしている。図-140は、馬の背状の土地が滑動したもので、中ほどのU型側溝まで土地を造成したものである。

b) 宅地地盤調査の実施

山本団地など、地域全体で地盤変動が生じた住宅団地においては、柏崎市で地盤変動の原因調査並びにその解析をするため、ボーリング調査が実施された。柏崎市で独自で調査した箇所を図-134に示す。

これは、「地域全域で変動していることから、個人でなく地域全域で地盤を復旧する必要があること」「現有地で再建できなければ、今まで築いてきた地域コミュニティが崩壊する恐れがあること」「放置されたままでは二次災害の恐れがあること」のため、『番神二丁目』『西本町・西港町』『山本団地』『西山町中央台団地』『朝日ヶ丘団地』『茨目地区』『御山団地』の7箇所については、復旧に向けた方策の検討や復旧方法を地域の住民に提示した。

c) 宅地被害の復旧状況

図-141には、柏崎市内の「災害関連地域防災がけ崩れ対策事業」実施箇所を示す。この事業は、放置すれば人家等に著しい被害を及ぼす箇所、国の補助を受け公共事業として復旧できる柏崎市が工事を実施するものである。通常の採択基準である自然斜面でがけ高さ5m以上の23箇所に加え、いずれも地盤災害であることから、国に強く採択となるよう要望した結果、がけ崩れ対策事業の中越大震災と同様の特例措置である宅地擁壁等の人工斜面の崩壊を含むがけ高3m以上の21箇所に加え、44箇所が事業対象となった。ちなみに、この特例措置は、平成7年兵庫県南部地震、平成13年芸予地震、平成16年新潟県中越地震に続き4例目の特例措置である。

図-141には、新潟県より補助を受け保全家屋1戸以上の比較的被害規模の少ない「小規模急傾斜地崩壊対策防止事業」実施箇所も併せて示す。これには、自然斜面の通常5箇所に加え、人工斜面のがけ高さ3m以上の98箇所を加え103箇所が事業対象となった。

対策が必要な938箇所のうち、放置することにより周辺住宅や生活道路などの公共施設にも被害が拡大する恐れがあり、がけ高さ3m以上の宅地擁壁などの人工擁壁の復旧を公的支援できるのは160箇所、これ以外の778箇所は、がけ高さ3m以下のもので公的支援できないため、被災宅地の復旧を支援する新潟県中越沖地震復興基金により、住民へは、一戸であれば第1次メニュー「被災宅地復旧工事」、二戸以上の者が共同で行う第2次メニュー「宅地地盤災害復旧支援」を活用するよう促された。

宅地地盤調査ヶ所表

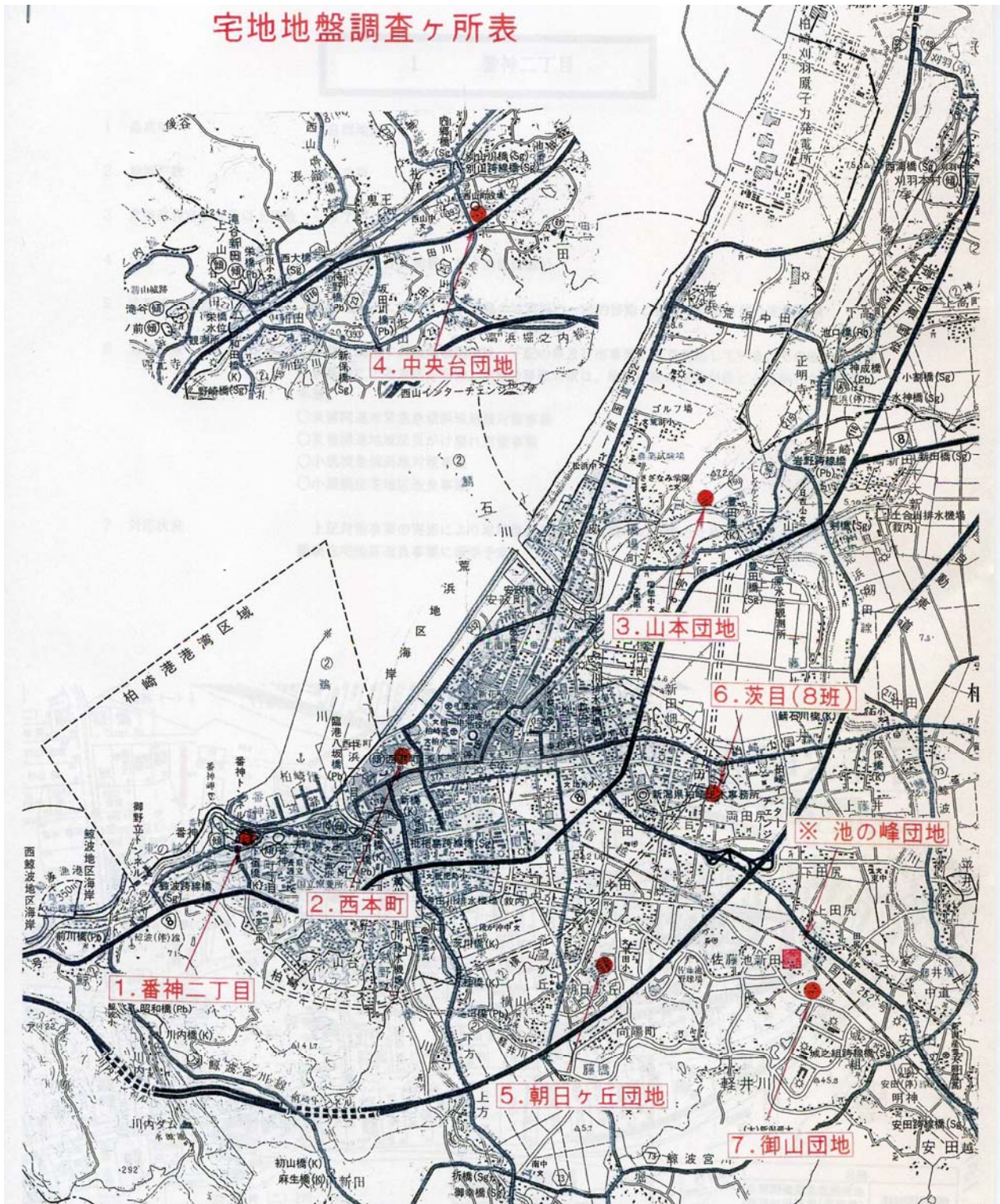


図-134 宅地地盤調査箇所 (柏崎市内)

表- 4 宅地地盤調査結果（柏崎市内）

No.	箇所名	造成年	宅地戸数	危険度判定要注意	地盤の土質等の状況	家屋の主な被災原因	調査結果	対応状況
1	番神二丁目	自然地形	102	97	ややゆるい砂質地盤	傾斜基盤上の堆積する砂地盤が地震時の一時的移動と斜面の崩壊に伴う宅地地盤破壊	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、県及び市事業で対応。その他の箇所は復興基金による対応。宅盤の移動は、地震以降移動していなため対策は不要。	がけ崩れ対策以外に、住環境の改善を図るため「小規模住宅地区改良事業」の導入。
2	西本町・西港町	自然地形	61	50	ややゆるい砂質地盤	斜面の崩壊による宅地地盤破壊と崩落土の家屋への直撃	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、県及び市事業で対応。その他の箇所は復興基金による対応。西港町の地下水位は1mだが、液状化の発生はほとんど見られず、地盤対策の必要性は深刻な状況でない。	がけ崩れ対策事業で復旧を図る。宅盤の地盤改良は個々での対応。
3	山本団地	昭和四五年	129	49	地下水位の高い砂質地盤	斜面の崩壊と液状化による宅盤破壊	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、県事業で対応。宅盤は地下水の低下を図る対策の必要がある。	地下水低下のため「大規模盛土造成地滑動崩落防止事業」の導入。
4	西山町中央台団地	昭和五八年	56	24	盛土部は軟らかい粘土質地盤	斜面の崩壊による宅盤破壊	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、県及び市事業で対応。その他の箇所は復興基金による対応。盛土部の地盤はやや軟弱だが、この対策は復興基金による対応。	地盤改良等は個々での対応。
5	朝日ヶ丘団地	昭和四五年	130	81	やや軟らかい粘性土質地盤	傾斜地盤上の盛土された箇所地震時の一時的移動と斜面の崩壊による宅盤破壊	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、県及び市事業で対応。その他の箇所は復興基金による対応。地盤の移動は一時的なものであり、地震後も移動し続ける可能性は低い。	仮に対策を講じるとすれば、抑止杭により工法が効果的。
6	茨目団地	昭和四一年	30	18	軟らかい粘性土質地盤上に盛土された地盤	軟弱な基盤地盤に盛土された箇所による斜面崩壊と盛土部の一時的移動による宅盤破壊	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、市事業で対応。その他の箇所は復興基金による対応。地盤の移動は一時的なものであるが、強化対策を実施するなら復興基金の活用が可能。	復興基金の対応。
7	御山団地	昭和五一年	51	15	軟らかい粘土質地盤	斜面の崩壊と盛土部地震時の一時的移動による宅盤破壊	採択要件を満たす斜面崩壊箇所は、市事業で対応。その他の箇所は復興基金による対応。地盤の移動は一時的なものであるが、強化対策を実施するなら復興基金の活用が可能。	地盤改良等は個々での対応。



図-135 石積擁壁の亀裂と建築ブロックの倒壊
(朝日ヶ丘団地)



図-136 大型ブロック擁壁倒壊 (西本町1丁目)



図-137 擁壁の倒壊 (上部は木製の扉)
(中浜1丁目)



図-138 盛土部分の滑動による擁壁の転倒・倒壊 (茨目団地)



図-139 盛土部分の滑動崩落により家屋の倒壊
(西山町中央台地区)



図-140 斜面天端の盛土部分の滑動 (東の輪地区)

(2) 被災宅地危険度判定士の被害分析⁴²⁾

a) 被災宅地危険度判定調査の概要

被災宅地危険度判定士の調査活動:

この被害の発生状況を把握し、二次災害を軽減、防止し住民の安全の確保を図ることを目的に、翌7月17日～25日の9日間をかけて図-142に示すように新潟県職員97名、新潟県内市町村職員125名、民間26名を含めた83班248名の被災宅地危険度判定士により、柏崎市1,398件、刈羽村93件、出雲崎町489件、上越市102件の合計2,082件の被災宅地危険度判定が行われた。

被災宅地の調査は、宅地擁壁、宅地地盤、のり面・自然斜面毎に、「被災宅地危険度判定士 危険度判定ファイル」⁴³⁾の擁壁・のり面等被害状況調査・危険度判定票を用いて行われ、図-143のように、各宅地毎に判定結果を表示している。

図-144は、新潟県中越沖地震における被災宅地危険度判定士の調査活動人数の推移を示したものである。また、図-145は、調査活動事務処理の流れを示している。この図から、新潟県の都市政策課が中心となって、県災害対策本部と被災建築物と被災宅地との調整を図り、建築住宅課が中心となっている被災建築物応急危険度判定士との情報交換をしながら被災した管内市町村からの要請を受けて判定士を派遣し、判定調査結果データの提供や相談・助言に至るまで被災宅地所有者に適切な避難指示・勧告を行っていることがわかる。

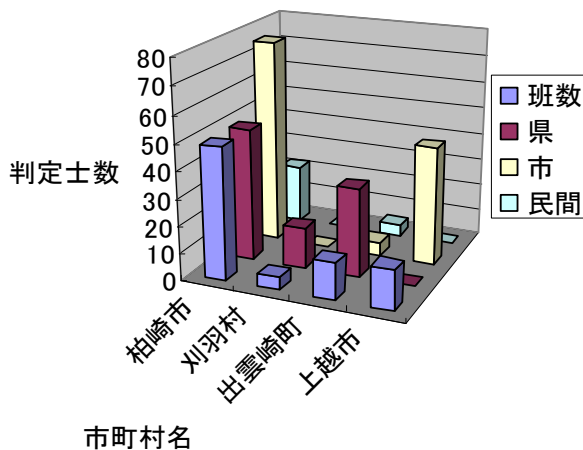


図-142 市町村毎の判定士数



図-143 宅地擁壁の被災度判定状況 (判定結果ステッカー表示)

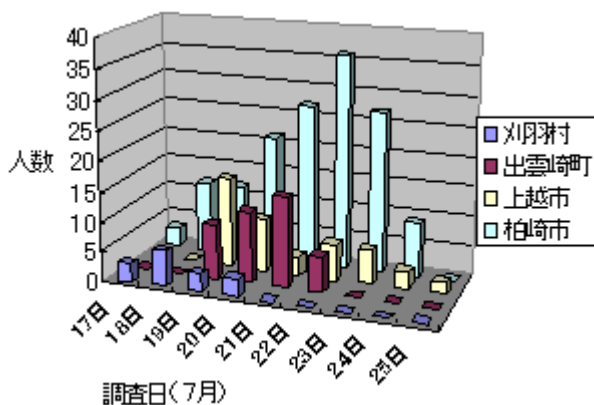


図-144 判定士の調査活動の推移

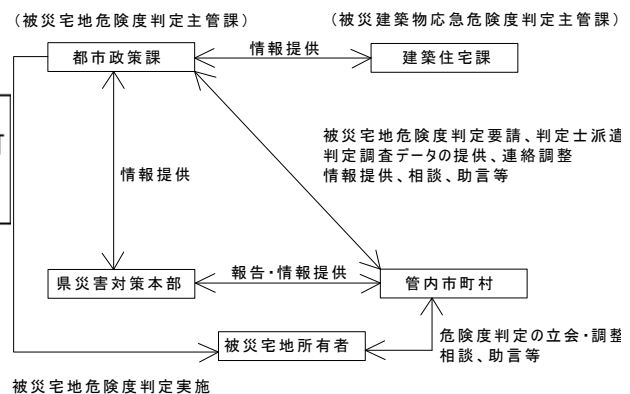


図-145 調査事務処理の流れ

宅地被害調査件数:

被害調査件数は、新潟県都市政策課の最終報告において表-5に示すように危険（ステッカーの色：赤）419件、要注意（黄）307件、調査済（青）1,356件の合計2,082件である。調査方法としては、宅地の宅地擁壁、宅地地盤、のり面・自然斜面等の被害状況判定を「被災宅地危険度判定士 危険度判定ファイル」²⁾の「擁壁・のり面等被害状況調査・危険度判定票」を用いて被害が大きい場所から順番に行った。

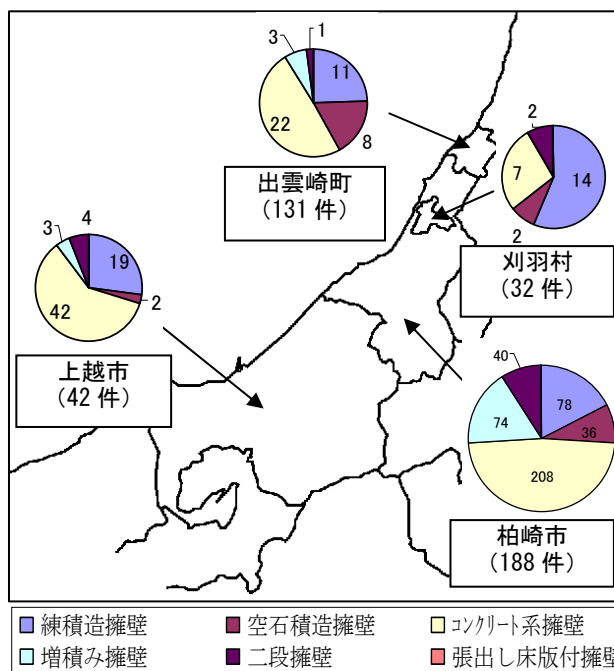
調査結果は、1件分の調査票に複数回答している調査票を複数件数として集計しているため、調査結果を整理するにあたっては、調査票1部を1件として扱った。調査票の作成は、講習会を受けた各判定士が行っている。しかし、既存不適格な建築ブロックを擁壁として用いているものをL（逆T）型擁壁として計上しているために、被災した擁壁のうちコンクリート系が約半数を占める結果となっていることがわかった。そこで、調査票に添付している写真から著者が精査し直したものをを用いた。

表-5 被害調査件数

市町村名	危険 (赤)	要注意 (黄)	調査済 (青)	調査件 総数
柏崎市	344	198	856	1,398
刈羽村	27	21	45	93
出雲崎町	22	51	416	489
上越市	26	37	39	102
合計	419	307	1,356	2,082

b) 宅地擁壁の被害分析

宅地擁壁の被害は、図-146に示すように刈羽村25件、出雲崎町45件、柏崎市436件、上越市70件の総数576件について集計を行った。



注) グラフ中の数値は、宅地擁壁の被災件数を示す。

図-146 宅地擁壁の被害状況

図-146は、各被災市町村での被害件数を円グラフで示し、それぞれの宅地擁壁の種類を区分したもので、被害のほとんどがコンクリート系擁壁、練石積造擁壁、増積擁壁となっていることがわかる。

空石積造擁壁や建築ブロックを擁壁として用いている既存不適格擁壁のものは、全数（絶対数）が少なくても被害程度が傾斜・倒壊に至るなど被害発生率が高い。一方、L型擁壁や練石積造擁壁の場合は、全数が多

いのに対し、他の形式の擁壁と比較すると被害発生率が少ない傾向にある。また、柏崎市では、増積擁壁や二段擁壁の既存不適格擁壁がある場所の場合は、L型擁壁・練石積造擁壁の一般の形式に比べると全数が少なくても被害発生率が高くなっている。

宅地擁壁の種類：

被災した宅地擁壁の種類は、図-147に示すようにコンクリート系擁壁が49%と約半数を占め、練石積造擁壁21%、増積擁壁14%、空石積造擁壁8%、二段擁壁8%である。コンクリート系擁壁の被害は、図-148のように細分類すると、建築ブロックが47%を占め、L（逆T）型31%、重力式11%となっている。さらに、その内、L（逆T）型の内訳は現場打ち64%、プレキャスト13%と、現場打ちが非常に多い結果となった。本来、建築ブロックを用いた擁壁は背後に土砂を盛ったもので土圧や地震動に耐えられない既存不適格のものであるが、新潟県内では非常に多く用いられている。練石積造擁壁の被害は、コンクリートブロックが73%と非常に多く、間知石が25%と少なくなっている。空石積造擁壁の被害は、玉石積が37%と多く、くずれ石積15%、間知石13%、その他37%となっている。その他は、大谷石積をただ積み上げたものを建築ブロックと同様に擁壁として用いているものが多く、既存不適格のものである。増積擁壁の被害は、増積部と擁壁部の両方が70%と非常に多く、増積部16%、擁壁部14%となった。二段擁壁の被害は、上部・下部の両方が79%と非常に多く、上部の擁壁15%、下部の擁壁6%となった。

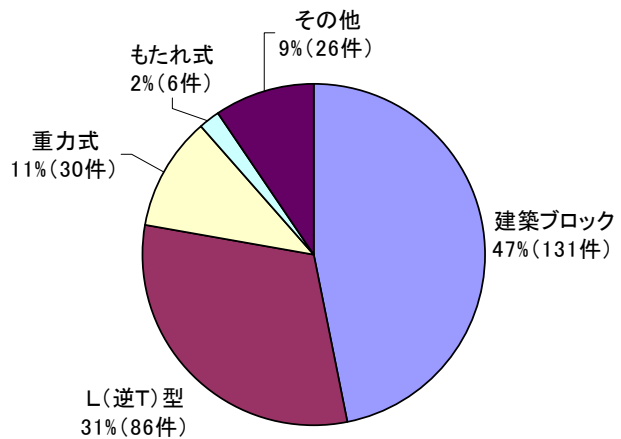
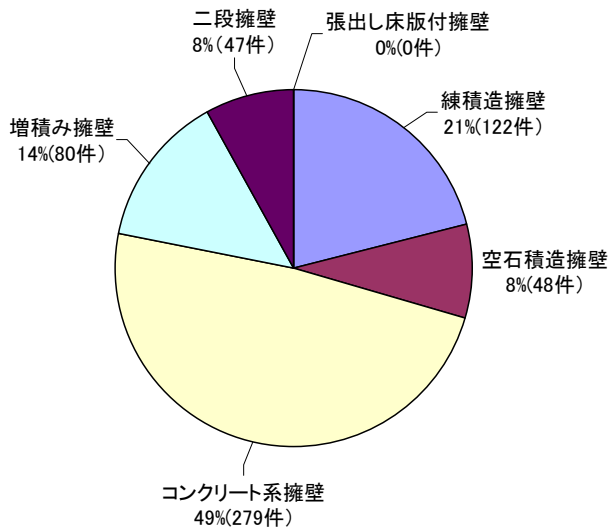


図-147 被災擁壁の種類別分類 (総件数 576 件)

図-148 コンクリート系擁壁 (279 件) の種類別細分類

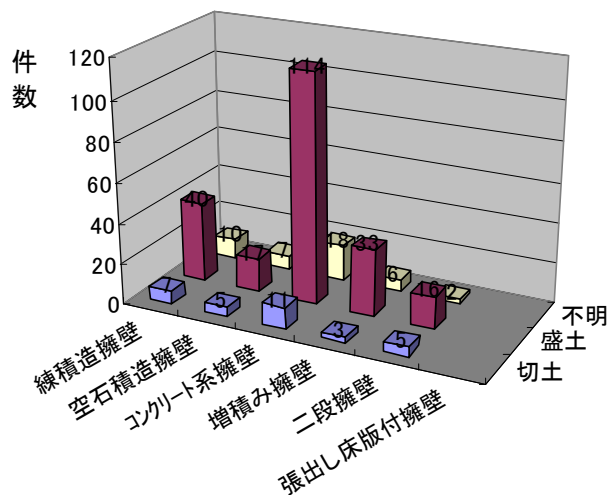


図-149 宅地擁壁の種類と裏込め地盤の関係

宅地擁壁裏込め地盤の種類：

宅地擁壁裏込め地盤の種類は、308件の内、不明箇所16% (49件)を除いて切土地盤が9% (27件)しかなく、残り75% (232件)が盛土地盤となり地盤の影響を強く受けていることがわかる。図-149は、宅地擁壁裏込め

地盤の種類と被災した宅地擁壁の種類の関係を示したものである。この図から、盛土地盤上のコンクリート系擁壁、練石積造擁壁、増積擁壁の順に被害を受けていることがわかる。コンクリート系擁壁の被害が大きい理由としては、建築ブロックが多いことの他にL型擁壁の場合でも裏込め地盤が盛土のために土圧を受け易い構造であることが考えられる。

宅地擁壁の水抜き孔の状況：

宅地擁壁の水抜き孔の集計は、全数576件の内、水抜き孔の状況の記載があったもの204件を対象として分類した。宅地擁壁は、図-150に示すように水抜き孔を設置しているものが35%しかなく、残り65%が設置していないため、宅地擁壁背面の地下水位が高く崩壊に影響を及ぼしたことが考えられる。また、水抜き孔を設置しているものが少ないのは、コンクリート系擁壁の建築ブロックが23%以上、空石積造擁壁が8%であり、全体の3割を越えているために多くなったと考えられる。しかし、水抜き孔を設置しているものでも本来1ヶ所/3m²にあるものが、調査の添付写真から分析すると、径が小さいものや本数が少ないものが多く見られる。

図-151は、宅地擁壁の水抜き孔の状況と被災した宅地擁壁の種類の関係を示したものである。この図から、空石積造擁壁には目地間から水が抜けるために水抜き孔がなく、コンクリート系擁壁、増積擁壁、練石積造擁壁の順に被害を受けていることがわかる。コンクリート系擁壁の被害が大きい理由としては建築ブロックが多い他にL型擁壁の場合でも裏込め地盤の盛土が多く、さらに水圧を受け易い構造であることが考えられる。

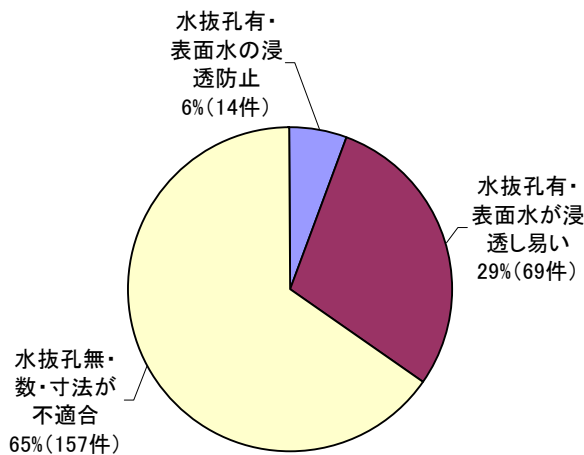


図-150 宅地擁壁の水抜き孔の状況 (240 件)

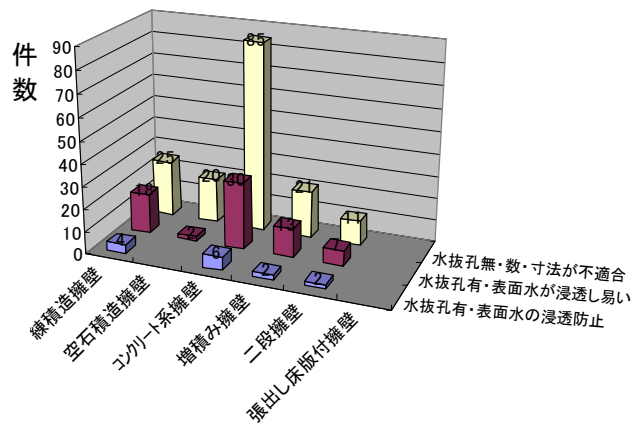


図-151 宅地擁壁の種類と水抜き孔の状況の関係

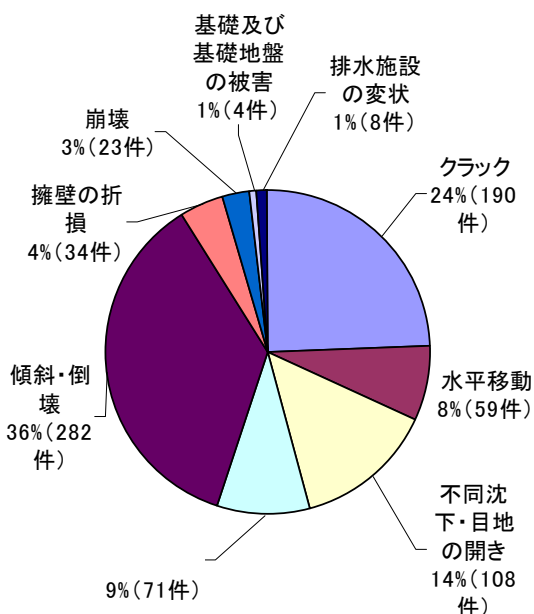


図-152 宅地擁壁被害の分類 (779 件)

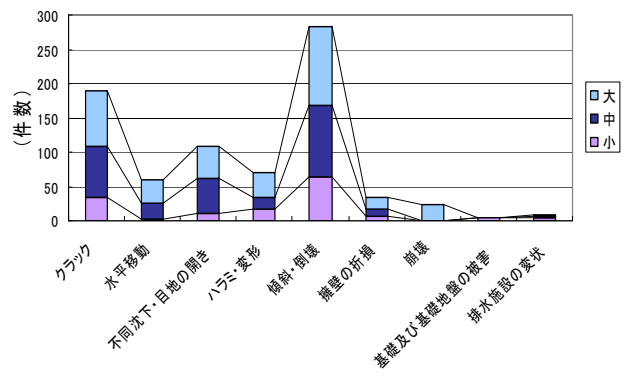


図-153 宅地擁壁被害の種類と被害程度(779 件)

擁壁被害の分析:

宅地擁壁の被害の集計は、全数576件に203件の重複項目を加えた779件を母数として分類した。その結果は、図-152に示すように傾斜・倒壊36%が多く、クラック24%、はらみ・変形9%となっている。図-153では、クラック、水平移動でも中被害、大被害となっていることから非常にもろい構造となっていることがわかる。傾斜・倒壊の被害が多い理由としては、図-154に示すように水抜き孔の無いコンクリート系擁壁の建築ブロックが23%、空石積造擁壁8%と全体の3割を越え、さらに増積擁壁14%、二段擁壁8%を加えると、既存不適格な擁壁が計53%となり、宅地開発基準に基づいた擁壁に比べて土圧や、地震力に耐えられない変形しやすい構造であるためと考えられる。図-154は、宅地擁壁の水抜き孔と被害程度の関係を示したものである。この図から、水抜き孔が無い場合は傾斜・倒壊など大きな被害が生じていることがわかる。

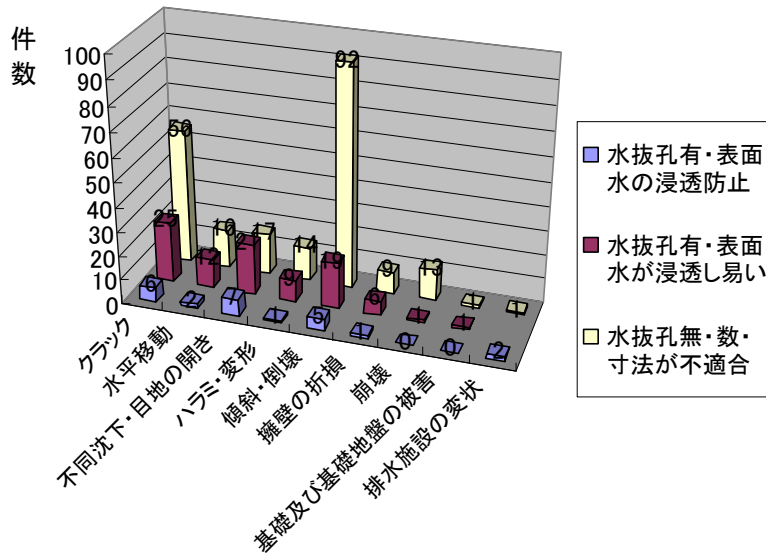
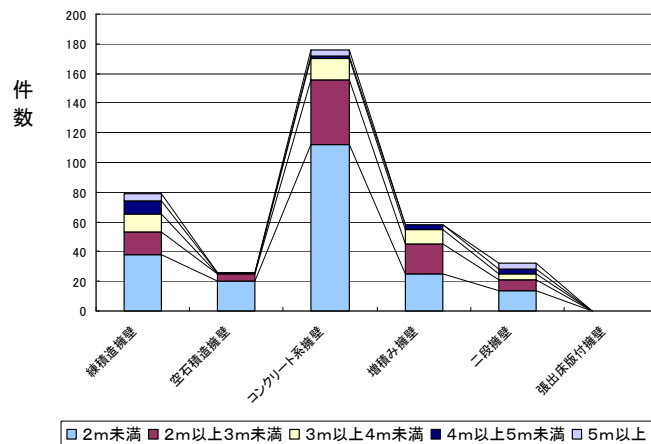


図-154 宅地擁壁の被害程度と水抜き孔の状況の関係

宅地擁壁種類毎の高さ別分類:

宅地擁壁の高さは、図-155に示すように全体的に2m未満の低い擁壁において被害を受けているものが多く、コンクリート系擁壁で61%、空石積造擁壁で67%を占めている。

この2m未満のコンクリート系擁壁の被害が多い理由としては、建築ブロックを擁壁しているものが被害全体の23%を占めていること、宅地造成等規制法で構造計算が義務づけられていないために強度的に弱い断面構造のものが多かったことが考えられる。また、空石積造擁壁では地震力に耐えられない構造であるために、擁壁の高さ2m未満の被害率が他の種類と比べて多いことがわかる。



注) この集計は、調査票に被害擁壁の高さを記入している件数を集計した結果を示すため、被害件数と異なる。

図-155 宅地擁壁の種類毎の高さ別分類

他の大地震との比較:

表-6 および図-156 に、新潟県中越沖地震 576 件の宅地擁壁の被害と兵庫県南部地震 1,085 件と中・大被害のみを対象とした新潟県中越地震 561 件の宅地擁壁被害の分析した結果を対比した。その結果、以下のような違いがあることが明らかとなった。ただし、他地震被害との比較に関しては、地震被害地域全体の母集団（被災+被災無し）が明確でないために、ここではあくまでも被災宅地判定士が判定したものの被害全体を母集団としており、実際の母集団と異なる。

新潟県中越沖地震では、表-6 に示すようにコンクリート系擁壁の被害が 49%と、兵庫県南部地震の 15%、新潟県中越地震の 32%に比べて非常に多くなった。この理由は、図-147 に示したようにコンクリート系擁壁のうち、建築ブロックの背後に土を盛った既存不適格な擁壁が 47%を占めているためである。練積造擁壁の被害は、兵庫県南部地震 37%と新潟県中越地震 38%がほぼ同様であるのに対し、21%と少なくなっている。

空石積造擁壁の被害は、新潟県中越地震が 20%と多いのに対し、兵庫県南部地震 6%と新潟県中越沖地震 8%とほぼ同様である。増積擁壁の被害は、兵庫県南部地震が 28%と非常に多く、新潟県中越地震が 3%と極端に少なく、新潟県中越沖地震では 14%とその中間である。二段擁壁の被害は、兵庫県南部地震 6%、新潟県中越地震 7%、新潟県中越沖地震 8%とほぼ同様である。張り出し床版付擁壁の被害は、兵庫県南部地震 8%、新潟県中越地震では 1 件のみである。

また、被災宅地擁壁の変状項目の分類は図-157 に示すように、クラックの被害は新潟県中越沖地震 24%、新潟県中越地震 22%と同様であるが、兵庫県南部地震 64%と非常に多くなっている。傾斜・倒壊の被害は、兵庫県南部地震 5%、新潟県中越地震 27%に比べて新潟県中越沖地震 36%と非常に多くなっている。兵庫県南部地震ではコンクリート系擁壁の被害は液状化等による滑動現象が主体で傾斜・倒壊に至るものは少なかった。しかし、新潟県中越沖地震では、コンクリート系擁壁が 49%を占めているにもかかわらず、建築ブロックを擁壁として用いている土圧や地震動に耐えられない構造のものがその内 47%を占めているために、傾斜・倒壊に至ったものが多くなったことがわかる。

表-6 被災宅地擁壁の種類別件数

	新潟中越 沖地震	新潟中越 地震	兵庫県 南部地震
練石積造擁壁	122 (21%)	211 (38%)	411 (37%)
空石積造擁壁	48 (8%)	111 (20%)	61 (6%)
コンクリート系擁壁	279 (49%)	178 (32%)	168 (15%)
増積み擁壁	80 (14%)	18 (3%)	299 (28%)
二段擁壁	47 (8%)	42 (7%)	64 (6%)
張り出し床版 付擁壁	0 (0%)	1 (0%)	82 (8%)
合計	576	561	1,085

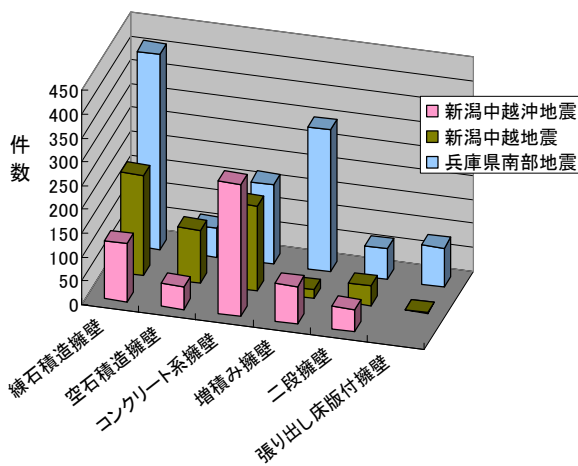


図-156 被災宅地擁壁の種類

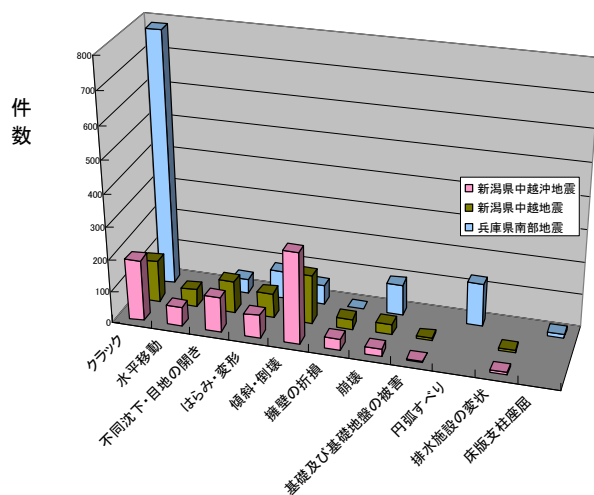


図-157 被災宅地擁壁の変状項目の分類

宅地擁壁被害の特徴:

* 既存不適格の擁壁の被害

被災した宅地擁壁の種類は、コンクリート系擁壁が49%を占め、さらに細分類すると建築ブロックが47%を占め、全体被害件数の23%と非常に多くなっている。本来、建築ブロックを用いた擁壁は背後に土砂を設けたもので土圧や地震動に耐えない既存不適格のもので、基礎コンクリートと建築ブロックが鉄筋で一体化されていないために倒壊しているものが多かった。また、増積擁壁14%、空石積造擁壁8%、二段擁壁8%の既存不適格の擁壁は30%を占め、この建築ブロック23%を加えると合計53%と非常に多い結果となった。今後、空石積擁壁、増積み擁壁、二段擁壁等の既存不適格な擁壁の補修・補強または再構築が必要である。

* 宅地擁壁の水抜き孔の不備

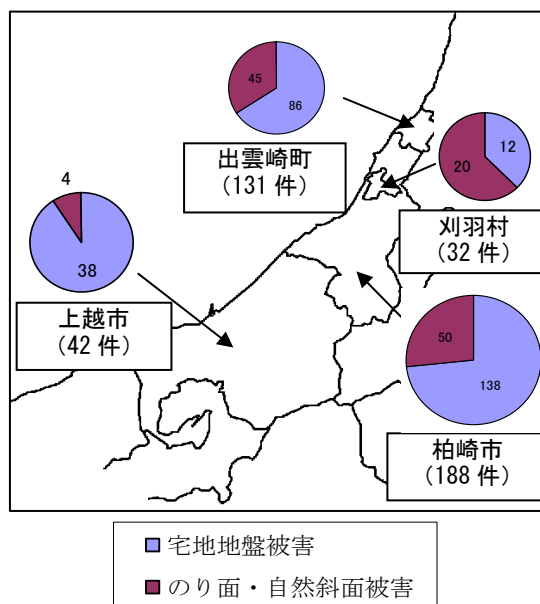
宅地擁壁は、水抜き孔を設置しているものが35%しかなく、残り65%が設置していないため、宅地擁壁背面の地下水位が高く崩壊に影響を及ぼしたことが考えられる。また、コンクリート系擁壁の建築ブロックが23%以上、空石積造擁壁が8%であり全体の3割を越えているため、水抜き孔を設置していないものが多くなったと考えられる。地震発生前の台風による降雨で地下水位が上昇し、擁壁背面土が飽和状態の場合は、この状態に大きな地震動を受け土圧の増大や地震発生に伴う過剰間隙水圧の上昇が原因と考えられる液状化の恐れがある。今後、十分な水抜き孔の削孔や設置および裏込め砕石等の排水施設が必要である。

* 擁壁基礎地盤の支持力不足

水田を盛り立てて宅地を造成した場合には、ほとんどの擁壁が盛土の基礎地盤の支持力不足のため被災している。また、河川、水路、水田等の軟弱な地盤に接近している擁壁も沈下・傾斜・滑動しているものが多い。今後、擁壁の荷重に応じた盛土の基礎地盤の支持力の確保を確認し、確保できない場合は置き換え、地盤改良・杭等の対策が必要である。

* 擁壁高2m以下の擁壁の耐震性能の不足

現場打ちやプレキャストコンクリート擁壁等の2m以下の擁壁では、建築ブロックを擁壁に使用している場合も多く、特に傾斜、滑動の被害が多く、擁壁基礎面からせん断破壊しているものも見られた。この原因としては、建築基準法142条(擁壁)は2mを超えるものが対象で2m以下の構造方法などの規制がないためと推測される。今後、2m以下の構造方法などの規制が、2mを超えるものと同様に必要である。



注) グラフ中の数値は、住宅／のり面・自然斜面の被災件数を示す。

図-158 宅地地盤／のり面・自然斜面地震被害位置

c) 宅地地盤の被害分析

宅地地盤の被害は、調査票に基づいて刈羽村12件、出雲崎町86件、柏崎市138件、上越市38件の総数274件について集計を行った。ただし、液状化被害が顕著であった松波2丁目と橋場町の被害については、「被災宅地危険度判定士 危険度ファイル」の危険度判定票の点数評価点が、人命に及ぼす危険と判定されない中被害程度となっているため、他の危険な地域が優先されてここではこれらの被害を除いた分析となっている。

図-158は、各市町村での被害件数を円グラフで示し、それぞれの住宅被害が生じた件数を集計したものである。

宅地地盤の種類:

被災した宅地地盤の地盤種類は、岩盤系では7件の内、不明箇所57%（4件）を除いて軟岩が43%（3件）を占め、土砂系では104件の内、不明箇所6%（6件）を除いて砂質土が59%（62件）、粘性土33%（34件）、礫質土2%（2件）、であり、土砂系による被害件数が多く、地盤の影響を強く受けていることがわかる。ただし、宅地地盤の判定票では擁壁構造物の場合と異なり、現地で盛土か切土かの判断がつかないので、この区別を行っていない。

宅地地盤被害の分類:

宅地地盤被害の集計は、全数274件に127件の重複項目を加えた401件を母数として分類した。その結果は、図-159および図-160に示すようにクラック（幅）による被害が52%と非常に多く、沈下（沈下量・規模）が18%，段差（段差量）が17%，陥没（深さ）が9%となっている。宅地地盤被害は、宅地擁壁の被害で明らかのように盛土地盤での被害が多いことがわかっているが、ここではその判定を行っていないため定量的な把握ができない。

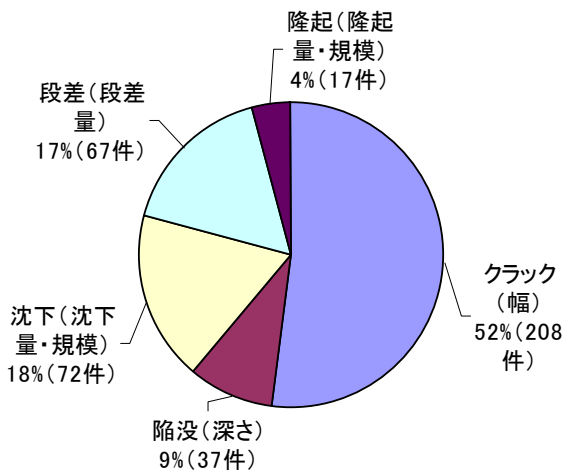


図-159 宅地地盤被害の分類 (401件)

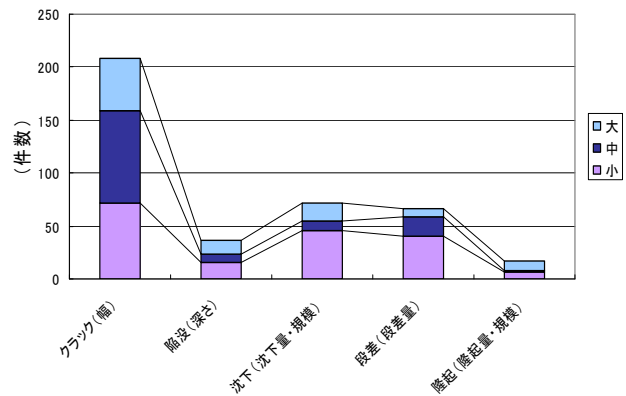
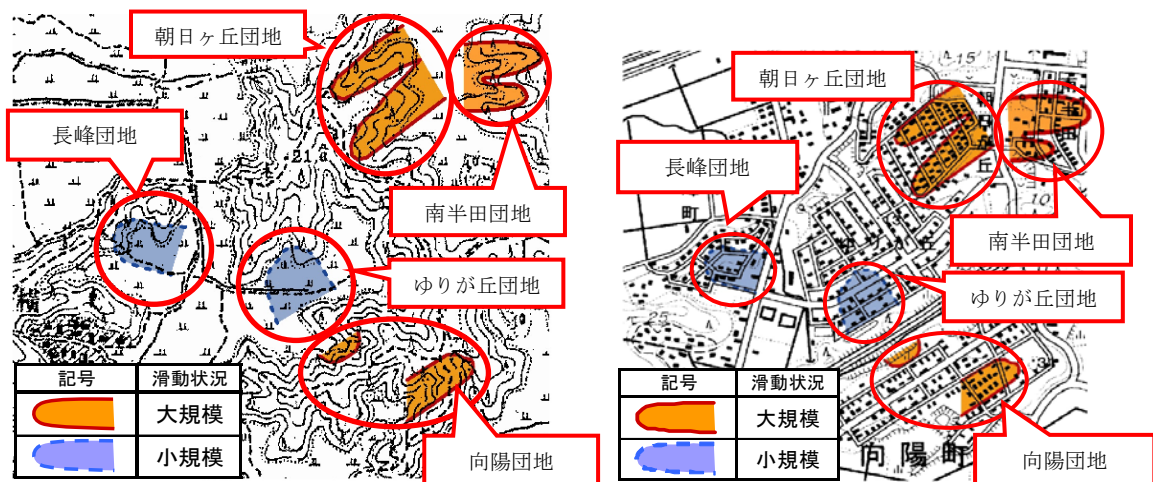


図-160 宅地地盤被害の種類と被害程度 (注) 大, 中, 小は, 被害の程度を示す。

大規模谷埋め盛土地盤被害の分類:

柏崎市の内陸部では、図-161に示すように安田層が分布している地域の長峰団地、朝日ヶ丘団地、ゆりが丘団地、向陽団地、南半田団地において旧傾斜地形を盛土して作られた谷埋め盛土が滑動現象を起こし、宅地地盤に大きなクラック、沈下等を生じている。



(a) 1909年 (b) 2006年 (国土地理院地形図 (縮尺: 1:25,000) 「柏崎」に加筆)

図-161 大規模谷埋め盛土地盤の滑動

新潟県中越沖地震では図-162 に示すように、地盤が液状化等により大規模谷埋め盛土地盤など大きな滑動現象を起こしている地区では、他地区に比べ陥没・段差被害も多いことがわかる。

また、図-163 は、大規模谷埋め盛土滑動地区における宅地擁壁被害の関係であるが、図-157 の全体の被害に比べ、傾斜、倒壊、擁壁の折損等、被害程度が大きいことがわかる。

図-164は、大規模谷埋め盛土滑動地区におけるのり面被害の関係であるが、クラックと滑落・崩壊の被害となっている。

他の大地震との比較：

新潟県中越沖地震の被害は、図-165に示すように新潟県中越地震と比較して、陥没・沈下が少なくなっているがほぼ同様の変状割合となっている。しかし、実際の陥没・沈下の被害は新潟県中越沖地震では、液状化が顕著であった松波2丁目・橋場町について人命の被害はないと判定され判定化が行われなかったために、新潟県中越地震と同様に多いと考えられる。兵庫県南部地震では、クラック・沈下の変状は多いが、陥没・段差・隆起の変状は少なくなっている。

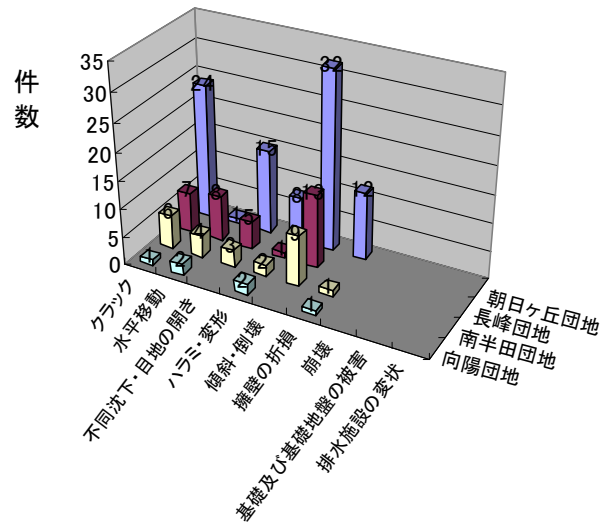
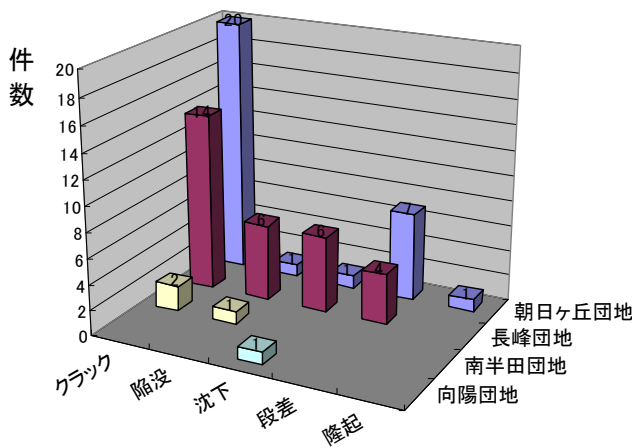


図-162 大規模谷埋め盛土滑動地区における宅地被害の関係図

図-163 大規模谷埋め盛土滑動地区における宅地擁壁被害の関係

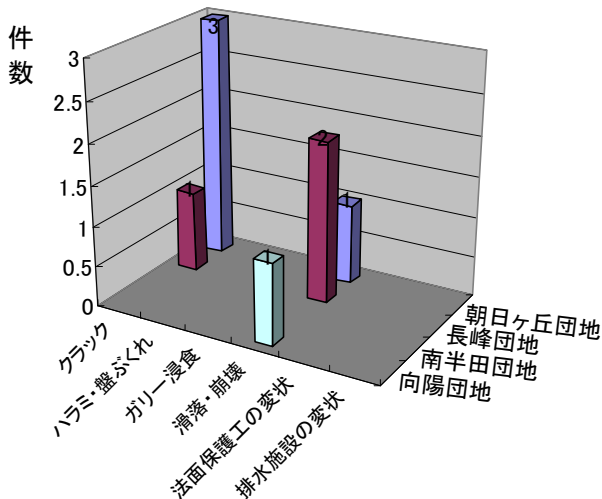


図-164 大規模谷埋め盛土滑動地区におけるのり面被害の関係

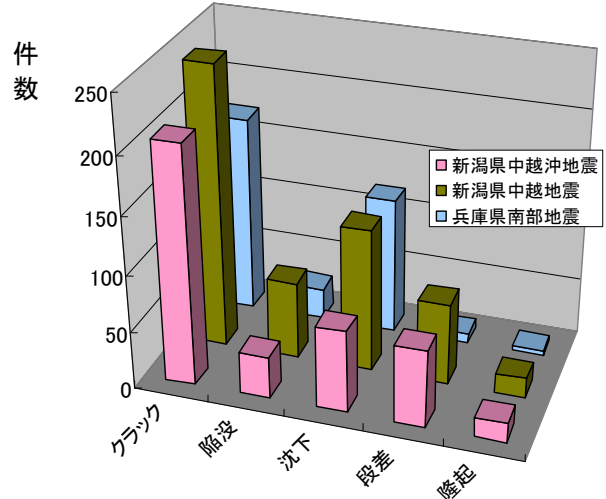


図-165 被災宅地地盤の変状項目の分類

宅地地盤被害の特徴：

* 旧河川および旧河川敷上の液状化被害

松波 2 丁目・橋場町等では、旧河川や旧河川敷の直上にある宅地地盤が液状化により大きな沈下・傾斜・隆起による建物被害を生じている⁴²⁾。

* 大規模盛土造成地の滑動被害

柏崎市街地の南側の安田層が分布している地層では、段丘頂部の尾根を切土して周囲に盛土して造成された地区では、谷埋盛土が沈下、滑動した。

* 砂丘間の斜面部利用による宅地地盤の変状

柏崎市の西港町、西本町地区、閻魔通り商店街南等では、傾斜地を利用した広範囲の斜面部利用による宅地地盤で顕著な被害があった。この造成は、砂丘列が列状に伸び、列間凹地と砂丘列の間の斜面を挟んで上下に建物が建ち並び、盛土により平坦化する形状の土地利用がなされていた。元来がルーズな新砂丘砂から構成されていたため地震動に弱く、崩れやすかった上に、こうした土地利用が重なって被害を大きくしたものと考えられる。

d) 宅地のり面・自然斜面の被害分析

宅地のり面・自然斜面の被害は、調査票に基づいて刈羽村 20 件、出雲崎町 45 件、柏崎市 50 件、上越市 4 件の総数 119 件について集計を行った。図-158 は、各市町村での被害件数を円グラフで示し、それぞれのり面・自然斜面の被害件数を集計したものである。

被害を生じたのり面・自然斜面の地盤種類：

のり面・自然斜面で被害を生じた地盤種類は、岩盤系では、15 件の内、不明箇所 40% (6 件) を除いて軟岩が 47% (7 件)、硬岩 13% (2 件) を占め、土砂系では、図-166 に示すように、68 件の内、不明箇所 15% (10 件) を除いて砂質土が 50% (34 件)、粘性土 26% (18 件)、礫質土 9% (6 件) であり、土砂系による被害件数が多く、地盤の影響を強く受けていることがわかる。

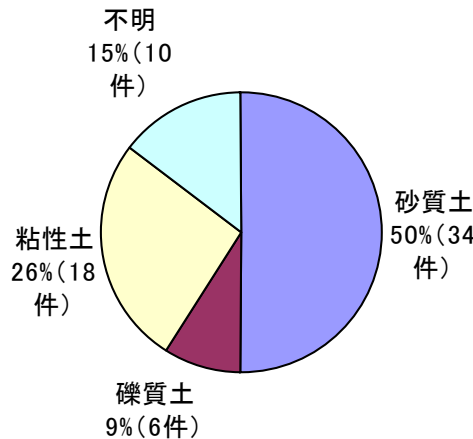


図-166 のり面・自然斜面の地盤種類

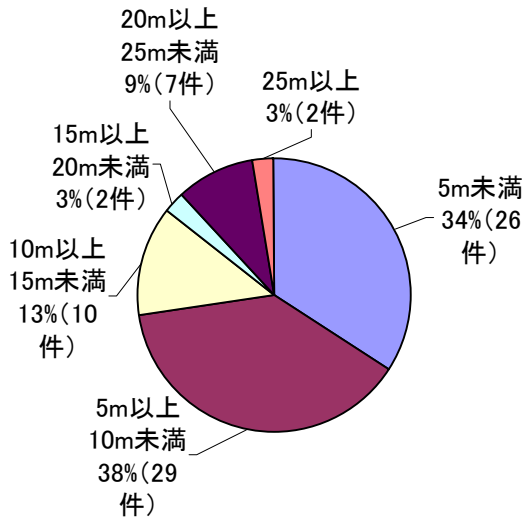


図-167 被害を生じたのり面高の分類 (25 件)

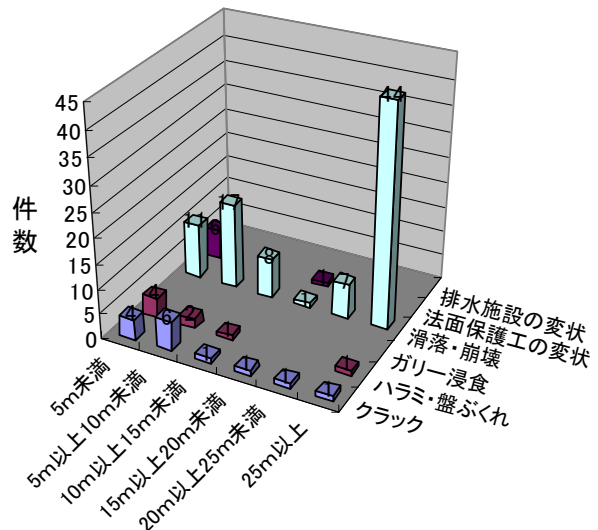


図-168 のり面被害とのり面高の関係

被害を生じたのり面高の分類:

のり面・自然斜面の被害は、図-167に示すように、のり面高状況では、10m未満が72%を占め、のり面長でも同様に10m未満が55%を占めており、10m未満ののり面による災害が半数以上を占めている。この原因としては、高さ10m未満ののり面では、のり面安定計算を行っていないため十分な対策が取られていないことや、のり面勾配が急であることも原因の1つと考えられる。また、図-168はのり面被害とのり面高さの関係を示している。この図から、のり面高さ25m以上で滑動・崩落の多いことがわかる。

のり面の被害箇所の分類:

被害を生じたのり面は、のり面上部が44%、のり面の下部が40%、のり面全体が16%となっている。図-169は、のり面被害と被害箇所の関係を示したものである。この図から、のり面上部と下部の局部的な滑動・崩壊が多く、次にのり面保護工の変状が多くなっている。この原因としては、土質状況から粘性土の地盤や盛土地盤であることが考えられる。

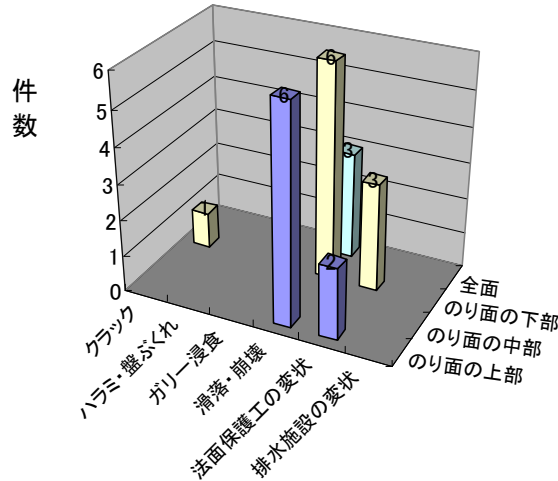


図-169 のり面被害と被害箇所の関係

排水施設ののり面への影響:

排水施設ののり面の被害への影響は、図-170に示すように83件の内、排水施設を有さないのり面による被害が81% (67件) を占めている。図-171は、のり面被害と排水施設の関係を示したものである。この図から、排水施設の無いものの被害が非常に多く、特に滑動・崩壊の大被害を生じているものが多い。以上のことから、砂質土地盤が多く排水施設の無いものがのり面内の地下水上昇により、特にのり面が高くなるほど地震動の影響を受ける滑動・崩壊に至ったと考えられる。

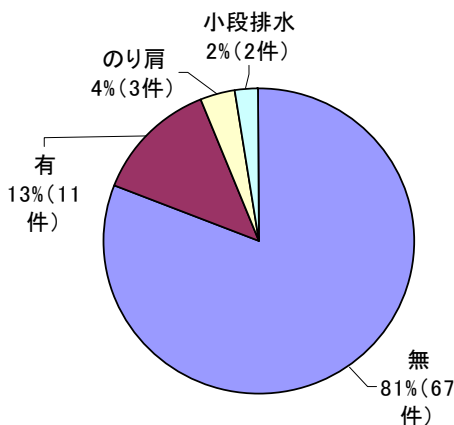


図-170 排水施設によるのり面への影響 (83件)

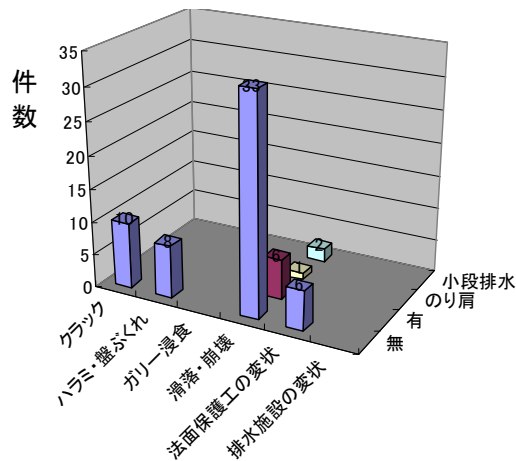


図-171 のり面被害と排水施設の関係

のり面保護工によるのり面への影響:

のり面保護工による宅地の被害は、図-172に示すように保護工を有さないのり面による被害が69%を占めている。図-173は、のり面被害とのり面保護工の関係を示したものである。この図から、構造物や植生工があるものはのり面被害が少なく、排水施設と同様に地下水の上昇により滑動・崩壊が多くなったと考えられる。

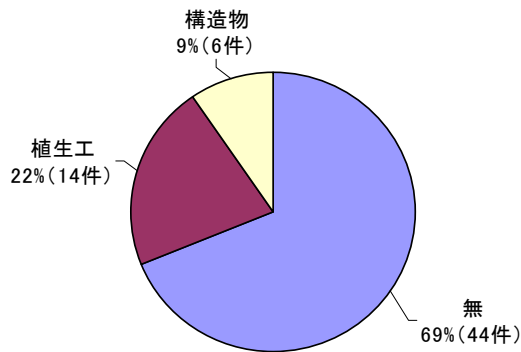


図-172 のり面保護工によるのり面への影響 (64件)

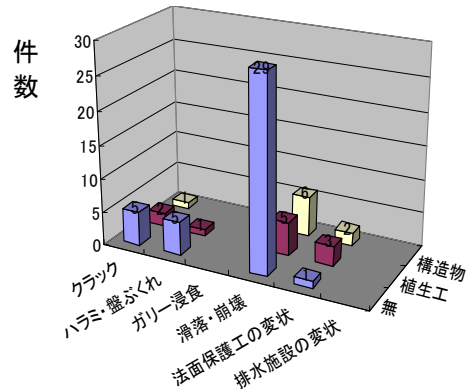


図-173 のり面被害とのり面保護工の関係

湧水によるのり面への影響:

湧水のあるのり面の被害は 20%を占めており、排水施設やのり面保護工の有無が大きく影響していると考えられる。図-174は、のり面被害と湧水の関係を示したものである。この図から、のり面内の地下水が湧水となっている箇所は、ハラミ・盤ぶくれ、滑動・崩壊の大被害となっていることがわかる。

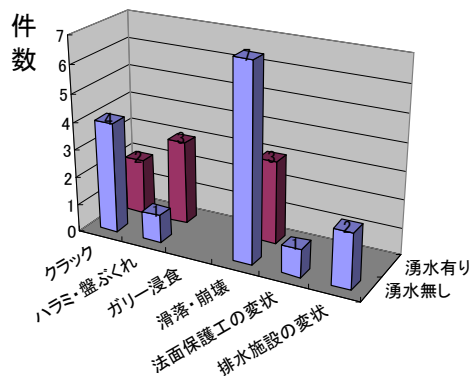


図-174 のり面被害と湧水の関係

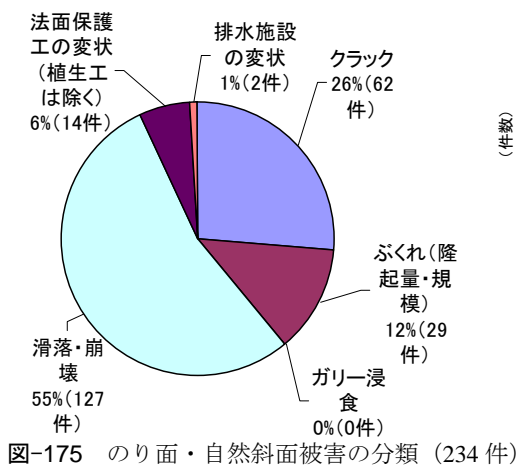


図-175 のり面・自然斜面被害の分類 (234件)

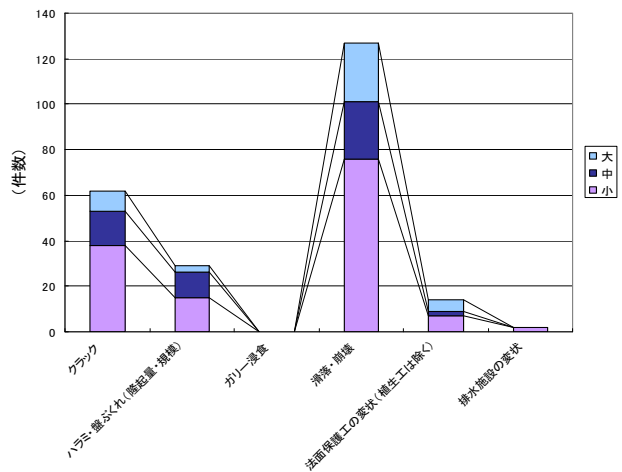


図-176 のり面・自然斜面被害の種類と被害程度 (注)大, 中, 小は, 被害の程度を示す。

のり面・自然斜面被害の分類:

のり面・自然斜面の被害の集計は、全数 119 件に 115 件の重複項目を加えた 234 件を母数として分類した。その結果は、**図-175** および **図-176** に示すように滑落・崩壊 55% が非常に多く、クラック（幅）による被害が 26% を占め、ハラミ・盤ぶくれ（隆起量・規模）が 12%、法面保護工の変状（植生工は除く）6% となっている。滑落・崩壊の被害が多い原因としては、砂質土が多いことから液状化の影響や 10m 未満ののり面で安定計算を行っていないため十分な対策が取られないことやのり面勾配が急なことが考えられる。

他の大地震との比較:

新潟県中越沖地震の被害は、**図-177** に示すように新潟県中越地震と比較して滑落・崩壊がわずかに少なくなっているが、ほぼ同様の変状割合となっている。滑落・崩壊が顕著なものは、砂質土地盤が多く地下水位が高いために液状化の影響を受けたことや、10m 未満ののり面で安定計算を行っていないことや、のり面勾配が急なことが考えられる。兵庫県南部地震では、新潟県中越地震と新潟県中越沖地震と比較して被害件数が非常に少なく、ハラミ・盤ぶくれ、法面保護工の変状、排水施設の変状がなく、落石、地すべり被害がある。

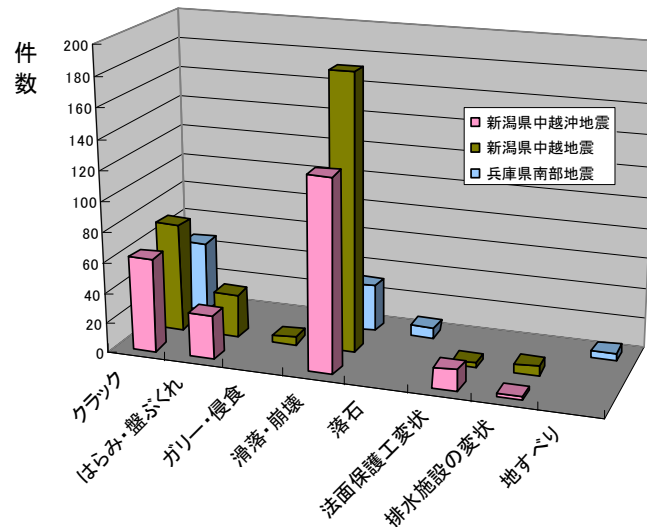


図-177 被災宅地ののり面の変状項目の分類

のり面・自然斜面被害の特徴:

* 砂丘背後の傾斜地における液状化被害

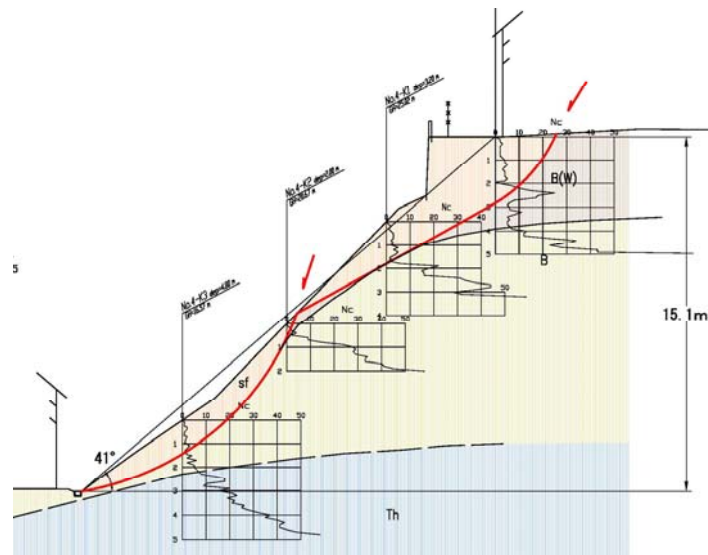
柏崎市山本団地や刈羽町稲葉地区等では、砂丘末端部で液状化や液状化による裏山の崩壊が発生し、大きな被害を生じている。この原因としては、地下水位が高いことと相まって、この地域に分布する砂層が古砂丘起源ではなく、もともとルーズな新砂丘に由来したものであったことや、人工的に砂を敷きならした地盤が存在したことなどが影響したものと考えられる。砂丘背後の傾斜地盤に対して抜本的な対策が必要である。

* 段丘斜面の被害

柏崎市番神、東の輪町等では、**図-178** に示す中位段丘の分布面積が広く、段丘面を利用して多くの住宅が建てられているが、海岸沿いの段丘縁で斜面の肩に当たり、**図-179** に示す均一で緩い砂層が厚く堆積している部分で崩壊や変状が生じている。この原因としては、地震による激しい地震動で、急斜面のひな段盛土造成部分の沈下、段差、崩壊の被害が発生したと考えられる。



図-178 東の輪地区の斜面全体



凡例

地質年代	記号	地層名	土質	Nc値	平均N値 (N値の範囲)
現世	Sf	表土・崩積土	砂質土(崩壊対象層)	≤ 2	—
完新世	B(W)	番神砂層(風化帯)	砂質土	≤ 5	5 (3~7)
第四紀 更新世	B	番神砂層	固結砂	$10 <$	11 (6~18)
	Th	青海川層	砂質土・粘性土互層	$20 \sim 30 <$	22 (8~46)

K- : 簡易貫入試験箇所

図-179 東の輪地区の斜面崩壊法肩部分

(3) 宅地被害の教訓と宅地防災対策のあり方

被災宅地危険度判定士による宅地被害状況の判定結果から、新潟県中越沖地震の宅地被害の教訓を得るとともに、今後の宅地防災対策のあり方について提言する。

a) 宅地擁壁の教訓および今後の対策

* 既存宅地擁壁の補修・補強対策

建築ブロックを用いた擁壁は背後に土砂を設けたもので土圧や地震動に耐えない既存不適格のもので、基礎コンクリートとブロックが鉄筋で一体化されていないために倒壊しているものが多かった。

将来的に発生する地震などの災害対応としては、全ての宅地や宅地擁壁に対し、宅地造成等規制法に基づく規格のものに再構築することは、財政的にも時間的にも困難である。そこで、現在使用している宅地擁壁

等の補強を行うことが現実的である。また、国土交通省では、新潟県中越地震に対応した「被災宅地災害復旧技術マニュアル（暫定版）－新潟県中越地震対応－」⁴⁷⁾を発刊している。今後は、これらの技術マニュアルが適正に運用され、既存の宅地擁壁が補強し、地震災害など備える施策を実施することが必要である。

* 宅地造成許可技術基準の徹底および宅地造成等規制法区域の拡大について

宅地擁壁は、水抜き孔を設置しているものが35%しかなく、残り65%が設置していないため、宅地擁壁背面の地下水位が高く崩壊に影響を及ぼしたことが考えられる。

新潟県は、宅地造成等規制法⁴⁴⁾に基づく「宅地造成規制区域」外の地域であるため、同法に基づかず造成された宅地が多く、水抜き孔が設置されていない不適格な宅地擁壁が被災を受けていることが明らかとなった。今後は、宅地造成許可技術基準の徹底および宅地造成等規制法による宅地造成規制区域に指定し、各地の宅地開発指導要綱を徹底し、法の目的である「国民の生命および財産の保護を図り、もって公共の福祉に寄与すること」の理念に基づき、規制区域拡大へ向け、諸問題を解決し展開していくことが必要である。

* 擁壁基礎地盤の支持力の確保

水田を盛り立てて宅地を造成した場合には、ほとんどの擁壁が基礎地盤の支持力不足のため被災している。

擁壁の設計段階では、十分な地盤調査が行われていないために、擁壁支持力不足が生じることが多い。

今後、施工段階でも設計前に地盤調査を十分に行い設計に反映させるとともに、設計時に設定した地盤について、土質の目視、許容支持力度と土質定数をスウェーデン式サウンディング、ポータブルペネトロメーターなど簡易的な試験によって確認する。設計条件と異なる場合は、当初の設計に戻って設計に反映させるシステムの構築が必要である。

なお、直接基礎における許容支持力は『平成13年7月2日国土交通省告示第1113号』による支持力公式（式8-1）により算定し、支持力が不足している場合は、「建築物のための改良地盤の設計および品質管理指針」等の算定式を参照とするが、各自治体で定める基準との整合が必要である。

* 擁壁高2m以下の擁壁の耐震性能の確保

現場打ちやプレキャストコンクリート擁壁等の2m以下の擁壁では、建築ブロックを擁壁に使用している場合も多く、特に傾斜、滑動の被害が多く、擁壁基礎面からせん断破壊しているものも見られた。

今後、擁壁高2m以下の擁壁については、法的規制はかからないため、各県市の宅地開発指導要綱に標準図を示したり、安定計算表の提出を求める対策により耐震性能を確保する必要がある。

b) 宅地地盤の教訓および今後の対策

* 宅地地盤の液状化検証の強化

松波2丁目・橋場町等では、旧河川や旧河川敷の直上にある宅地地盤が液状化により大きな沈下・傾斜・隆起による建物被害を生じている⁴⁸⁾。宅地地盤の性能は、いわゆる品確法ができ液状化層の検証も行われることになっているが、現実的にはスウェーデン式サウンディングの地耐力評価が主体で地下水の推定に基づく液状化検討が行われていない。今後、液状化マップに加えて簡易的な検討を行う必要がある。

* 宅地耐震化推進事業⁴⁹⁾の推進

柏崎市街地の南側の安田層が分布している地層では、段丘頂部の尾根を切土して周囲に盛土して造成された地区では、谷埋盛土が沈下、滑動した。今後、このような大規模盛土の被害を軽減するためには、国土交通省のガイドライン⁵⁰⁾に基づいた変動予測調査（宅地ハザードマップ作成）を行い住民への情報提供等を図るとともに、滑動崩落防止対策工事の実施により耐震化を向上させる必要がある。この対策工事に要する費用については以下のような補助を積極的に活用すべきである。

①事業主体：地方公共団体がその費用の一部を助成する場合、又は自ら実施する地方公共団体に補助

②補助率：国1/4

③補助対象：大規模盛土造成地の滑動崩落防止工事に要する設計費及び工事費

* 宅地地盤の耐震性の確保

柏崎市の西港町、西本町地区、閻魔通り商店街南等では、傾斜地を利用した広範囲の斜面部利用による宅地地盤で顕著な被害があった。今後、宅地地盤の耐震性確保は、盛土造成地に軟弱地盤を広域的に捉え対策を施し、以下のような面的な耐震性能を確保する必要がある。

①排水性の確保：水平排水層および地下暗渠管 などの脱水施設による浸透水および湧水の処理を徹底する。

②締固め管理の徹底：密実で安定した盛土 構築するために盛土材料の品質管理を行うとともに、現場密度試験などにより締固め管理を徹底する。

③置換：軟弱層を取り除き良質土で埋め戻す。④化学的固結：地盤にセメント改良等を行い、強度増加や不透水化を図る。

c) 宅地のり面・自然斜面の教訓および今後の対策

* 地下水低下工法の導入

柏崎市山本団地や刈羽町稲葉地区等では、砂丘末端部で液状化や液状化による裏山の崩壊が発生し、大き

な被害を生じている。今後、砂丘背後の傾斜地では、液状化による過剰間隙水圧の上昇を防止するために、これまで以上に地下水を低下させる暗渠工法や水平ボーリング等による水平排水層を設ける必要がある。

* 急傾斜地崩壊対策工の安全率の見直し

柏崎市番神，東の輪町等では，ひな段盛土造成部分の沈下，段差，崩壊の被害が生じている。この急傾斜他対策工は，一般に「がけ地」と称される箇所の安定対策であり，のり面保護が重要な対策工として挙げられる。

しかし，これらの安全率は常時で必要安全率 $F_s \geq 1.2$ を確保する対策となっている。指定された区域内の場合には，急傾斜地法など，関連する法律による規制を受けるので，それらに準拠することになるが，実際には宅地であるので必要安全率は常時で $F_s \geq 1.5$ ，地震の設計水平震度 $K_h=0.20$ または $K_h=0.25$ で $F_s \geq 1.0$ を確保しなければならない。したがって対策は，以下のように抑制工，抑止工が主体となる。

- ①抑制工：地表・地下水の排除，土塊の排除，押え盛土
- ②抑止工：擁壁，杭，シャフト工，土留めアンカー，補強土工
- ③法面保護工：雨水による法面の風化・浸食，ならびに雨水の浸透防止を目的とした工法

9. 柏崎刈羽原子力発電所の5学会共同調査

(1) 共同調査の概要

柏崎刈羽原子力発電所は、7基の原子炉が発生する合計出力は821万2千キロワットに達し、7号機が営業運転を開始した1997年7月2日の時点でそれまでの最大だったカナダのブルース原子力発電所を抜いて1か所の発電所としては世界最大の原子力発電所になったとされる。それだけに震源域に立地していた発電所の被災の経済的影響は大きく、またそれ以上に伏在する断層の多い我が国にあっての原子力発電所の安全性に対する大きな議論が巻き起こった。この地震では2、3、4、7号機が想定外の大きな揺れを受けながらも無事緊急停止したが、その後の7号機、6号機の運転再開まで約2年半の慎重な調査検討、そして復旧作業を要することになった。また原子力の耐震設計においては重要度Cクラスと類別される変圧器が火災を起こし、消火栓の水は地震の影響で十分に機能せず、このCクラスの施設の火災についての情報が外部機関に早急に伝達されなかったことが、一般市民の大きな不安を掻き立てることになった。

土木学会や日本地震工学会をはじめとする関係5学会では、この社会的重要性に鑑み、被害の実態を、より詳しく合同で調査するため、東京電力株式会社に、被害の報告と現地の立ち入り調査を依頼したところ、快く受け入れるとの回答を得た。現地調査は、家村浩和（当時：京都大学教授）を代表幹事として8月7日の午後実施された⁵¹⁾。参加者は次の25名である。

土木学会；濱田政則、川島一彦、丸山久一、小長井一男、橋本隆雄、古木守靖

日本建築学会；滝口克己、久保哲夫、倉本洋、仲居正一、土井希祐、

地盤工学会；龍岡文夫、尾上篤生、安田進、國生剛治、東畑郁生

日本地震工学会；北川良和、鈴木浩平、鈴木祥之、若松加寿江、源栄正人、

日本地震学会；横井俊明、松崎伸一、司宏俊

5学会合同調査団幹事；家村浩和

この調査の概要、報告の詳細は家村⁵²⁾に譲るが、ここでは調査の結果について参加者からの提案を家村が整理したもののみ報告する。

(2) 提案のまとめ

a) 経験を今後に生かす

今回の地震被害は、原子力発電所が、想定外の直下地震の直撃を受け、設計地震力を大きく上回る地震荷重にさらされた、世界でも初めての経験である。被害の有無にかかわらず、関連施設の細部にいたるまで、詳細な調査検討を行い、原発の耐震性能向上のための、重要なデータとすべきである。

b) 東京電力による情報公開

東京電力（株）が、観測地震波形のみならず、被災状況、復旧状況などを逐次公開したことは、今後の耐震性能の向上や、一般人の原発に対する理解を深める上で、貴重な情報開示として高く評価する。

c) 設計地震動と性能設計法

地震断層を特定し、そこから発生する最大級の地震動を確率的に想定してそれを設計地震動とすることは、耐震設計を実施するうえで、不可欠である。しかし、建設地点の最大級の地震動を推定しえたかどうかは、断層の位置や規模、さらに発震メカニズムの特定が、かなり困難であることを考えると大きな不確実性を伴う。今回の地震の断層は事前に特定されていなかったし、また発震メカニズムもきわめて複雑なものであった。今回の地震は、設計地震動の設定の困難さを示している。2006年9月の新指針で今回の地震動を予測できるのかの検証が必要である。

一方、設定が不確実な荷重に対する設計法としては、多段階の荷重レベルに対応する他段階の耐震性能を保証してゆくいわゆる性能設計法が合理的であると考えられ、建築や橋梁ではすでに取り入れられている。

重要度ランクA、B、Cのそれぞれの構造物や施設が、それぞれの設計地震動を上回る地震動に対して、どのような耐震性能を保有すべきか、また保有しているかを、性能設計法の枠組みの中で明示してゆくことが、一般社会に対する説明責任ではないだろうか？ 設計地震動を上回る地震動に対する耐震性能についても、一般社会にわかりやすく、説明する必要がある。

d) 保有耐震性能の確証

構造物や施設が保有すべき耐震性能を保証するためには、確証データが必要である。今回の地震による各種の記録や被害状況や、教訓を踏まえること、また、不足分については、E-defenceなどを用いた激震時の性能に関する実験データを得ること、さらに非線形の数値シミュレーションの精度を上げることなどにより、より多段階の耐震性能を保障できるものと考えられる。

e) 先端技術の応用

世界の地震国において、観測される地震動の量と大きさは増大の一方である。これに伴い、耐震設計で考慮すべき地震力も、比例的に増大しており、コスト面での負担も大きい。今回の地震被害では、甚大な被害はなくとも、機器類の復旧に長時間を要しており、これに伴う機能停止、経済的負担も甚大である。これを克服するためには、従来からの耐震設計法に替わって、免震設計法や制震設計法など、先端技術の応用の応用により、作用地震力そのものを低減する工夫が必要となってきている。

10. まとめ

本報告は中越沖地震の被害の概要とその特徴を紹介した。この地震被害の多くは、柏崎市街、柏崎刈羽原子力発電所が立地する海岸砂丘、青海川駅を含む斜面崩落の報告された米山を構成する地層（米山層）の下位にあたる砂岩・泥岩層、柏崎北東部の出雲崎側の活褶曲地形などの地質地盤条件の影響を色濃く受けるものであった。またこの地震では震源域に立地していた柏崎刈羽原子力発電所の2、3、4、7号機が緊急停止しその後の7号機、6号機の運転再開まで約2年半を要することになったことも単に原子力発電所の耐震性の議論のみならず、情報開示やそれを踏まえての災害対応に関する大事な教訓を与えるものになった。

本報告は地震動の特徴に加え、社会基盤施設やそれらが立地する地盤条件、地盤被害など主に物理的な事実を報告する形になったが、この地震が2004年の中越地震の3年後に近い地域で発生したことで、諸機関に中越地震の経験者がいて、それらの経験を踏まえ迅速な震後対応がとられたことでも着目すべき地震であった。異動の多い行政機関にあって、緊急対策や復興の経験を伝授していくことは困難であろうが、これをこの地震から得られる前向きな教訓として捉えることが重要であると考えられる。

謝辞：本報告をまとめるにあたってそれぞれの章で以下の機関、また個人の方々からご協力をいただいた。第2章：気象庁、新潟県、防災科学技術研究所、東京電力株式会社、NEXCO東日本、東日本旅客鉄道株式会社、柏崎市ガス水道局、による観測記録を利用させて頂いた。また、文献18)でのAVS30評価には、柏崎市、刈羽村よりボーリングデータを提供頂いた。

第3章：東日本旅客鉄道株式会社からは青海川駅調査にあたって関連資料を提供いただいた。また柏崎市からは2004年～2007年の道路補修記録、朝日航洋株式会社からは被災直後の航空写真の提供をいただいた。また現地調査にあたっては、松島亘志准教授（筑波大学）、池田隆明氏（飛鳥建設技術研究所）、高津茂樹氏（建設技術研究所）、Jorgen Johansson准教授（当時東京大学生産技術研究所、現在Norwegian Geotechnical Institute）、井筒毅（当時東京大学生産技術研究所研究員）の協力を得た。

第4章：本報告は(社)地盤工学会の新潟県中越地震災害調査報告書に基づいて加筆したものである。

第5章：本報告は(社)地盤工学会の新潟県中越地震災害調査報告書に基づいて加筆したものである。本報告の調査は、上野淳一氏（㈱ライフライン工学研究所）の協力のもとで実施した。資料整理においては、神戸大学大学院生Jérôme Blard氏の協力を得た。水道関連の資料は、柏崎市・刈羽村・出雲崎町・長岡市・上越市柿町区の水道事業関係各位および新潟市水道局に提供して頂いた。下水道関連の資料は柏崎市・出雲崎市の下水道事業関係各位に提供して頂いた。新潟市水道局、柏崎市ガス水道局からは被害写真を提供して頂いたものである。本文中の空中写真は国土地理院の写真を引用し、追記している。

第6章：道路関連施設の調査にあたっては国土交通本省、同北陸地方整備局、新潟県及び柏崎市を始めとする関係諸機関には、災害対応でご多忙の中にもかかわらず、多大なご協力をいただいた。

第7章：鉄道の被災調査において、地震直後の復旧対応など、ご多忙にもかかわらず、柏崎市 会田洋 市長をはじめ多くの方にご協力をいただいた。

第8章：被災宅地危険度判定士の活動調査票の資料は、出雲崎市および上越市について新潟県都土木部都市局都市政策課山岸課長、柏崎市について柏崎市伊藤課長、刈羽村について刈羽村安達参事から提供して頂いた。

第9章：5学会合同調査は、各学会の関係者の御協力により、比較的短時間で結成できた。また東京電力（株）にも、現地調査、ヒアリングを快く受け入れてもらった。

記して感謝するしだいである。

参考文献

第2章:

- 1) 気象庁：「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震」の特集、http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/index.html
- 2) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震の評価、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/major_act/

act_2007.htm#a20070716, 2007.

- 3) 地盤工学会：2007年新潟県中越沖地震災害調査報告書，2008.
- 4) Aoi, S., H. Sekiguchi, N. Morikawa, and Y. Kunugi: Source process of the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake derived from near-fault strong motion data, Earth Planet Space, in press, 2008.
- 5) 気象業務支援センター:95型震度計波形データ 2007年1月～8月，2007年.
- 6) 防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-NET, KiK-net, <http://www.bosai.go.jp>
- 7) 東京電力株式会社:柏崎刈羽原子力発電所における 2007年新潟県中越沖地震など時刻歴データ 2004年10月23日17時56分～2008年3月31日24時00分 改訂版)，(財)震災予防協会，2007.
- 8) 土木学会：観測地震記録提供サイト，
<http://download.jsce.or.jp/index2.html.ja.euc-jp>
- 9) 翠川三郎・松岡昌志・作川孝一：1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度にみられる地盤特性の評価，日本建築学会構造系論文集，第442号，pp.71-78，1994年
- 10) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第523号，pp.63-70，1999.
- 11) Shabestari, K. T. & Yamazaki, F.: Attenuation relation of strong ground motion indices using K-NET records, 第25回地震工学研究発表会講演論文集，pp.137-140，1999.
- 12) 安中正・山崎文雄・片平冬樹：気象庁87型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案，第24回地震工学研究発表会講演論文集，pp.161-164，1997.
- 13) 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明：短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式，土木学会論文集 A, Vol.62, No.4, pp.740-757, 2006.
- 14) 文部科学省科学技術振興調整費プロジェクト「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」ホームページ，<http://www.active-folding.com/>
- 15) 若松加寿江・松岡昌志・坂倉弘晃：新潟地域の地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその適用例，第28回地震工学研究発表会，土木学会，2005.
- 16) 末富岩雄・石田栄介・福島康宏・磯山龍二・澤田純男：地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と2004年新潟県中越地震における地震動分布の推定，日本地震工学会論文集，第7巻，第3号，pp.1-12,2007.
- 17) 童華南・山崎文雄：地震動強さと新しい気象庁震度との対応関係，生産研究，48，11，pp.547-550，1996.
- 18) 末富岩雄・福島康宏・塚本博之・石田栄介・山崎文雄：2007年新潟県中越沖地震における柏崎平野内の地震動分布推定，土木学会第63回年次学術講演会，1-169，2008.
- 19) 建設省北陸地方建設局北陸技術事務所：新潟県平野部の地盤図集(新潟平野編) [4]
ボーリング柱状図(Q～Z)(5の4)，(社)北陸建設弘済会，1981.
- 20) 石田栄介・磯山龍二・山崎文雄・清水善久・中山渉：防災 GIS を用いた地盤増幅度の面的整備と地震動面的分布推定に関する検討，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp.421-424，2001.
- 21) 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー部会 ガス安全小委員会 新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会：新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会 報告書(案)，2008.
- 22) 東京電力株式会社：柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動について，
<http://www.tepco.co.jp/cc/direct/images/080522a.pdf>，2008.
- 23) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ(第9)-配付資料，
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/g80522aj.html>
- 24) 翠川三郎・三浦弘之・石井一徳・鬼頭順三・駒澤真人・佐藤慶一：2007年新潟県中越沖地震での地震動強さと強震観測点における地盤特性について，
<http://www.enveng.titech.ac.jp/midorikawa/>，2007.
- 25) 山田真澄・林康裕・森井雄史・朴舜千・大西良広・清水秀丸：2007年新潟県中越沖地震における社寺被災度とPGV推定，日本建築学会技術報告集，第27号，pp.351-358，2008.
- 26) 国土交通省：国土交通省河川・道路等施設の地震計ネットワーク情報，
<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/index.htm>

第3章：

- 27) 小長井一男，J. Johansson，池田隆明，高津茂樹，井筒毅，松島亘志：2007年7月17日中越沖地震による被害と被災地の地質・地盤，新潟県中越沖地震災害調査報告会，土木学会，地盤工学会，日本地震工学

会、日本建築学会、日本地震学会、<http://www.jsce.or.jp/report/43/news5.shtml> , 2007.

- 28) 小長井一男, J. Johansson, 池田隆明, 高津茂樹, 井筒毅, 松島亘志: 社会基盤施設被害と地質・地盤, 平成 19 年度科学研究費補助金(特別研究促進費)「2007 年新潟中越沖地震に関する総合調査」(代表者: 岩崎貴哉) 145-156, 2008.
- 28) 鋏田泰子(2007): 上下水道・ガス等の被害, 新潟県中越沖地震災害調査報告会, 土木学会、地盤工学会、日本地震工学会、日本建築学会、日本地震学会, <http://www.jsce.or.jp/report/43/news5.shtml>, 2007.
- 29) 小林巖雄, 立石雅昭, 吉村尚久, 上田哲郎, 加藤一: 柏崎地区の地質, 地質調査所, p102, 1995.
- 30) 小荒井衛・宇根寛・佐藤浩: 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震の被災地の地形・地質的特徴, 国土地理院地理地殻活動研究センター, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H19-nigata-chikei.htm>, 2007.

第4章 :

- 31) (社)地盤工学会2007 年新潟県中越沖地震災害調査委員会 : 2007 年新潟県中越沖地震災害調査報告書
- 32) Toyota, H. and Onoue, A. : Characterisation of slope failures during the 2004 Niigata-ken Chuetsu and the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, PaperID: S26-18, pp. 1-8, 2008.

第5章

- 33) 新潟県災害対策本部 : 平成19年 7 月16日 新潟県中越沖地震によるライフライン被害状況
- 34) 新潟市水道局 : 管路被害情報, 内部資料
- 35) (独)産業技術総合研究所地質調査総合センター : 20万分の1数値地質図幅集「北陸, 中部および近畿」, 2005.
- 36) 新潟県地質調査業協会 : 新潟県地盤図, 2002

第6章

- 37) 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 : 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震被害調査報告, 国総研資料第439号, 土研資料第4086号, 建築研究資料第112号, 2008

第7章

- 38) 国土交通省災害情報 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震について, pp.10, 2007.7.
- 39) 2007 年新潟県中越沖地震災害調査 報告書 : (社)地盤工学会 2007 年新潟県中越沖地震災害調査委員会, pp.5-3-1~5-3-48, 2009.2.
- 40) 鉄道事故調査報告書 越後線柏崎駅構内列車脱線事故 : 航空・鉄道事故調査委員会, 2008.5.30
- 41) 土木学会 観測地震記録提供サイト 2007 年新潟県中越沖地震, <http://download.jsce.or.jp/>

第8章

- 42) 橋本隆雄・宮島昌克 : 2007 年新潟県中越沖地震における宅地被害分析と今後の宅地対策第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集, 5-0017, CD-ROM, 2009.
- 43) 被災宅地危険度判定連絡協議会 : 被災宅地危険度判定士危険度判定ファイル「被災宅地の調査・危険度判定マニュアル」, 1998.
- 44) 建設省民間宅地指導室監修 : 宅地造成等規制法の解説, 1994.
- 45) 静岡県都市住宅部建築住宅総室建築安全推進室 : 人工造成地における擁壁等の応急危険度判定マニュアル, 1995.
- 46) 静岡県都市住宅部建築住宅総室建築安全推進室 : 人工造成地における擁壁等の応急補強マニュアル, 1998.
- 47) 国土交通省 : 被災宅地復旧技術マニュアル, http://www.mlit.go.jp/kisha04/04/041227_3_.html
- 48) 橋本隆雄 : 新潟県中越地震における液状化による宅地被害の分析, Geo-Kanto2007 第 4 回地質工学会関東支部研究発表会発表講演集, pp.198~203, 2007.
- 49) 国土交通省都市・整備局 : 宅地耐震事業, <http://www.mlit.go.jp/crd/web/jigyo/jigyo.htm>
- 50) 国土交通省都市・整備局 : 大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説, http://www.mlit.go.jp/crd/web/topic/pdf/guideline_ver.3.pdf, 2008.

第9章

- 51) 土木学会ほか 4 学会 : 2007 年新潟県中越沖地震被害災害調査報告会資料集, pp.64-115, 2007年8月.
- 52) 家村浩和 : 柏崎刈羽原子力発電所の 5 学会被害調査報告, 近年の国内外で発生した大地震の被害報告書, 土木学会地震工学委員会, 2010.

IMPORTANT FEATURES OF THE DAMAGE CAUSED BY THE
JULY 16th 2007 OFF-CHUETSU EARTHQUAKE

Kazuo KONAGAI, Iwao SUTOMI, Sumio SAWADA, Atsuo ONOUE
Hiroshi TOYOTA, Yasuko KUWATA, Shiro TAKADA, Keiichi TAMURA
Shuji IWATA, Takao HASHIMOTO and Hirokazu IEMURA

A strong earthquake of M6.6 occurred off the mid-west coast of Niigata Prefecture, Japan, at 10:13 a.m. local time (01:13 UTC) on July 16, 2007. The city of Kashiwazaki spreading over a sand dune registered the highest seismic intensity of a strong 6 on the Intensity scale of the Japan Meteorological Agency. Since the earthquake occurred about three years after the Mid-Niigata Prefecture Earthquake of Oct. 23, 2004, there was a discussion about if there might have been a link between these two major earthquakes with their epicenters about 30km away from each other. On the northeastern extension of the sand dune, there was the world largest nuclear power plant, whose reactors had been shut down for more than two and half years after this earthquake. This report highlights strong ground motions, important features of damage to civil-infrastructures and houses as well as the geotechnical aspects of the damage, and discusses possible causes of typical devastations that the JSCE experts observed in their reconnaissance trips.