

ISSN 1346-7328
国総研資料 第439号
ISSN 0386-5878
土研資料 第4086号
ISSN 0286-4630
建築研究資料 第112号
平成20年2月

国土技術政策総合研究所資料
Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management, No.439
土木研究所資料
Technical Note of Public Works Research Institute, No.4086
建築研究資料
Building Research Data, No.112

February 2008

平成19年(2007年)新潟県中越沖地震被害調査報告

Report on Damage to Infrastructures and Buildings
by the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake

国土交通省国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan
独立行政法人土木研究所
Incorporated Administrative Agency Public Works Research Institute
独立行政法人建築研究所
Incorporated Administrative Agency Building Research Institute

まえがき

2007年7月16日10時13分頃、新潟県上中越沖を震源とするマグニチュード（M）6.8（暫定値）の地震が発生した¹⁾。本地震による最大震度は、新潟県長岡市ほかで観測された震度6強である。気象庁は7月16日にこの地震を「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」と命名した。この地方で震度6弱以上の揺れが観測されたのは、2004年10月23日に新潟県川口町で震度7を観測した平成16年新潟県中越地震（M6.8）以来である。本震のマグニチュードが同一である平成16年新潟県中越地震と比較すると、今回の地震の余震の発生回数は少なく、12月4日現在、最大震度5弱以上を観測した余震は、新潟県長岡市ほかで震度6弱を観測した7月16日15時37分頃（M5.8）の1回である。また、消防庁の取りまとめによると、12月4日9時30分現在、地震による死者は15名、負傷者は2,345名、住家被害は、全壊1,259棟、半壊5,487棟、一部破損34,485棟に上っている²⁾。

今回の地震により被災した地域には平成16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。

本資料は、地震直後の現地調査結果、また、その後実施された調査・研究結果を現時点で取りまとめ、今後の更なる調査研究に活用できるようにするとともに、収集した調査資料の保存を図ることを目的としたものである。したがって、現在、継続中の研究成果の公表については、別の機会に譲ることにしたい。

参考文献

1) 気象庁ホームページ：

http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/index.html

2) 消防庁ホームページ：

<http://www.fdma.go.jp/detail/751.html>

目 次

まえがき

執筆者一覧

1. 地震と地震動	1
2. 地形・地質	6
3. 土砂災害	15
4. 下水道施設	25
5. 河川施設	47
6. ダム	63
7. 道路橋	120
8. 道路土工・斜面	139
9. 建築物	171
謝 辞	246

執筆者一覧

まえがき

国土技術政策総合研究所

危機管理技術研究センター 地震災害研究官 田村敬一

1. 地震と地震動

国土技術政策総合研究所

危機管理技術研究センター地震防災研究室 室長 小路泰広

危機管理技術研究センター地震防災研究室 主任研究官 片岡正次郎

危機管理技術研究センター地震防災研究室 研究官 長屋和宏

2. 地形・地質

独立行政法人土木研究所

材料地盤研究グループ地質チーム 主任研究員 倉橋稔幸

材料地盤研究グループ地質チーム 研究員 矢島良紀

材料地盤研究グループ地質チーム 交流研究員 寶谷 周

3. 土砂災害

国土技術政策総合研究所

危機管理技術研究センター センター長 古賀省三

危機管理技術研究センター砂防研究室 主任研究官 秋山一弥

危機管理技術研究センター砂防研究室 研究員 松下智祥

独立行政法人土木研究所

土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員 山越隆雄

土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員 藤澤和範

土砂管理研究グループ地すべりチーム 研究員 小原嬢子

土砂管理研究グループ地すべりチーム 交流研究員 九田敬行

4. 下水道施設

国土技術政策総合研究所

下水道研究部下水道研究室 室長 榊原 隆

下水道研究部下水道研究室 研究官 深谷 渉

下水道研究部下水道研究室 研究官 遠藤 淳

下水道研究部下水道研究室 研究官 田本典秀

下水道研究部下水道研究室 研究官 福田康雄

下水道研究部下水処理研究室 室長 南山瑞彦

独立行政法人土木研究所

耐震研究グループ振動チーム 主任研究員 佐々木哲也

5. 河川施設

国土技術政策総合研究所

河川研究部河川研究室 主任研究官 堀内輝亮

河川研究部河川研究室 研究官 吉岡英貴

独立行政法人土木研究所

耐震研究グループ振動チーム 上席研究員 杉田秀樹

耐震研究グループ振動チーム 主任研究員 高橋章浩

(現 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻准教授)

耐震研究グループ振動チーム 研究員 谷本俊輔

水工研究グループ河川・ダム水理チーム 主任研究員 福島雅紀

6. ダム

国土技術政策総合研究所

河川研究部水資源研究室 室長 安田成夫

河川研究部水資源研究室 主任研究官 島本和仁

河川研究部水資源研究室 研究官 大谷知樹

独立行政法人土木研究所

水工研究グループダム構造物チーム 上席研究員 山口嘉一

水工研究グループダム構造物チーム 総括主任研究員 岩下友也

水工研究グループダム構造物チーム 研究員 小堀俊秀

7. 道路橋

国土技術政策総合研究所

道路研究部道路構造物管理研究室 室長 玉越隆史

道路研究部道路構造物管理研究室 主任研究官 七澤利明

道路研究部道路構造物管理研究室 研究官 生田浩一

独立行政法人土木研究所

耐震研究グループ振動チーム 主任研究員 高橋章浩

(現 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻准教授)

耐震研究グループ耐震チーム 上席研究員 運上茂樹

耐震研究グループ耐震チーム 主任研究員 杉本 健

耐震研究グループ耐震チーム 任期付研究員 堺 淳一

耐震研究グループ耐震チーム 研究員 岡田太賀雄

耐震研究グループ耐震チーム 交流研究員 中村裕充

構造物研究グループ基礎チーム 上席研究員 中谷昌一

構造物研究グループ基礎チーム 主任研究員 竹口昌弘

構造物研究グループ基礎チーム 主任研究員 白戸真大

構造物研究グループ基礎チーム 研究員 野々村佳哲
構造物研究グループ基礎チーム 交流研究員 野村朋之
構造物研究グループ基礎チーム 交流研究員 小林篤司

8. 道路土工・斜面

独立行政法人土木研究所

材料地盤研究グループ地質チーム 上席研究員 佐々木靖人
材料地盤研究グループ地質チーム 主任研究員 倉橋稔幸
材料地盤研究グループ地質チーム 研究員 矢島良紀
材料地盤研究グループ地質チーム 交流研究員 寶谷 周
耐震研究グループ振動チーム 上席研究員 杉田秀樹
耐震研究グループ振動チーム 主任研究員 佐々木哲也
耐震研究グループ振動チーム 研究員 水橋正典
耐震研究グループ振動チーム 交流研究員 大川 寛
土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 上席研究員 花岡正明
土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 交流研究員 鈴木 滋
(現 日本工営(株)国土保全事業部防災部 担当課長)
土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 専門研究員 ハスバートル
土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 交流研究員 岩崎和彦

9. 建築物

国土技術政策総合研究所

建築研究部 部長 西山 功
建築研究部基準認証システム研究室 主任研究官 樋本敬大
住宅研究部住宅生産研究室 室長 犬飼瑞郎

独立行政法人建築研究所

構造研究グループ グループ長 飯場正紀
建築生産研究グループ 主任研究員 平出 務
建築生産研究グループ 研究員 脇山善夫
国際地震工学センター 上席研究員 田村昌仁
国際地震工学センター 主任研究員 鹿嶋俊英

1. 地震と地震動

1.1 震源と震度分布

1.1.1 本震

平成19年7月16日10時13分頃、新潟県上中越沖で発生した地震は、北緯37度33.4分、東経138度36.5分、深さ17kmを震源とし、気象庁マグニチュードはM6.8であった¹⁾。気象庁の発表による震度分布と推計震度分布を図-1.1に示す。推計震度分布とは、観測した震度をもとに地盤の特性等を考慮して震度の面的な広がり方を推定し、地図上に表示したものである。図より、震央より南西方向の陸地を中心に強い地震動が分布しており、新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村及び長野県飯綱町で震度6強、新潟県上越市、小千谷市及び出雲崎町で震度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及び中国地方にかけて震度5強～1の揺れを観測した。今回の震央の近傍では、2004年10月23日に平成16年新潟県中越地震(M6.8)が発生しており、新潟県川口町で震度7、小千谷市、山古志村、小国町で震度6強を観測している。

なお、今回の地震では、断層面が南東傾斜か北西傾斜火についての議論があった²⁾が、臨時に展開された余震観測網のデータより推定した震源分布などから、本震発生時の約半年後になって、大局的には南東傾斜であると結論づけられた³⁾。

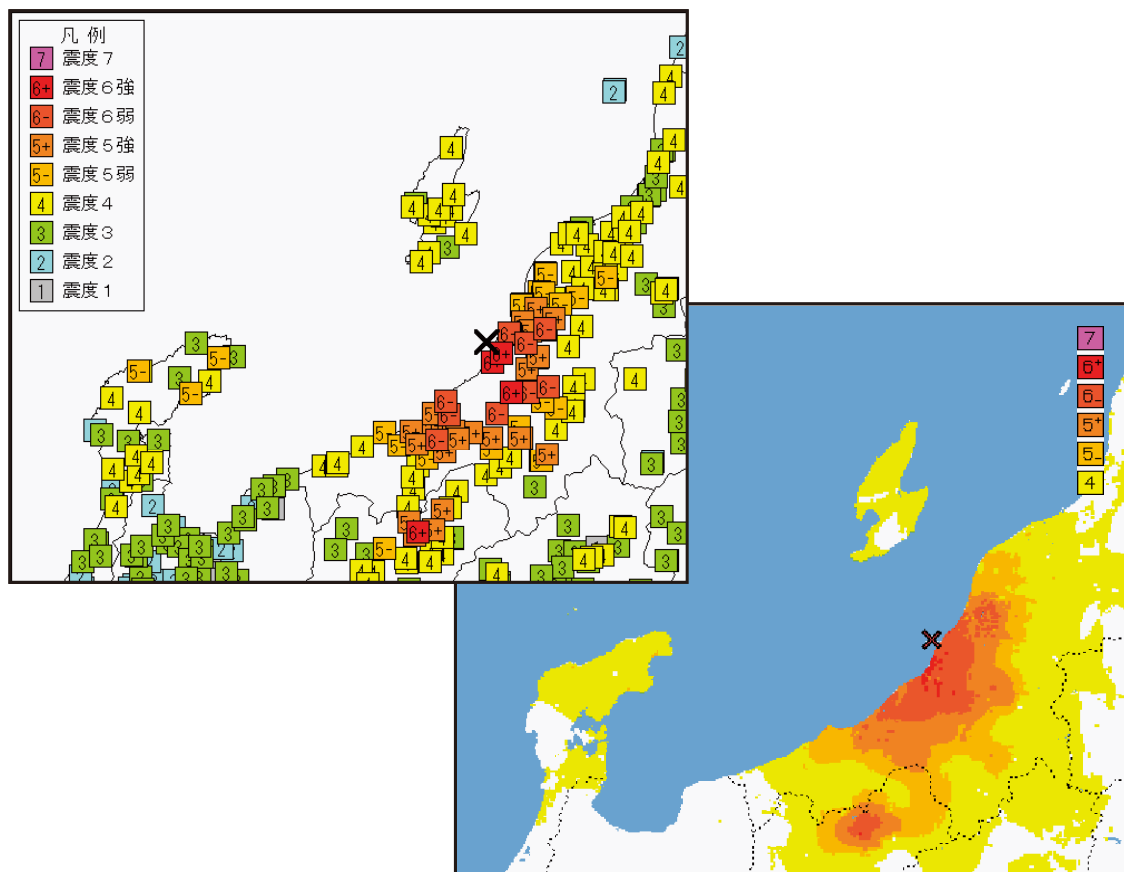


図-1.1 7月16日10時13分に発生した本震の震度分布¹⁾

1.1.2 余震活動

今回の地震による本震発生以降の当該地域における震度1以上を観測した地震の発生回数を表-1.1および図-1.2に示す。また、本震および余震が発生した震央の分布を図-1.3に示す。これより、今回の地震活動は、一般的な本震-余震型で推移しており、余震の震源は本震の震源より南西方向に分布していることが判る。

最大余震は、本震と同日の7月16日15時37分(最大震度6弱、観測地点：長岡市小島谷、出雲崎町米田)に発生したM5.8の地震である。

表-1.1 震度1以上を観測した地震の日別の発生回数¹⁾
(本震発生～2007年7月25日24時)

期 間	最大震度別回数										震度1以上の地震回数	
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計	
7/16 10:00-24:00	37	27	8	3			1	1		77	77	
7/17	11	7								18	95	
7/18	6	1	1	1						9	104	
7/19	3									3	107	
7/20	2	5	1							8	115	
7/21	2	1								3	118	
7/22	2									2	120	
7/23	1	1								2	122	
7/24	1	2								3	125	
7/25	1	1		1						3	128	
総計	66	45	10	5	0	0	1	1	0	—	128	

※この回数には本震を含む

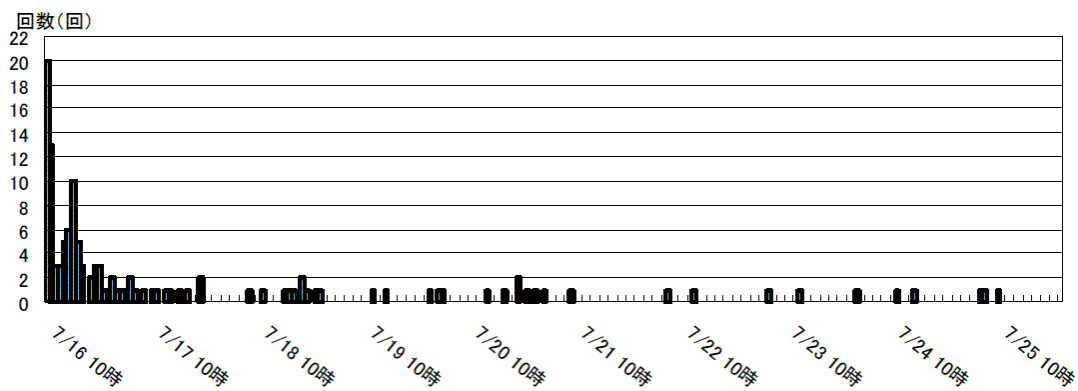


図-1.2 震度1以上を観測した地震の時間毎の発生回数¹⁾
(本震発生～2007年7月25日24時)

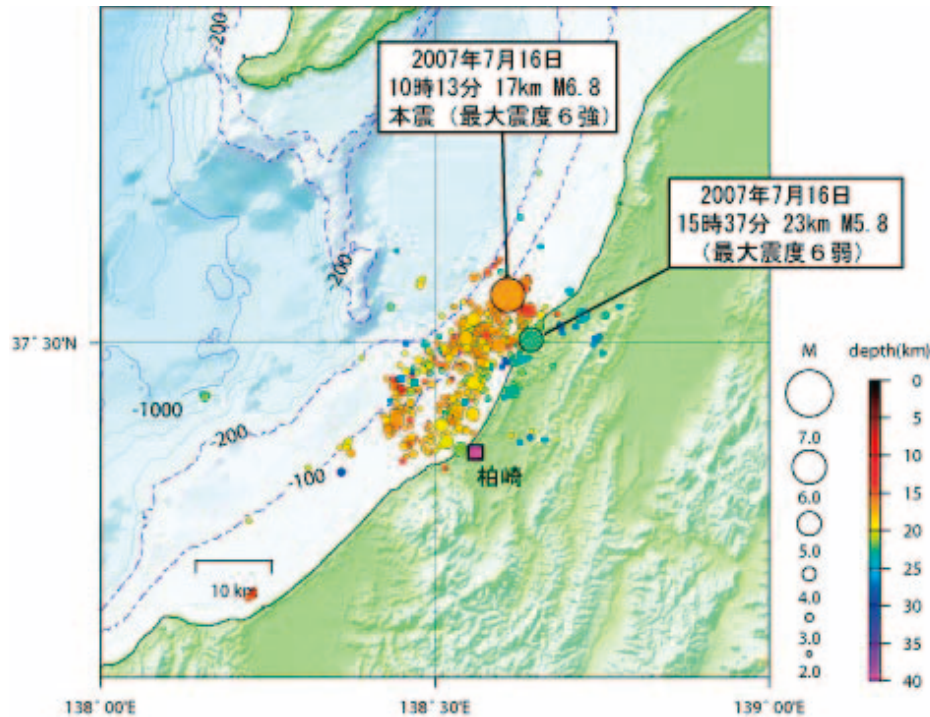


図-1.3 本震および余震の震央分布図¹⁾
 (本震発生～2007年8月17日、深さ40km以浅、M: 2以上)

図-1.4は、過去に発生した地震との余震活動の比較を示したものである。図より、今回の地震による余震発生は他の地震と比較して少なく、特に、今回の地震の近傍で発生し、地震の規模も同程度であった、平成16年新潟県中越地震と比較すると、余震の発生回数が20%程度となっている。

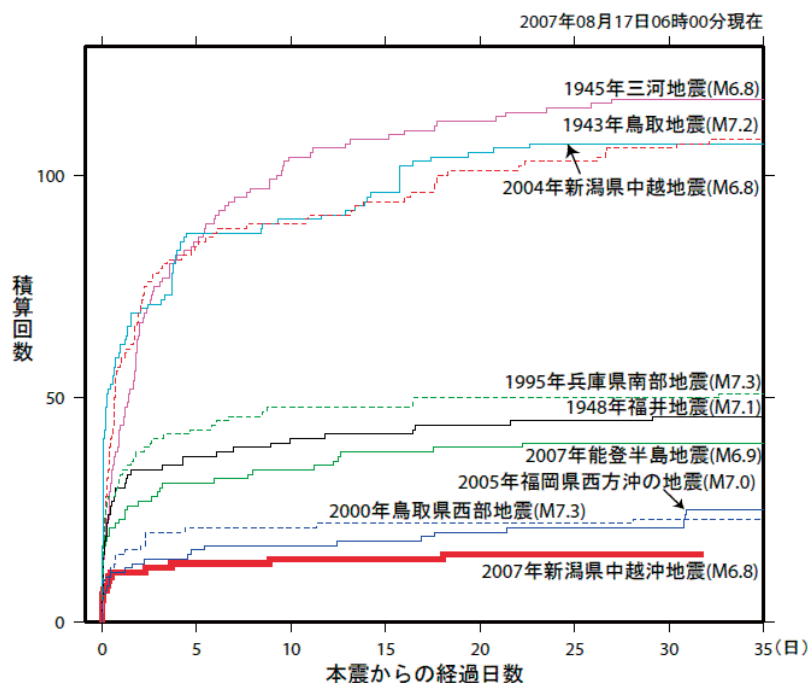


図-1.4 余震活動の回数比較¹⁾ (マグニチュード4以上)

1.2 地震計ネットワークの観測記録

国土交通省では、施設の管理を目的として全国約700箇所に地震計を設置し、地震発生直後に観測した地震動の代表値を伝送する、地震計ネットワーク(以下：地震計NW)を整備している。

今回の地震においても北陸地方整備局を中心に東北、関東、中部地方整備局管内の約300箇所で地震動を観測した。図-1.5に最大加速度の分布を示す。観測された記録の最大加速度およびSI値(最大加速度は水平成分を合成して算出、SI値は水平2成分のうち大きい方)は国総研ホームページ⁴⁾にて公開中である。

図-1.5に示した数値は、地震計NWにより観測された記録のうち、震源近傍の3地点で得られた最大加速度である。このうち最も大きな記録を観測した国道8号米山大橋に設置されている米山気象観測所(震央距離：25km)で観測した加速度時刻歴波形を図-1.6に示す。本記録の最大加速度および一般的な構造物に与える被害と相関が高い指標であるSI値、気象庁より発表される震度に相当する計測震度相当値はそれぞれ、659gal、68cm/s、5.9(震度6弱相当)であった。なお、気象庁より発表されている観測記録のうち最も大きな値は、最大加速度では、柏崎市西山町池浦(震央距離：12.6km)で観測された、1,019gal、計測震度では、柏崎市中央町(震央距離：21.3km)で観測された6.3(震度6強)である。

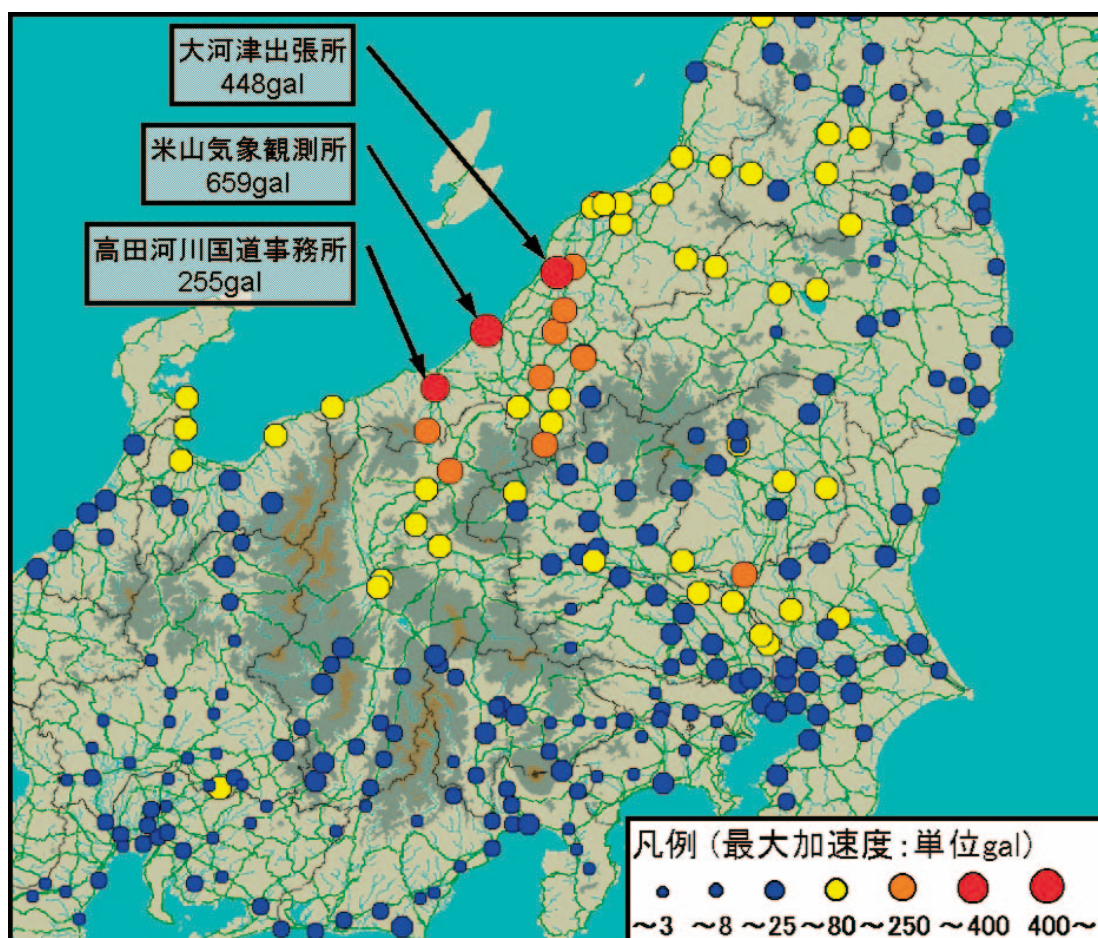


図-1.5 地震計NWで観測された最大加速度

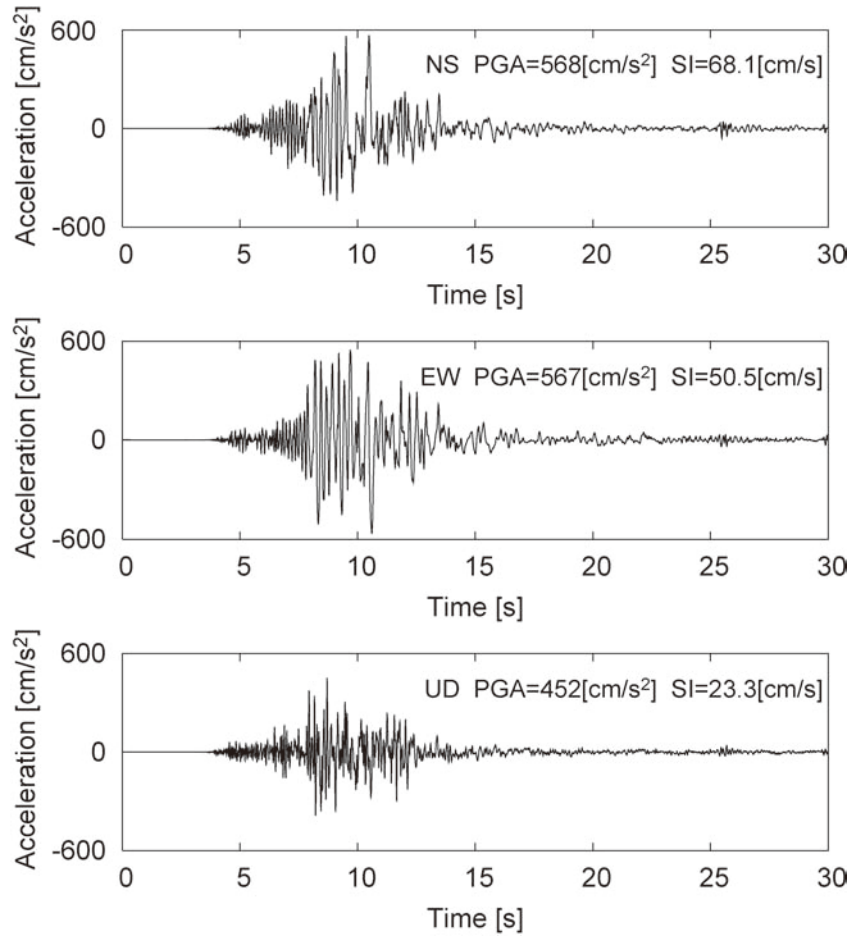


図-1.6 観測された加速度時刻歴波形(米山気象観測所)

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ：
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(平成19年8月8日)、2007
- 3) 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(平成20年1月11日)、2008
- 4) 国土技術政策総合研究所ホームページ：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>

2. 地形・地質

2.1 日本海東縁ひずみ集中帯

平成19年新潟県中越沖地震は、日本海東縁部に存在するひずみ集中帯と呼ばれる活構造の一部で発生したと考えられている¹⁾。ここでいうひずみとは地殻の変形程度を示すものであり、図-2.1に示すように、活断層、地震活動、測地観測等の様々なデータが、変形の時間スケールの違いこそあれ、共通して日本海東縁部にひずみ集中帯の存在を示唆している²⁾。この日本海東縁のひずみ集中帯は、約300万年前から現在に至るまで、東-西方向に地殻が圧縮されることで形成されたとされ、過去にも新潟地震、日本海中部地震、平成16年新潟県中越地震等の大地震が発生している。今回の地震も同様に、この地殻の圧縮変形の過程で発生したものであると考えられている³⁾。

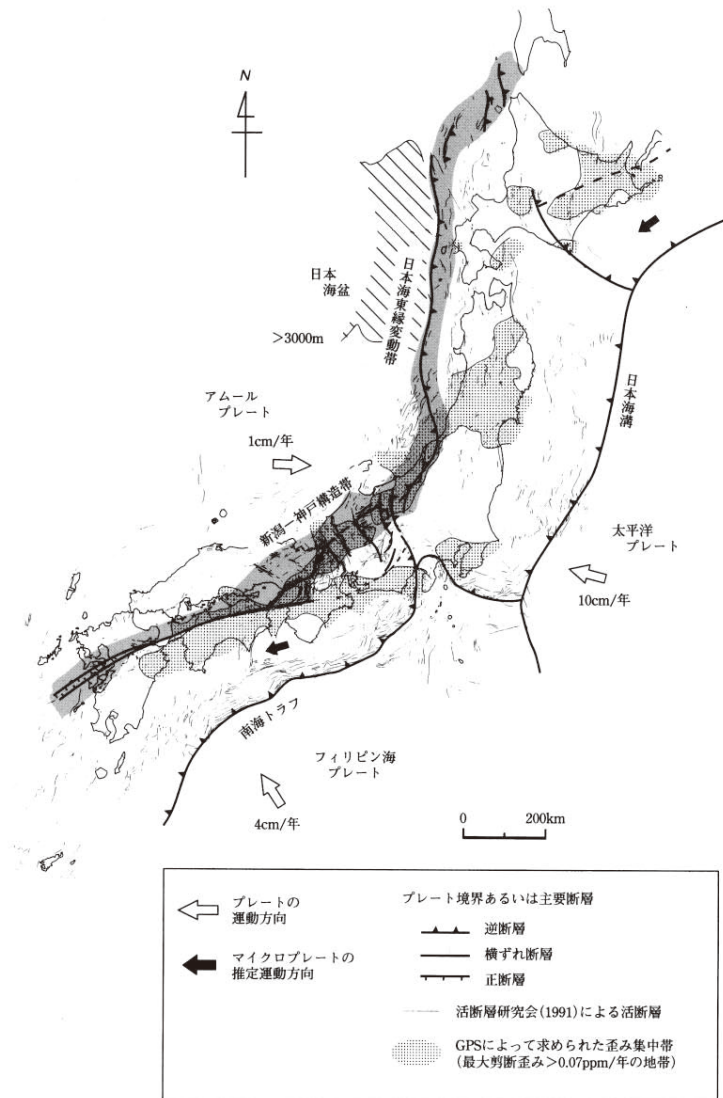


図-2.1 活断層、最大剪断歪み速度および主要変動境界²⁾

2.2 地形

2.2.1 地形の概要

長岡市から上越市にかけての地形は、主に丘陵と沖積平野からなる（図-2.2）。このうち沖積平野については、柏崎市、上越市、長岡市周辺に分布している。このうち、柏崎平野では、後背湿地や砂丘等の地形が発達し、平野と丘陵との平野周辺部には段丘が発達する。一方、長岡平野では、信濃川により形成された自然堤防が発達し、旧河道が低湿地として分布する。また、信濃川の左岸には数段の河成段丘が発達している。

丘陵については、柏崎市の北東には西山丘陵、南東には東山丘陵、魚沼丘陵および東頸城丘陵が標高100～300m程度で分布する。それらは主に新第三紀中新世～鮮新世の地層から構成され、丘陵の尾根部は概ね地層の褶曲構造の背斜部に対応する。

また、活構造については、長岡から北北東-南南西方向に続く信濃川低地沿いに、長岡平野西縁断層帯をはじめとした活断層が集中している。これは、先にも述べた日本海東縁のひずみ集中帯の一部を構成しており、平成16年新潟県中越地震等、多くの歴史地震がこれらの断層群を震源としている。

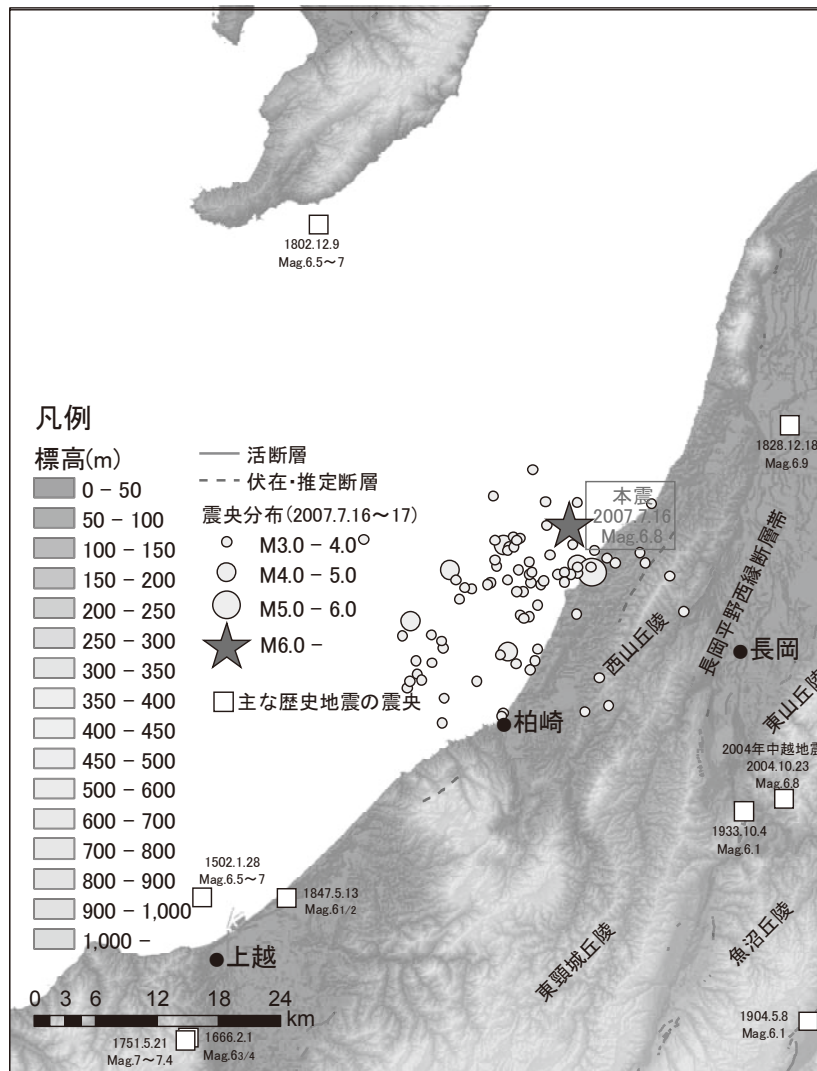


図-2.2 上中越地方の地形と活断層分布

活断層の位置は、中田・今泉編(2002)⁴⁾による

2.2.2 活構造

この地域に分布する活構造に関する資料には、『信越地域活構造図』（地質調査所、1979）⁵⁾、『新編 日本の活断層』（活断層研究会、1991）⁶⁾、『都市圏活断層図「長岡」⁷⁾「小千谷」⁸⁾「十日町」⁹⁾「高田」¹⁰⁾』（国土地理院、2001）、『活断層詳細デジタルマップ』（中田・今泉編、2002）⁴⁾、『第四紀逆断層アトラス』（池田ほか、2002）¹¹⁾等がある。

活構造は、長岡市から北北東-南南西方向に続く信濃川低地沿いに、長岡平野西縁断層帯をはじめとした活断層が集中している（図-2.2）。これらは、先にも述べた日本海東縁のひずみ集中帯の一部を構成し、平成 16 年新潟県中越地震等、多くの歴史地震を発生させている。

また、海域の断層に関する記載は、『佐渡島南方海底地質図』（地質調査所、1994）¹²⁾があり、図-2.3 中の灰色部分の隆起帯で、断層や褶曲が密に発達していることを指摘している。今回の地震は、本震の発震機構や余震分布から、北東-南西方向に延びる南東傾斜の逆断層によるものと推定され、海域の断層の延長部が震源断層である可能性が指摘されている。

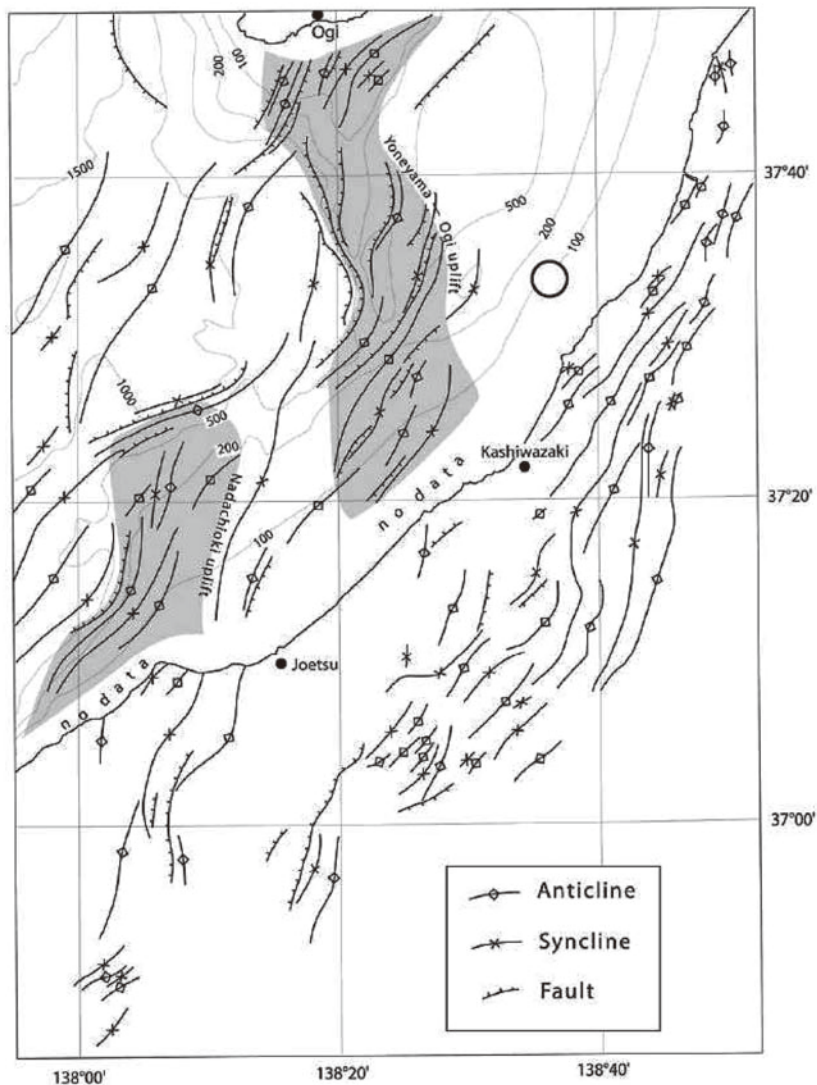


図-2.3 新潟県上中越地方～佐渡島南方海域の地質構造図¹²⁾

2.3 地質

新潟県上中越地域には、新第三紀中新世～第四紀の地層が広く分布する（図-2.4）。

この地域の新第三系は、地質構造や岩相によって、新潟油田地域と西頸城地域に分けられる。新潟油田地域は、新発田－小出構造線より西側（日本海側）で、南方は東頸城丘陵付近までの地域である。主に泥質岩からなる中新～鮮新統が分布し、油田・ガス田が多い。一方、西頸城地域は、東頸城丘陵付近より西側の地域であり、主に砂岩と泥岩のフレッシュ型互層からなる中新～鮮新統が分布する。これらの地層は、層厚数千m以上と推定されている。また、約300万年前（鮮新世後期）からの東西方向の圧縮変形により、北東－南西または北北東－南南西に軸を持つ幅15～20km程度の褶曲を伴っており、現在見られる主要な丘陵の稜線は背斜軸に、丘陵間の低地は向斜軸に概ね対応している（図-2.5）。

第四系は、鮮新統から連続する下～中部更新統、中～上部更新統および完新統からなる。下～中部更新統は、浅海成の灰爪層および海成～陸成の魚沼層が分布する。中～上部更新統は、海岸段丘および河岸段丘の堆積物などが分布する。完新統は、段丘堆積物、新砂丘堆積物および沖積層が分布する（図-2.6）。

以下に各地層の概要を述べる。

(1) 新第三系 新潟油田地域

新潟油田地域の新第三系のうち、本地域に分布するのは、下位より、寺泊層、椎谷層および西山層である。

1) 寺泊層

主に暗灰色ないし黒色の泥岩、及び泥岩と細粒砂岩との互層から構成される。半深海～深海成の堆積物である。

2) 椎谷層

寺泊層を整合に覆い、主に砂岩優勢な砂岩泥岩互層から構成される。地域によって層相が変化している。海底扇状地や半深海における堆積物である。

3) 西山層

椎谷層を整合に覆い、主に青緑色の塊状泥岩と細粒砂岩泥岩互層から構成される。多数の火山灰層を鍵層として挟む海底扇状地ないし半深海成の堆積物である。西山層は、地域により層相が異なり、それぞれ別の名称で呼ばれている。例えば、米山地域においては、塊状泥岩相のものは竹ヶ鼻層、砂岩泥岩互層～砂質シルト岩相のものは阿相島層、火山岩相のものは米山層と呼称される。

(2) 新第三系 西頸城地域

西頸城地域の新第三系のうち、本地域に分布するのは、下位より、難波山層、能生谷層、川詰層、名立層および谷浜層である。

1) 難波山層

主に硬い砂岩と泥岩のフレッシュ型互層と硬質で黒色の泥岩から構成される半深海の海底扇状地堆積物である。この互層は厚く成層した砂岩・礫質砂岩・含礫泥岩・スランプ堆積物を頻繁に伴い、まれに細粒の凝灰岩ないし凝灰質砂岩を挟む。難波山層は、紫雲谷層と飛山層に分けられることもある。

2) 能生谷層

難波山層を整合で覆う。主に泥岩がちの砂岩と泥岩のフリッシュ型互層と黒～暗灰色の塊状泥岩から構成される。厚く成層した砂岩・砂岩がちのフリッシュ型互層・含礫泥岩・スランプ堆積物を伴う。半深海の陸棚斜面から平坦面に堆積した堆積物である。

3) 川詰層

礫岩と砂岩に富み、また、側方への岩相変化が著しい。

4) 名立層

川詰層を整合に覆う。やや凝灰質な灰色で塊状の砂岩・砂質泥岩から構成され、薄い含礫泥岩・砂岩と泥岩の互層を挟む。一部にスランプ構造が見られる。上部ほど凝灰質であり、しばしば厚さ数cm程度の凝灰岩を挟む。

5) 谷浜層

主にやや凝灰質な淡緑灰色で塊状の泥岩から構成される。一部は砂岩と泥岩の互層からなる。泥岩は風化面においてもあまり細片化せず、下位の名立層よりも固結度がよい。

(3) 第三系鮮新統～第四系中部更新統¹⁴⁾

本地域に分布するのは、下部更新統の灰爪層と鮮新～更新統の魚沼層である。

1) 灰爪層

貝化石を多産する浅海成の地層で、細～中粒砂、砂質シルト、砂泥互層からなり、石灰質の砂を伴う。

2) 魚沼層

堆積盆の中心部では下位層に整合ないし一部指交するが、縁辺部では下位層を不整合に覆う。海成～陸成の岩相変化に富む地層であり、岩相から、砂層、砂・泥・砂礫層および礫・砂・シルト互層に分けられる。

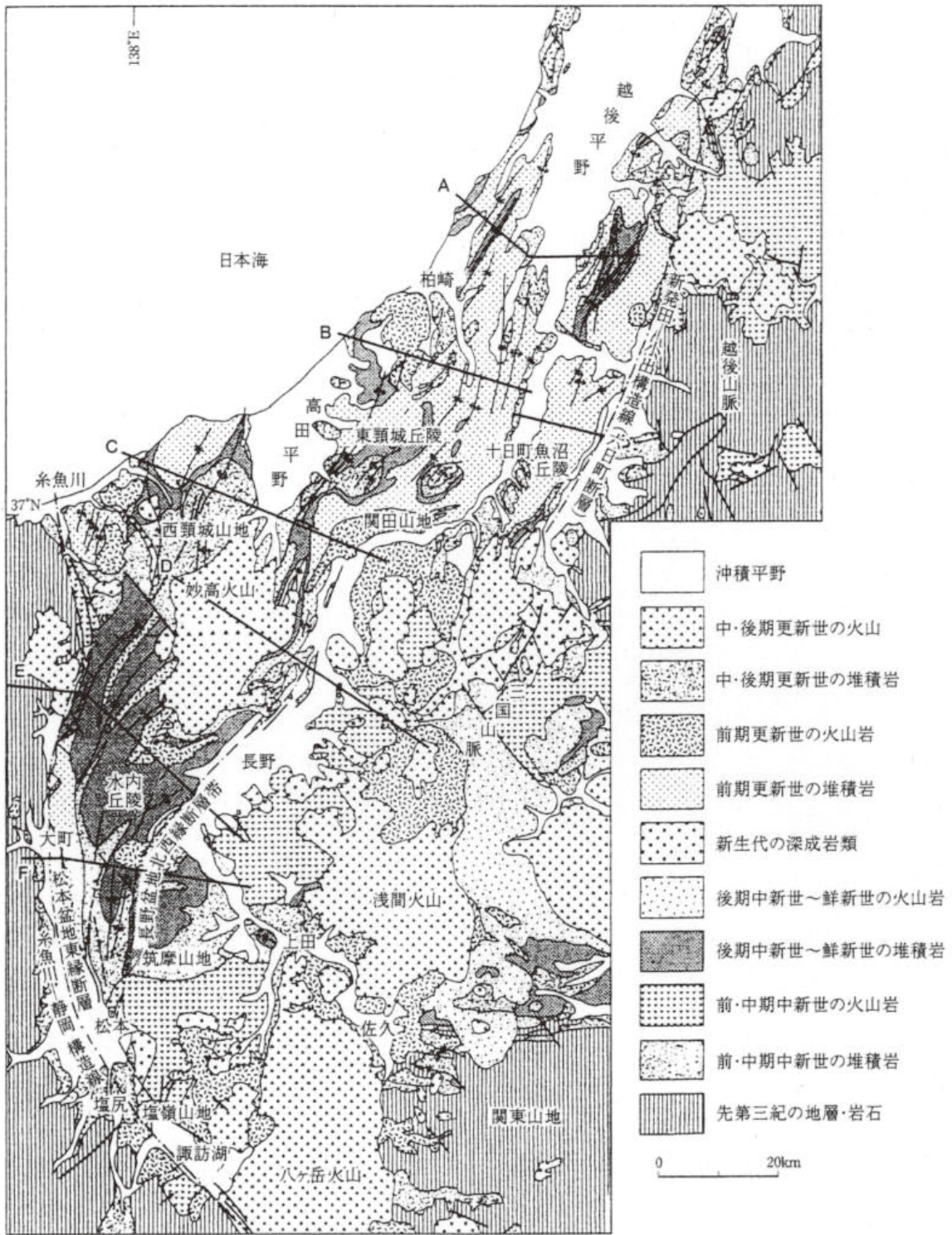


図-2.4 新潟県上中越地域の地質図¹³⁾

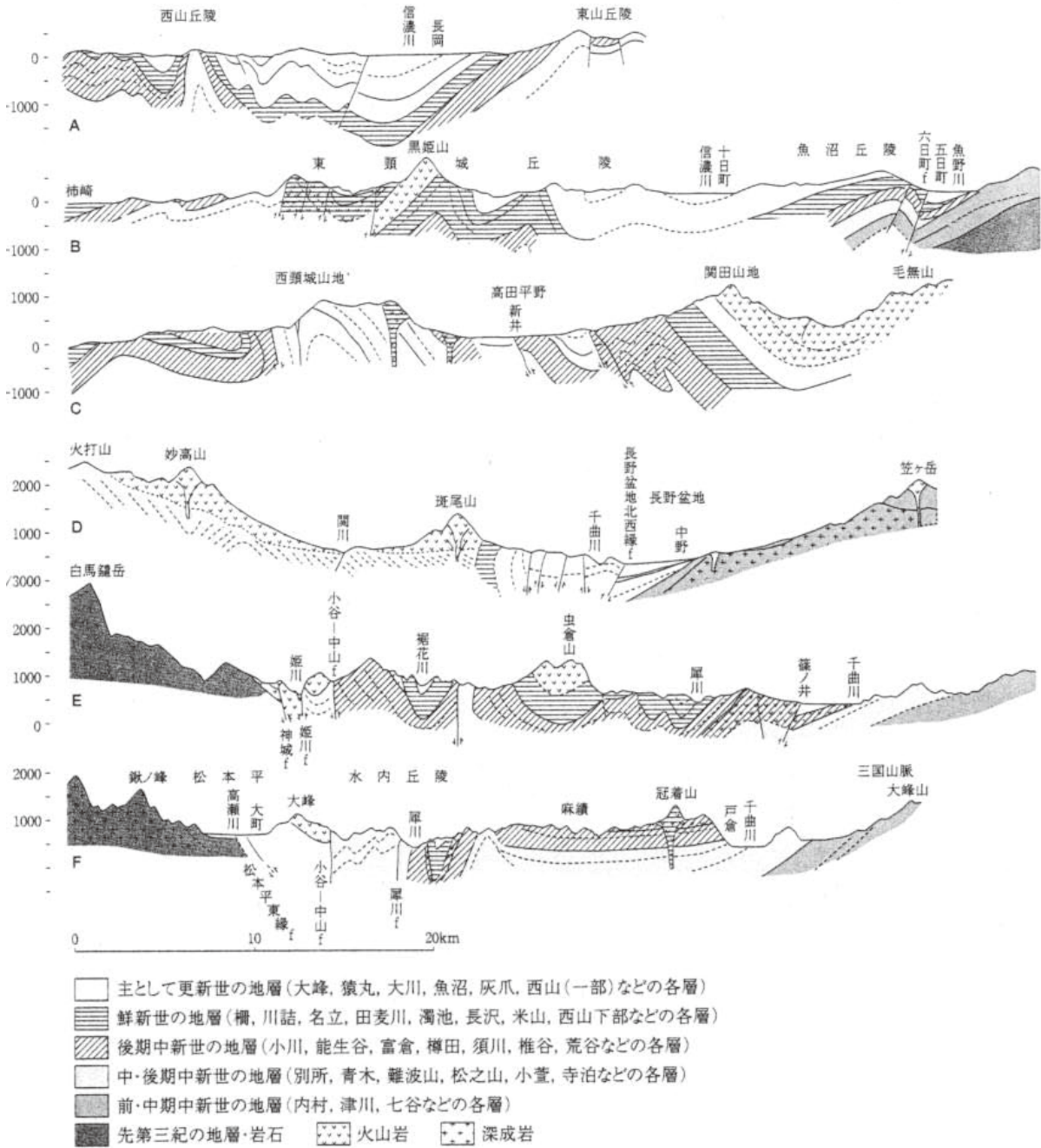


図-2.5 上中越地域の地質断面図¹³⁾

地質時代 ×10 ⁴ 年		上越地域	中・下越地域	佐渡地域	地質事件				
新 生 代	第四紀	完新世 ₁	焼山	沖積層・新砂丘堆積物・完新世段丘堆積物		沖積平野の形成			
		更新世	後期 ₁₃	妙高火山	低位段丘堆積物		海水準変動 段丘の形成		
			中期 ₇₈		中位段丘堆積物・古砂丘段丘堆積物				
			前期 ₁₆₄		高位段丘堆積物				
	第三紀	鮮新世	後期 ₃₄₀	苗場・飯土火山 守門火山・浅草火山	御山層	質場層	山地の急激な上昇 第四紀火山 山地の上昇		
			前期 ₅₁₀	魚沼層	灰爪層	貝立層			
		中新世	後期 ₁₀₄₀	谷浜層	白岩層	西山層	河内層	褶曲の完成 内湾一扇状地成堆積物 海退、広域的隆起 安山岩の海底火山活動 堆積盆の分化・ トラフの形成 脊梁部の隆起開始	
			中期 ₁₆₃₀	名立層					椎谷層
			前期 ₂₃₃₀	川詰層	能生谷層	寺泊層			
			漸新世	後期 ₂₃₃₀			飛山層		七谷層
				前期 ₂₃₃₀	紫雲谷層	津川層	下戸層		
			古第三紀	漸新世 ₃₅₄₀	鹿瀬層				五十川層・温海岳層
				始新世 ₅₆₅₀	親不知火山岩類 石坂流紋岩	三川層	山五十川層・一霞層		真更川層
			中生代	白亜紀	14600	朝日流紋岩	花崗岩類		陸上火山活動 花崗岩の貫入
		ジュラ紀			手取層群	足尾帯の地層			
		三疊紀		20800	来馬層群	奥利根層群	湖沼の出現 蛇紋岩の衝上地塊(ナップ) 低角衝上運動		
				24500	[青海一蓮華帯]		堆積性メランジをともなう 海成層の堆積		
		古生代	ペルム紀	29000	青海石灰岩	津川石灰岩	ベルム系	海成層(堆積性メランジ) 蛇紋岩複合岩体(メランジ) の形成 礫性石灰岩(海山)	
石炭紀	蛇紋岩			石炭系					
デボン紀	36300		青海結晶片岩	広域変成作用					

○ オリストリス(岩塊)として産出する

図-2.6 新潟県の地質系統
(出典：新潟県(2000)¹⁵⁾)

参考文献

- 1) 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/07jul_chuetsu_oki/index.htm、2007
- 2) 大竹政和、平 朝彦、太田陽子：日本海東縁の活断層と地震テクトニクス、201p、東京大学出版会、2002
- 3) 鷺谷 威：「ひずみ集中帯」とは何か、科学、第77巻、第11号、pp.1200～1205、2007
- 4) 中田 高、今泉俊文：活断層詳細デジタルマップ、東京大学出版会、CD-ROM、2002
- 5) 加藤禎一、山崎晴雄：信越地域活構造図、地質調査所、1979
- 6) 活断層研究会：新編 日本の活断層－分布図と資料、東京大学出版会、1991
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 渡辺満久、堤 浩之、宮内崇裕、金 幸隆、藤本大介：1:25,000都市圏活断層図「高田」、国土地理院技術資料D・1-No.396、2001
- 11) 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：第四紀逆断層アトラス、東京大学出版会、254p、2002
- 12) 岡村行信、竹内圭史、上嶋正人、佐藤幹夫：佐渡島南方海底地質図及び同説明書、地質調査所、25p、1994
- 13) 町田 洋、松田時彦、海津正倫、小泉武栄：日本の地形5 中部、東京大学出版会、385p、2006
- 14) 竹内圭史、川畑大作：中越柏崎－東頸城地域の5万分の1数値地質図、地質調査総合センター研究資料集、No.464、CD-ROM、産業技術総合研究所地質調査総合センター、2007
- 15) 新潟県：新潟県地質図説明書（2000年版）、200p、2000

3. 土砂災害

国土交通省砂防部保全課のとりまとめによると、土砂災害は、新潟県内では柏崎市等で106箇所、長野県内では2箇所の合計108箇所(平成19年8月6日現在)で発生した¹⁾。

新潟県の要請等に応じて、下記の新潟県柏崎市青海川地先、同米山町聖ヶ鼻地先、そして長岡市大積地区について現地調査を行うとともに、ヘリコプターによる空中調査、地上からの巡視等も実施し、緊急的に土砂災害発生の有無を確認するとともに、震後に撮影された空中写真を判読し、斜面崩壊の発生分布を調査した。

3.1 土砂災害危険箇所緊急点検

3.1.1 緊急点検の目的と概要

新潟県知事から国土交通大臣への派遣要請にもとづき土砂災害による2次災害防止を図るため、新潟県中越沖地震による震度5強以上の被災地域を対象に(図-3.1)、地震発生の3日後の7月19日～23日かけて、土砂災害対策緊急支援チームによる緊急点検が実施され、6市にわたる1,932箇所に及ぶ土砂災害危険箇所が調査された(図-3.2、表-3.1)。

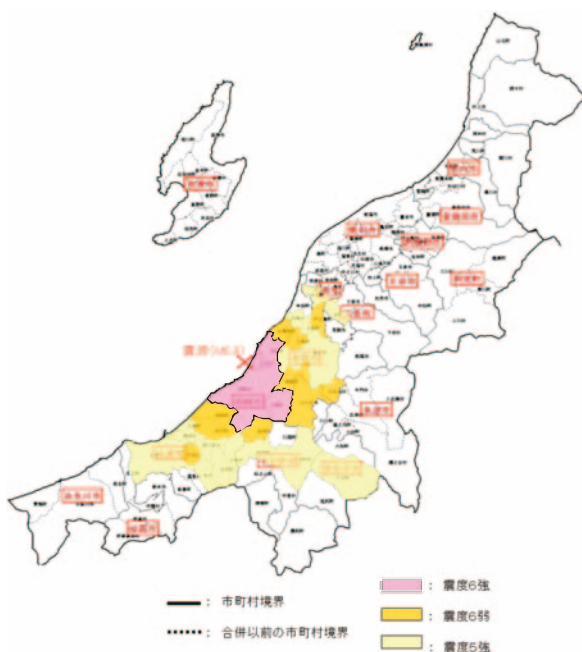


図-3.1 平成19年新潟中越沖地震
旧市町村別震度階
(H19.7.16 AM10:13)

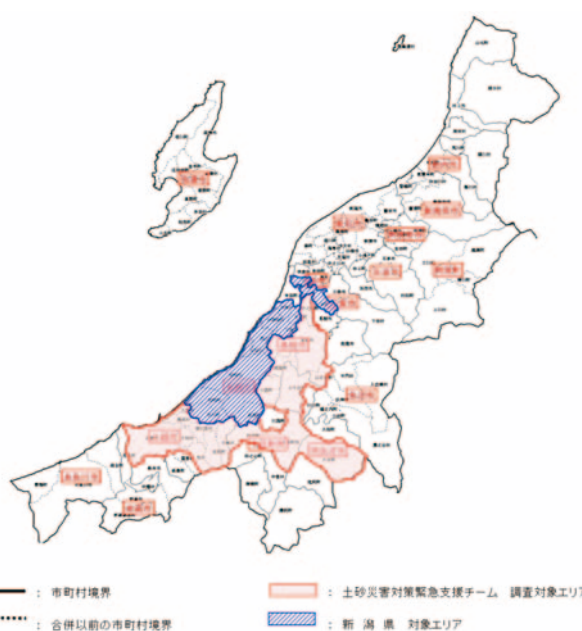


図-3.2 平成19年新潟中越沖地震土砂災害危険
箇所 緊急点検対象エリア

土砂災害対策緊急支援チームは、本部長を国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター長(土砂災害危険箇所等の震後点検に関する技術指導のため)とし、国土交通省、国土技術政策総合研究所、土木研究所、県、砂防ボランティア団体等の約130名より組織された。

表-3.1 土砂災害対策緊急支援チームによる点検対象市町村別危険箇所数

市町村 震度	市町村名		土砂災害危険箇所			
	新市町村	旧市町村	急傾斜	土石流	地すべり	合計
6強		旧小国町	40	32	9	81
6弱	長岡市	旧山古志村	56	8	15	79
		旧越路町	55	14	15	84
5強	小千谷市	小千谷市	50	91	39	180
		長岡市	旧長岡市	241	95	29
	十日町市	旧十日町市	182	89	29	300
		旧松代町	39	24	36	99
	南魚沼市	旧六日町	45	92	9	146
		旧安塚町	30	57	30	117
	上越市	旧蒲川原村	36	48	33	117
		旧大島村	35	28	16	79
		旧牧村	16	18	33	67
		旧上越市	58	97	35	190
旧大潟町		1	0	0	1	
		旧頸城村	13	14	0	27
合計			897	707	328	1,932

表-3.2 点検結果

旧市町村名	危険箇所数	新たな危険箇所	点検箇所合計	危険度A	危険度B	危険度C
小国町	81	0	81	2	1	78
山古志村	79	0	79	1	5	73
小千谷市	180	0	180	0	7	173
越路町	84	0	84	0	1	83
長岡市	365	1	366	4	7	354
十日町市	300	0	300	0	3	297
松代町	99	0	99	0	1	98
六日町	146	0	146	0	1	145
安塚町	117	0	117	0	4	113
蒲川原村	117	0	117	2	9	106
大島村	79	0	79	0	0	79
牧村	67	0	67	0	1	66
上越市	190	0	190	0	1	189
大潟町	1	0	1	0	0	1
頸城村	27	0	27	0	0	27
合計	1932	1	1933	9	41	1882

3.1.2 点検結果

1,932箇所にあたる点検作業の結果、緊急措置（ソフト対策を含む）を要すると考えられる「危険度A」の箇所が9件発見され（表-3.2）、速やかに新潟県に報告され、その後の防災対策に役立てられた。また、この地震による土砂災害発生件数108件の内52件は、新潟県及び土砂災害対策緊急支援チームにより把握された件数であり、本点検結果は、警戒避難体制の整備、応急復旧等被災地における復興事業の迅速な実施に役立ったものと考えられる。



写真-3.1 新潟県長岡市大積善間町の急傾斜地崩壊危険箇所の点検状況



写真-3.2 新潟県長岡市小国町の河道閉塞箇所の点検状況

3.2 斜面崩壊

3.2.1 斜面崩壊の分布と特徴

前述のとおり、今回の地震で発生が確認された108箇所の土砂災害は、土砂災害危険箇所で発生したものが主体である。このほか、国土地理院では7月19日に緊急の1/10,000カラー空中写真撮影を実施し、各種の被害状況を災害状況図（電子国土）として公表しており、空中写真に現地踏査範囲を加えた260.8km²における172箇所の斜面崩壊について、国土地理院の50mメッシュ数値地形モデル（DEM）を用いた地形的特徴を調べている²⁾。

佐藤（2007）によれば、斜面崩壊は崩壊面積の狭い浅層崩壊である小崩壊と、崩壊深の大きい斜面崩壊や地すべりである大崩壊に区分され、斜面崩壊はその面積が50m×50mに収まる程度の小崩壊がほとんどであり、大崩壊も含め、その中心に相当する注目メッシュの傾斜と斜面方位で地形的特徴を把握したところ以下の特徴が述べられている。

- 1) 大崩壊は小崩壊よりもより急な傾斜帯に最高頻度がみられ、小崩壊は傾斜が急になるほど面積比が高くなり、35-40°の傾斜帯はそれより緩い傾斜帯の3倍以上も面積比が高い。
- 2) 北西の向きに斜面崩壊の斜面方位が偏っており、大崩壊の個数は小崩壊よりもはるかに少ないものの、いずれも同様の傾向である。
- 3) 断面形状が凹よりも凸の斜面で相対的に斜面崩壊が多い。

地震直後の現地調査³⁾では、上記の範囲以外の内陸部においても多くの崩壊がみられた（写真-3.3～3.5）。このため、より広範囲で撮影されている空中写真（縮尺1/6000）を用いた斜面崩壊の判読を現在進めている。

なお、判読においては内陸部の丘陵と山地、海岸部の崖は対象として、20万分の1数値地質図⁴⁾の低地に相当する部分は平地として対象範囲外としたため、対象とする面積は約190km²である。

対象範囲では、地すべりを含めて斜面崩壊は336箇所確認された（図-3.3）。崩壊が



写真-3.3 内陸部で発生した崩壊（長岡市（旧小国町）渋海川支川芝ノ又川の右岸）



写真-3.4 内陸部で発生した崩壊（長岡市（旧小国町）渋海川支川土口川の右岸）



写真-3.5 内陸部で発生した崩壊（長岡市（旧小国町）渋海川支川国沢川の右岸）

多く発生している範囲は大きく①西山丘陵とその海岸部、②柏崎～上越市柿崎区までの海岸部、③鯖石川から渋海川の中の西山丘陵南端部、の3つに区分できる。また、数は少ないが、柏崎市街地のある平野の縁辺部と、④の鵜川周辺の丘陵地でも崩壊が発生している。これらの崩壊の分布を推計震度分布図⁵⁾に重ねてみると、崩壊は一部で震度5強の範囲があるが、ほとんどが震度6弱以上の範囲で発生していることがわかる(図-3.4)。また、地質図⁶⁾と比較すると、砂岩、泥岩、砂岩・泥岩互層において崩壊が多くなっている。

なお、新潟県中越沖地震で発生した崩壊のうち、北部の範囲は平成16(2004)年7月13日に発生した新潟・福島豪雨、南部の範囲は平成16(2004)年10月23日に発生した新潟県中越地震での崩壊と混在しているため、今後は新潟県中越沖地震で発生した崩壊とその他の崩壊を明確に区別する必要がある。山岸(2007)は北方の出雲崎町の範囲において、豪雨と新潟県中越沖地震による崩壊の比較を行っている⁷⁾。これによると、豪雨によって表層崩壊が377箇所発生したほか、深層崩壊や地すべり、泥流が多く発生しているが、地震では海食崖でやや規模が大きいものがあるものの、ほとんどが表層崩壊であること、地震で発生した54箇所の崩壊のうち、18箇所が豪雨による崩壊が再崩壊したこと、豪雨によ

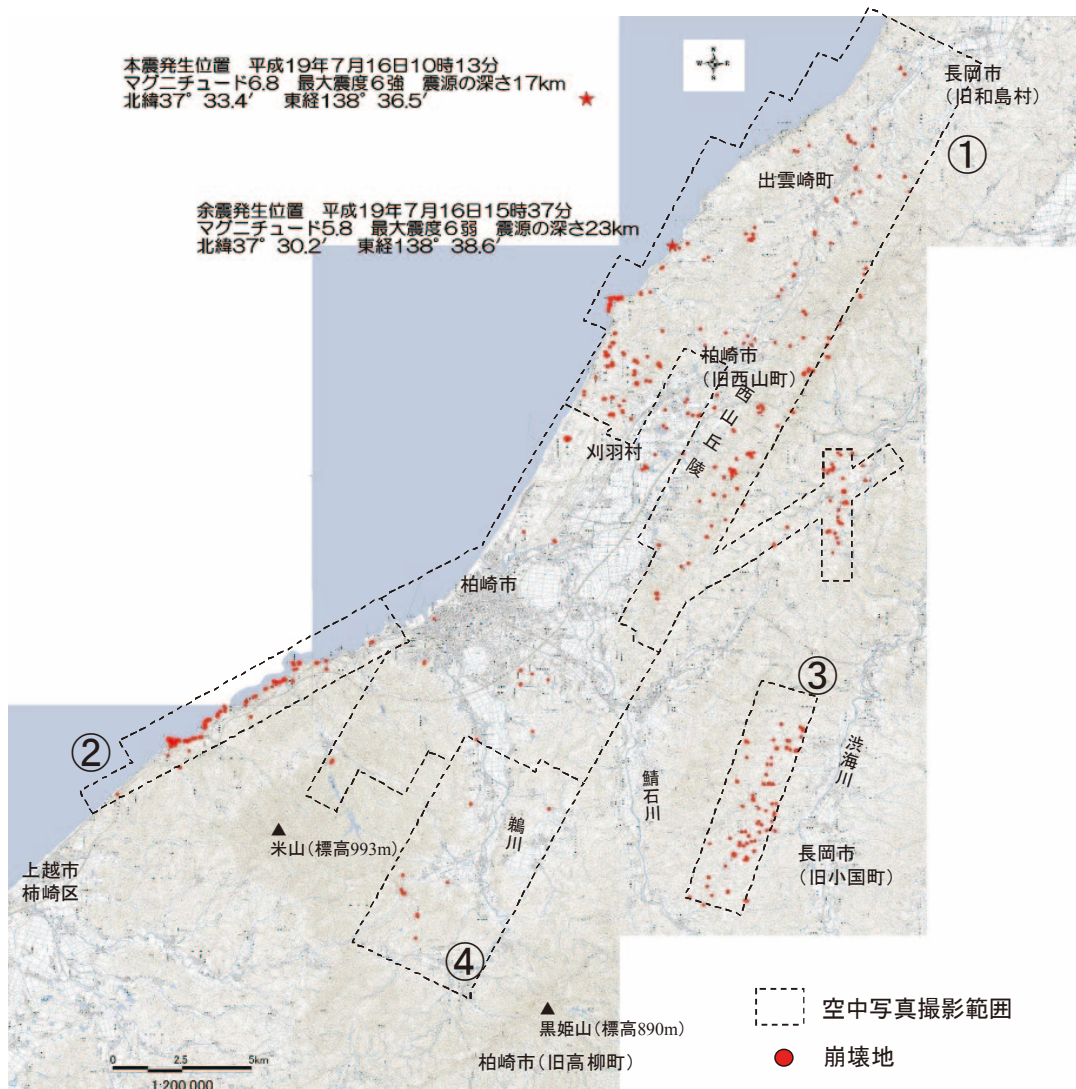


図-3.3 斜面崩壊の分布

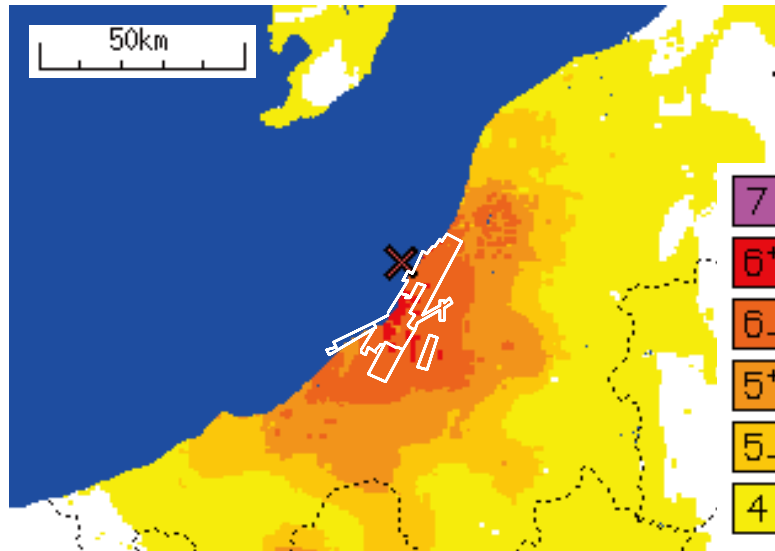


図-3.4 推計震度と崩壊の分布（気象庁資料を改変・加筆）

る崩壊は砂岩帯で155箇所、泥岩帯で227箇所発生しているが、新潟県中越沖地震の場合には砂岩・泥岩帯でほぼ同数発生していることが明らかとなっている。

空中写真では全ての範囲を網羅していないため、今後は現地調査を合わせて実施し、広範囲において崩壊の特徴を明らかにするとともに、各崩壊地の元地形に対する関係や地震動、地質や地質構造との関係、降雨による崩壊との差異について検討を行う必要がある。

3.2.2 新潟県中越沖地震における崩壊面積率等

3.2.1で判読している崩壊地について、崩壊面積率を算定した。結果を表-3.3に示す。崩壊面積率は約0.1%となった。同様の方法で前述の①から④までの区域別に求めた結果を表-3.4に示す。区域によって崩壊面積率は差異があり、海岸部の②で最も大きい、内陸部でも③の区域は大きい。

今後は各崩壊地それぞれの具体的な諸元を算出して、地震動や崩壊分布、地質の特徴に応じた区域別の崩壊面積率の算定等も行いその特性を明らかにする必要がある。

表-3.3 地震による崩壊の面積率等（平成19年(2007年)能登半島地震被害調査報告⁸⁾の表に新潟県中越沖地震を加筆)

地震名	発生年	マグニチュード	対象面積 (km ²)	崩壊数 (個)	崩壊面積 (km ²)	崩壊面積率 (%)	崩壊密度 (個/km ²)	崩壊地の平均面積 (m ² /個)
濃尾地震	1891	8.0	99.03	451	10.82	10.9	4.6	23990
北丹後地震	1927	7.3	643.7	4647	3.41	0.53	7.2	730
関東地震	1923	7.9	52.84	945	8.0	15.1	17.9	8470
今市地震	1949	6.4/6.7	233.5	425	0.573	0.29	1.8	1350
新潟地震	1964	7.5	386.4	534	0.325	0.084	1.4	610
伊豆半島沖地震	1974	6.9	82.7	225	0.746	0.902	2.7	3320
伊豆大島近海地震	1978	7.0	300	224	1.4	0.467	0.7	6250
長野県西部地震	1984	6.8	88	223	0.666	0.76	2.5	2990
	1984	6.8	58.1	190	0.548	0.94	3.3	2880
北海道南西沖地震	1993	7.8	140	997	1.023	0.74	7.1	1030
兵庫県南部地震	1995	7.3	140.4	896	0.278	0.2	6.4	310
鹿児島県北西部地震	1997	6.5	6.8	166	0.0388	0.57	24.4	230
	1997	6.3	6.8	253	0.0722	1.07	37.2	290
新潟県中越地震	2004	6.8	37.9	1419	1.478	3.9	37.4	1040
能登半島地震	2007	6.9	425	100	-	0.06	0.2	-
新潟県中越沖地震	2007	6.8	190	336	0.216	0.11	1.8	640

表-3.4 新潟県中越沖地震による崩壊の面積率等
(区域番号は図-3.3に同じ)

区域番号	崩壊数 (個)	崩壊面積 率(%)	崩壊密度 (個/km ²)
①	194	0.08	1.5
②	85	0.61	6.9
③	44	0.14	0.4
④	13	0.02	2.2
全区域	336	0.11	1.8

3.3 地すべり（柏崎市青海川地先、柏崎市米山町聖ヶ鼻地先）

平成19年11月8日時点の新潟県土木部のとりまとめによると、地震により23箇所で地すべり災害が発生し、その内3箇所で災害関連緊急地すべり対策事業が採択された。その内、柏崎市青海川地先、および同米山町聖ヶ鼻地先で発生した地すべりにおいて、地震後の7月19日に現地調査を行ったため、その結果とその後に対応などについて報告する。



図-3.5 位置図

3.3.1 柏崎市青海川地先で発生した地すべり

(1) 地すべりの概要

地すべりは、柏崎市内から約7kmに位置するJR信越本線の青海川駅背後の海蝕崖で発生した（図-3.5、写真-3.6）。地すべりが発生した斜面は比高約35m、傾斜約50°、地質は新第三紀鮮新世の米山層で、上部が泥岩、下部が火山礫岩からなる⁶⁾（写真-3.7）。地すべりの規模は、幅約65m、長さ約45m、高さ約35mで、約15,000m³の崩落土砂が日本海沿いを通るJR信越本線の軌道を埋塞して海に到達し、青海川駅の一部が被災した（写真-3.7）。地すべり発生により、JR信越本線が不通になるとともに、7月16日18:30には斜面上部に住む8世帯37名に避難指示、7月22日18:30には2世帯6名に避難勧告が出された⁹⁾。



写真-3.6 地すべり全景(北陸地方整備局提供)

地すべり崩落面の中央部には、写真-3.8のようにほぼ水平の地層境界面が見られ、この付近から流れ出る湧水が確認された。

地すべり地周辺の斜面肩部には、地震により長さ約220mに及ぶ亀裂が形成された（写真-3.6）。また、写真-3.6の地すべり地左側の斜面には過去に地すべりなどにより形成されたものと考えられる平坦面が見られた。この平坦面の下方斜面でも表層の崩壊が発生し、平坦面上には亀裂があることが確認された。



写真-3.7 地すべり全景（7月19日撮影）



写真-3.8 崩落面の状況（7月19日撮影）

(2) 応急対策について

地すべりによる崩落土砂は落ちきっていたため、JR信越本線の軌道の敷設にあたり、崩落土砂の切り土が地すべり滑動を誘発することはないと考えられた。しかし、斜面上部には人家があり、斜面肩部には連続する一部開口した亀裂が形成されていることから、地盤伸縮計等で斜面の変動を観測するとともに、法枠工やアンカー工、水抜き工を施工することが対策として適当であると考えられた。



写真-3.9 対策状況（新潟県提供：11月20日撮影）

平成19年11月20日時点の復旧状況としては、斜面上部の青海川集落の保全とJR信越本線の早期復旧のため、防水シートの設置や緊急工事による不安定土砂の撤去、斜面へのモルタル吹付工などが行われ、9月13日にはJR信越本線の全線が再開した⁹⁾。また、復旧工事

として法枠工、アンカー工、水抜き工が施工されている（写真-3.9）。

3.3.2 柏崎市米山町米山地先で発生した地すべり

(1) 地すべりの概要

地すべりは、柏崎市内から約10kmに位置する聖ヶ鼻の傾斜30°程度の南西向き斜面で発生した（図-3.5、写真-3.10）。地質は、中新統上部の聖ヶ鼻層の砂岩・礫岩および砂岩泥岩互層であり⁶⁾、日本応用地質学会の現地調査報告によると、聖ヶ鼻層はほぼ東西の走向で、北に30°前後傾斜している¹⁰⁾（写真-3.11）。聖ヶ鼻の北向き斜面では、層理面に沿う流れ盤構造の地すべりや崩壊が数カ所で発生したが、本地すべりは南西向き斜面で発生したため、地層の傾斜に対してやや受け盤構造となっている（写真-3.10）。



写真-3.10 地すべり全景(北陸地方整備局提供)



写真-3.11 露頭(7月19日撮影)



写真-3.12 滑落崖(7月19日撮影)

地すべりの規模は、幅約80m、長さ約110m、高さ約60mである。地すべりは尾根の頂部から発生し、高さ約10mの滑落崖が形成された（写真-3.12）。また、斜面中腹には崩落土砂が堆積し、地すべり末端部に位置する市道にも崩落土砂が堆積した（写真-3.13）。

この地すべりにより、7月16日14:10には地すべりが崩落した際に影響が及ぶと考えられる米山町米山地区の20世帯60名に避難勧告が出された⁹⁾。

また、地すべり地西側の市道には、高さ約60cmの段差が斜面肩部へと約50mの長さで連続していたが、本地すべり地に連続する亀裂ではなく、地震による表層すべりによるものと考えられた（写真-3.10、写真-3.14）。



写真-3.13 崩落土砂(7月19日撮影)



写真-3.14 市道に生じた段差(7月19日撮影)

(2) 応急対策について

地すべりによる崩落土砂が斜面中腹部に残存する状況であるとともに、地すべり地の斜面下方には米山集落が隣接していたため、早期の地すべり監視体制整備と応急対策工の実施が求められた。

まず、地すべりの観測および対策工を実施するために斜面の立木の伐採を行い、地すべり地内に地盤伸縮計を設置して地すべりの変位観測を行い、これと警報機を連動させて監視体制をと



写真-3.15 対策状況 (新潟県提供：11月20日撮影)

ることが考えられた。また、夜間は投光器を用いて地すべり地を照らし、監視カメラで24時間体制の監視を行うことが適当と考えられた。

対策工としては、地すべりの末端部に土嚢を積むことで末端部の崩落土砂が米山集落まで流出することを防ぐ対策や、地すべりが尾根の頂部から発生しているため、不安定に残る尾根部の排土および地すべり頭部の排土が考えられた。

応急対策として大型土嚢による土砂止工の設置、斜面の伐木、監視カメラや警報器などの設置を実施し、平成19年11月20日時点の復旧工事として地すべり頭部の排土工、アンカー工が行われている⁹⁾（写真-3.15）。

3.4 まとめ

今回の地震では、地震直後の空中調査等の結果から、震度5強以上の揺れを感じた範囲において土砂災害が発生している可能性が高いとして、緊急支援チームによる緊急点検範囲等が定められた。地震後の調査結果によれば、地すべり・斜面崩壊の分布はおおむね震度6弱以上の揺れを感じた範囲に限定されていると言え、結果的にこの判断は正しかったものと考えられる。

崩壊面積率は約0.1%であった。過去の地震の事例、たとえば、同じマグニチュードの平成16年新潟県中越地震の3.9%と比べると大幅に小さい値である。また、発生した地すべりの規模も桁違いに小さく、顕著な河道閉塞を発生させることも無かった。このことが、地質条件、地形条件、それとも、先行降雨条件のいずれに起因するのか、今後、注意深く追究しなければならない課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部ホームページ：新潟県中越沖地震による土砂災害情報
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h19dosha/7gatu/niigatajishinnsaigaijyouhou08091800.pdf>
- 2) 佐藤浩：「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」による斜面崩壊のGIS解析、国土地理院ホームページ
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H19-nigata/centre.htm>
- 3) 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緊急調査団：平成19年新潟県中越沖地震の緊急調査速報、土木技術資料、第49巻、第9号、pp.6～9、2007
- 4) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）：20万分の1日本シームレス地質図データベース、産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084、産業技術総合研究所地質調査総合センター、2005
- 5) 気象庁ホームページ：地震の詳細資料（推計震度分布図）、「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
- 6) (独)産業技術総合研究所：5万分の1地質図「柏崎」
- 7) 山岸宏光：7.16中越沖地震に関するGIS資料(1)、中越沖地震新潟大学調査団WEBページ
<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~070716/doc/GIS01.pdf>
- 8) 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)能登半島地震被害調査報告、3. 土砂災害、2008
- 9) 新潟県土木部ホームページ：
<http://www.pref.niigata.jp/doboku/engawa/>
- 10) 日本応用地質学会ホームページ：
<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jseg/>

4. 下水道施設

4.1 概要

下水道施設の被害は、新潟県5市1町及び長野県1市の公共下水道と、新潟県の流域下水道で発生した。図-4.1に下水道施設が被災した市町を示す¹⁾。

被災した施設の内訳としては、管路施設（管渠及びポンプ場）が5市1町（新潟県長岡市、柏崎市、上越市、小千谷市、出雲崎町、長野県飯山市）、下水処理施設は新潟県の流域下水道の処理場を含む1県4市の計6カ所の処理場となっている（表-4.1～4.3 参照、平成19年10月9日15:00時点、国土交通省発表）²⁾。

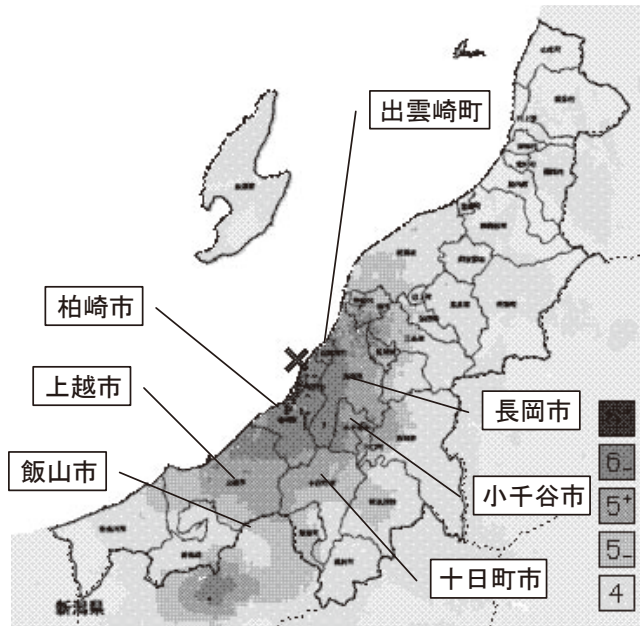


図-4.1 下水道施設が被災した市町

表-4.1 下水道施設（管渠）の被害状況一覧

県名	管理者名	施設名	被害状況等	備考
新潟県	柏崎市	公共下水道管渠（汚水）	被災延長約 32.7km	滞水の著しいマンホールでは、仮配管による応急処置
		公共下水道管渠（雨水）	被災延長約 4.7km	雨水排水に支障なし
	上越市	公共下水道管渠	被災延長約 0.9km	特に流下に支障なし
	長岡市	公共下水道管渠	被災延長約 5.8km	特に流下に支障なし
	小千谷市	公共下水道管渠	被災延長約 3.7km	特に流下に支障なし
	出雲崎町	公共下水道管渠	被災延長約 2.6km	特に流下に支障なし
長野県	飯山市	公共下水道管渠	マンホールポンプ用引込線電柱折れ(1箇所)	

表-4.2 下水道施設（ポンプ場）の被害状況一覧

県名	管理者名	施設名	被害状況等	備考
新潟県	柏崎市	八坂中継ポンプ場	・圧送管破断 ・場内陥没	バキューム車で対応
		柳橋中継ポンプ場	・圧送管2本のうち1本破断 ・場内陥没	1本により送水
		鶴川右岸第1排水区 雨水ポンプ場	・場内陥没 ・建物外壁一部損壊	雨水排水に支障なし

表-4.3 下水道施設（下水処理施設）の被害状況一覧

県名	管理者名	施設名	被害状況等	備考
新潟県	新潟県	信濃川下流域下水道 長岡浄化センター	最終沈殿池一部破損	水処理施設の稼働に 支障なし
	十日町市	下水処理センター	脱臭設備の配管フランジ部破 損	水処理施設の稼働に 支障なし
	柏崎市	自然環境浄化センター	・汚泥棟基礎杭一部破損 ・消化ガスホルダー内部破損 ・場内道路等の隆起・陥没	水処理施設の稼働に 支障なし
		石地アメテライフセンター	場内道路等の陥没・隆起	水処理施設の稼働に 支障なし
	上越市	柿崎浄化センター	処理場周辺地盤の陥没	水処理施設の稼働に 支障なし
	長岡市	小国浄化センター	脱臭ダクト破損	水処理施設の稼働に 支障なし

4.2 下水道施設の被害状況

(1) 管渠の被害状況

管渠の被害は、表-4.4 の管渠の施設別被害状況に示す通り、5市1町で発生した（長野県飯山市は、マンホールポンプ用引き込み電柱折れのみのため、以後、省略する）。

今回の地震により、既設管路（4市1町総計3,071.9 km）の内、1.6%にあたる50.4 kmが被害を受けた。被災管渠の大半は、震源に近い柏崎市に集中しており、被災管路全体の7割以上を占めている。被災人孔にいたっては、被災人孔全体の9割にあたる1,313カ所が柏崎市に集中している。

表-4.4 管渠の施設別被害状況³⁾

	長岡市	上越市	柏崎市	小千谷市	出雲崎町	計
管路延長	1,785.2 km	593.8 km	462.6 km	190.7 km	39.6 km	3,071.9 km
被災管路延長	5.8 km	0.9 km	37.4 km	3.7 km	2.6 km	50.4 km
被災人孔個数	29 個	17 個	1,313 個	0 個	109 個	1,468 個
被害率	0.3%	0.1%	8.1%	1.9%	6.6%	1.6%

※被害率＝被災管路延長／管路延長

※災害査定

管渠の主な被害としては、マンホールの隆起（写真-4.1）、マンホール周辺の沈下及び陥没（写真-4.2）、管渠埋戻し部の沈下（写真-4.3）、マンホール内側壁のズレ（写真-4.4）、マンホール内の汚水滞水（写真-4.5）であった。



写真-4.1 マンホール隆起
(柏崎市栄町)



写真-4.2 マンホール周辺沈下・陥没
(長岡市大積)



写真-4.3 埋戻し部沈下
(長岡市和島)

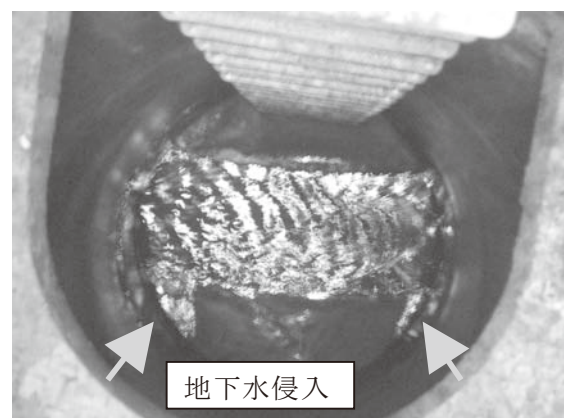


写真-4.4 マンホール内側壁のズレ
(上越市柿崎)

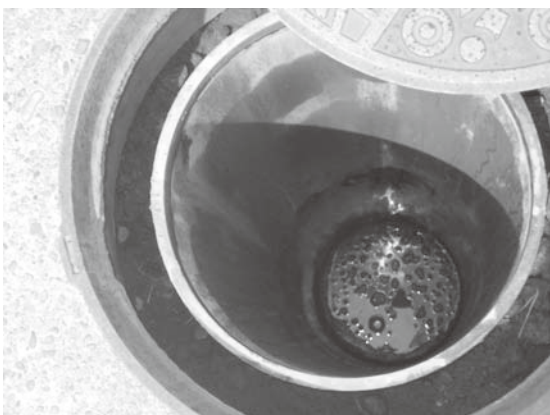
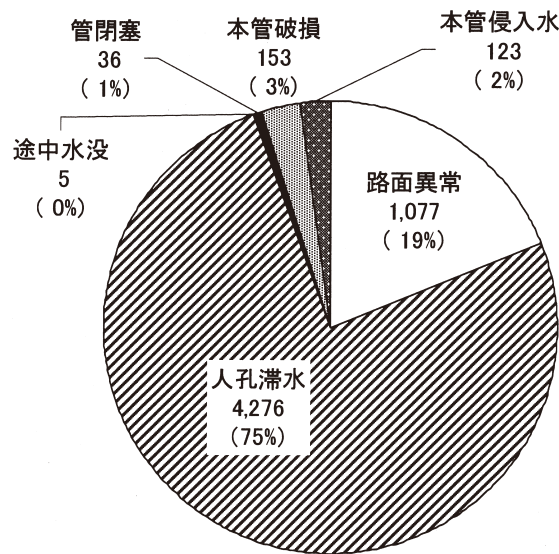


写真-4.5 小型マンホール内滞水
(長岡市宮本)

表-4.5 は、一次調査における管路施設の部位別被害状況の調査結果を示している。図-4.2、図-4.4 は、部位別の被害状況内訳を示している。なお、一次調査とは、被災後に、全体的な被害状況の把握を目的として実施する調査である。調査範囲は基本的に全地域であり、路面の異常、マンホール及び圧送管からの下水流出の有無、管路内への危険物（ガス、石油等）の流入の有無、マンホールの異常の有無、管路の異常の有無、取付け管・ます等の異常の有無を目視及び計測で行うことされている⁴⁾。



※被害内訳の用語の定義については表-4.5 参照

図-4.2 管渠の被害内訳（一次調査結果）

管渠においては、汚水の滞水が多く（75%）確認されている。これは、地震動による周辺地盤の変位や、埋戻し部の液状化により、管渠に破損やたるみ等が発生したことにより、管内における土砂堆積や逆勾配が生じ、下水の疎通が妨げられたことが原因と考えられる。また、今回の地震においては、路面異常がない現場でも、マンホールを開けると滞水していたケースが多く、震災直後に実施する緊急調査（地上からの目視）では判明しなかった被害が、一次調査において多く発見されている。

ここで、汚水滞水が認められた管渠においては、応急対策としてバキューム車による汚水の吸引及び搬送が実施された他、仮設トイレの汚物についてもバキューム車により対応していた。しかしながら、バキューム車の保有台数の制約により十分な対応ができず苦慮している様子が伺われたことから、災害時のバキューム車の支援体制のあり方について今後検討が必要と考えられた。

次いで多いのは路面異常（19%）であるが、舗装面の沈下・陥没などは交通障害となることから、二次災害を引き起こしやすく、また災害支援活動にも影響を及ぼすと考えられる。原因としては、管渠の破損に伴う管渠内への埋戻し土の吸い出しや、埋戻し部の液状化等が考えられるが、今回の地震では、道路盛土の変状による土砂移動によるケースが確認された（写真-4.6、図-4.3）。

表-4.5 管路施設の部位別被害状況（一次調査結果）³⁾

	長岡市							上越市			柏崎市			計
	旧長岡市	旧三島町	旧和島村	旧与板町	計	旧浦川原村	旧柿崎町	計	旧柏崎市	旧西山町	計	小千谷市	出雲崎町	
	管路延長(km)	1,280	57.0	41.0	57.0	1,435	17.5	32.4	49.9	436.8	25.8	462.6	190.7	
調査延長累計(km)	10.0	10.5	32.0	55.0	107.5	1.5	32.4	33.9	436.8	25.8	462.6	190.7	9.2	803.9
二次調査必要延長(km)	6.4	2.0	1.0	0.8	10.2	0.8	2.0	2.8	43.5	6.0	49.5	4.2	3.9	70.6
路面異常(力所)	1				1	11	20	31	899	61	960		85	1,077
人孔滞水(力所)	240	56	16		312	9	30	39	3373	228	3601	264	60	4,276
途中水没(力所)						5		5						5
管閉塞(力所)	1		1		2				32	2	34			36
本管破損(力所)	1		1		2		30	30	113	8	121			153
本管侵入水(力所)	1		1		2				113	8	121			123
合計(力所)	244	56	19		319	25	80	105	4,530	307	4,837	264	145	5,670
鉄蓋(力所)									4497	15	4512			4,512
躯体(力所)	1			28	29		17	17	1124	30	1154			1,200
土砂汚水(力所)	1				1				3373	228	3601			3,602
管接合部(力所)	1				1		17	17	225	16	241		50	309
突出(力所)									450	30	480		6	486
その他(力所)														
合計(力所)	3			28	31		34	34	9,669	319	9,988	0	56	10,109

【用語の定義】

路面異常：路面状況の異常（沈下、陥没、隆起、噴砂、噴水、波打ち）

途中水没：本管の一部が水没した状態

本管破損：本管継ぎ目のずれ、本管の破損

鉄蓋：マンホール内の蓋、蓋枠のズレ

土砂汚水：マンホール内の土砂、汚水堆積

突出：マンホールが路面より浮き上がった状態

人孔滞水：マンホールに水が溜まった状態

管閉塞：土砂等で本管が閉塞した状態

本管浸入水：管内への漏水

躯体：マンホール内側壁のズレ、破損

管接合部：マンホールと本管接続部のズレ、破損

その他：上記のいずれにもあてはまらない被害



写真-4.6 道路盛土の変状による地盤変形
(出雲崎町川西)

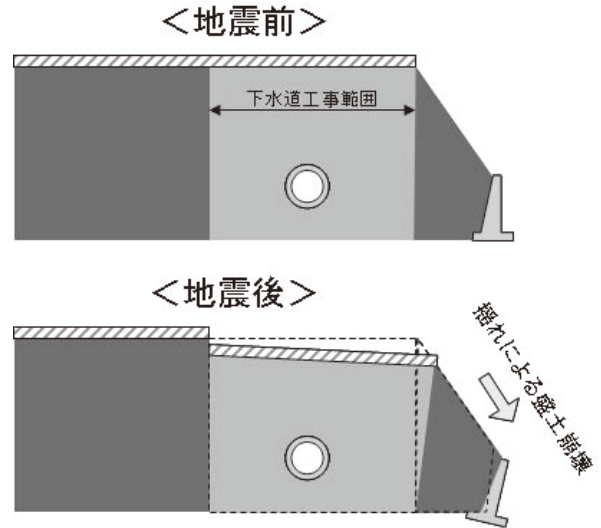


図-4.3 道路盛土の変状による路面沈下の概念

マンホールにおいて発生した被害としては、マンホールの蓋及び蓋枠のズレ (44%)、次いでマンホール内の土砂堆積・汚水滞水 (36%)、マンホール内側壁のズレ・破損 (12%) であった。この内、マンホール内の土砂堆積・汚水滞水については、マンホールの損傷というよりは寧ろ、管渠の不具合 (破損やたるみ等) に起因するものと考えられる。また、突出 (マンホールの浮き上がり) は地震の規模の割には少ないと考えられる。

過去の大地震においては、地上から 1m 以上マンホールが突き出た被災写真などが大々的に取り上げられ、下水道施設のみならずインフラの代表的被災事例の一つとなっているが、今回の地震で調査した範囲では、突出量 (浮き上がり量) は最大でも 20 cm 程度であった。

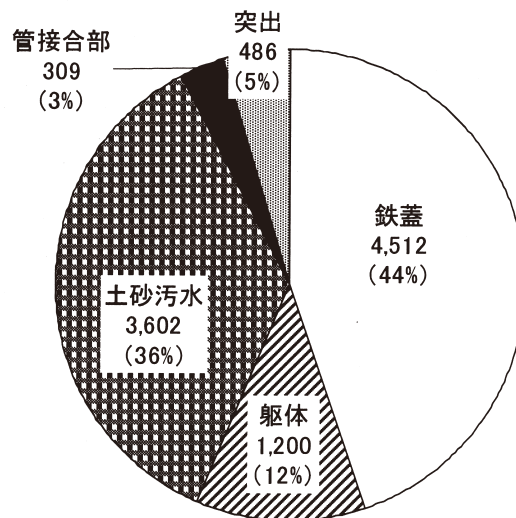


図-4.4 マンホールの被害内訳 (一次調査結果)

(2) ポンプ場の被害状況

ポンプ場としては、柏崎市の八坂中継ポンプ場及び柳橋中継ポンプ場、鵜川右岸第1排水区雨水ポンプ場の3カ所で被害が発生した。

八坂中継ポンプ場では、ポンプ場の流出管が破断し（写真-4.7）、バキューム車で流入汚水を引き抜き処理場へ搬送するとともに、引き抜ききれない汚水は次亜塩素酸を添加した上で河川へ放流していた。また、場内地盤が30cm程度沈下した（写真-4.8）。

柳橋ポンプ場の下流側において2条管の中の1本の圧送管が2カ所破損し汚水が溢れた。汚水が溢れた箇所は、それぞれ直径1m、深さ1m程度道路が陥没しており、溢水当時は衛生上の配慮から石灰を散布したうえで、被害のなかった残り1本の圧送管を利用して対応していた（写真-4.9）。

鵜川右岸第1排水区雨水ポンプ場については、場内沈下及び建物外壁の一部損壊が発生したが、雨水排水に支障はなかった。



写真-4.7 八坂ポンプ場流出管破断



写真-4.8 八坂ポンプ場地盤沈下



写真-4.9 柳橋ポンプ場圧送管破断

(3) 下水処理施設の被害状況

下水処理施設は6カ所が被災を受けた（表-4.3参照）。

被害の内容は、水処理施設の覆蓋脱落（写真-4.10）や最終沈殿池の汚泥掻寄機の損傷、建屋のエキスパンションジョイント部損傷（建屋の移動）（写真-4.11）、場内地盤の沈下（写真-4.12）などであり、処理機能停止に至る被害は発生しなかった。

被災した処理場の中で最も大きな被害を受けたのは、柏崎市自然環境浄化センター（以下、柏崎市浄化センター）であった。

柏崎市浄化センターでは、水処理施設について、最初沈殿池の一部覆蓋が脱落した他、最終沈殿池の汚泥かき寄せ機の破損およびチェーンの脱落があったが、処理系統の変更などを行うことで対応し、ほぼ通常の水処理を続けることができた。

柏崎市浄化センターにおける処理水量について確認したところ、通常の入下水量約

23,000m³/日に対し、地震当日の7月16日の24時間データでは21,900m³/日、地震翌日17日は21,400m³/日であり、大規模な断水があったにもかかわらず通常の9割程度の流入が確認されている。また、同じく広範囲な断水があった上越市の柿崎浄化センターにおいても同様の通常の9割以上の流入があったことがヒアリングで判明している。

汚泥処理施設については、汚泥棟の基礎杭が一部破損したほか、汚泥棟（増築部分）が地盤変動により30cm程度ずれたことに伴いエキスパンションジョイント部損傷及び汚泥管の一部破損が発生した。汚泥管等については、部分的に伸縮継手を採用しており、耐震効果が発揮されていた（写真-4.13）。また、場内の至る所で噴砂が確認されており、液状化により地盤沈下（最大60cm程度）が発生したと推察される（写真-4.14）。



写真-4.10 柏崎市浄化センター
最初沈殿池覆蓋脱落



写真-4.11 柏崎市浄化センター
汚泥棟EXP.J損傷



写真-4.12 柏崎市浄化センター
汚泥棟周辺の地盤沈下



写真-4.13 柏崎市浄化センター
伸縮継手部



写真-4.14 柏崎市浄化センター
噴砂の状況

(4) 被害状況のまとめと考察

1) 被害の集中

今回の地震により被害を受けた下水道施設は、震度5強以上の揺れを観測したところで発生している。震源に近い柏崎市や出雲崎町では、管渠被災箇所全体の8割近くを占めており、特に被害が集中した。

2) 被害の程度

今回の地震による被害規模については、同規模の地震であっても、地震の種類や余震回数、震源位置・深さ、地盤状況などが異なるため単純な比較はできないものの、平成16年の新潟県中越地震（震度7）における管渠の被害率（被災市町村の総管渠延長／被災管渠）が災害査定後で4.6%³⁾、平成19年の能登半島地震（震度6強）における管渠の被害率が2.2%³⁾であることから、今回の地震における被害率は1.6%と低い。

下水処理施設においても、平成16年の新潟県中越地震時に発生した水処理施設駆体損傷や汚水漏水などの処理機能を停止させるほどの被害は今回発生していない。

3) 潜在的被害の予測

被災から本復旧までの間に実施される調査としては、①緊急調査、②一次調査、③二次調査があるが、緊急調査は、被災状況の概略把握及び二次災害防止、支援要請等の判断のために実施する調査で、重要な施設及び重要な幹線において、地上から目視確認できる範囲で被害状況の把握に努める程度である。この場合、地中に埋設してある管渠の状況は、路面に異常がない限り把握できない。

今回の地震による一次調査結果では、人孔滞水（4276箇所）と路面異常（1077箇所）の被害箇所数を比較すると、人孔滞水が路面異常の約4倍となっている。

人孔滞水の原因となる管渠の破損やたるみ等の大きさと路面異常発生は必ずしもリンクしないが、路面異常に現れない管路被害が潜在的にこれだけ存在することを表している。

4) バキューム車の支援体制強化

大規模停電に伴うマンホールポンプ不具合や管渠内の汚水滞留が広域的に発生した場合、応急対策としてバキューム車による汚水の吸引及び搬送が効果を上げていた。しかしながら、バキューム車の保有台数の制約により十分な対応ができない場面もあったことから、災害時のバキューム車の支援体制のあり方について検討する余地がある。

5) 断水時の下水処理場流入水量

今回の地震では、地震発生後の水道管損傷により、広範囲な断水が発生し、被災後の避難生活に大きな影響を与えている。断水が発生すれば、トイレの使用や台所での炊事に影響が出ることから、下水処理場への流入水量は減少すると考えられる。しかしながら、断水中にも関わらず、柏崎市や上越市の下水処理場においては、通常の流入水量の9割以上の下水が断続的に流入していることが関係者へのヒアリングで明らかになっている。

これは、下水管渠の損傷による地下水の侵入が疑われるとともに、水道水の代替として給水車等による迅速な対応がなされたことによると考えられ、例え断水があっても下水処理場への流入は止まらないことを念頭に置いた対策が必要であることを示唆している。

4.3 被災箇所における土質調査

管渠の被災が確認されたA都市及びB都市において、被災原因を探るために、平成19年9月26～28日に被災箇所の土質調査を実施した。

被害の内容としては路面の沈下、管渠のたるみであり、A都市では下水道管渠の埋戻し部のみが、2 cm程度沈下した（写真-4.15）。

B都市においては、管渠埋設部の上部舗装が、管渠センターラインを中心とした扇状に5 cm程度沈下した（写真-4.16）。

本調査における試験項目は、下記の通りとした。

①簡易動的貫入試験

道路高より 3.5m程度の深さまで、簡易動的コーン貫入試験（地盤工学会基準 JGS1443）を行った。

②現場密度試験

深さ方向に2カ所（埋め戻し施工基面、管頂付近）において、砂置換法による土の密度試験（日本工業規格 JIS A 1214）を行った。

③土質試験

室内土質試験は、現場密度試験を行った2カ所において、ブロックサンプリングを行い、土粒子の密度試験（JIS A 1202）、土の粒度試験（JIS A 1204）、土の含水比試験（JIS A 1203）、突固めによる土の締固め試験（JIS A 1210）について実施した。



写真-4.15 A都市の管渠被災状況



写真-4.16 B都市の管渠被災状況

(1) A都市における土質調査結果

掘削時に確認した地層構成、調査・試験深度図を図-4.5 に、簡易貫入試験の結果 (Nd の深度分布図) を図-4.6 に示す。

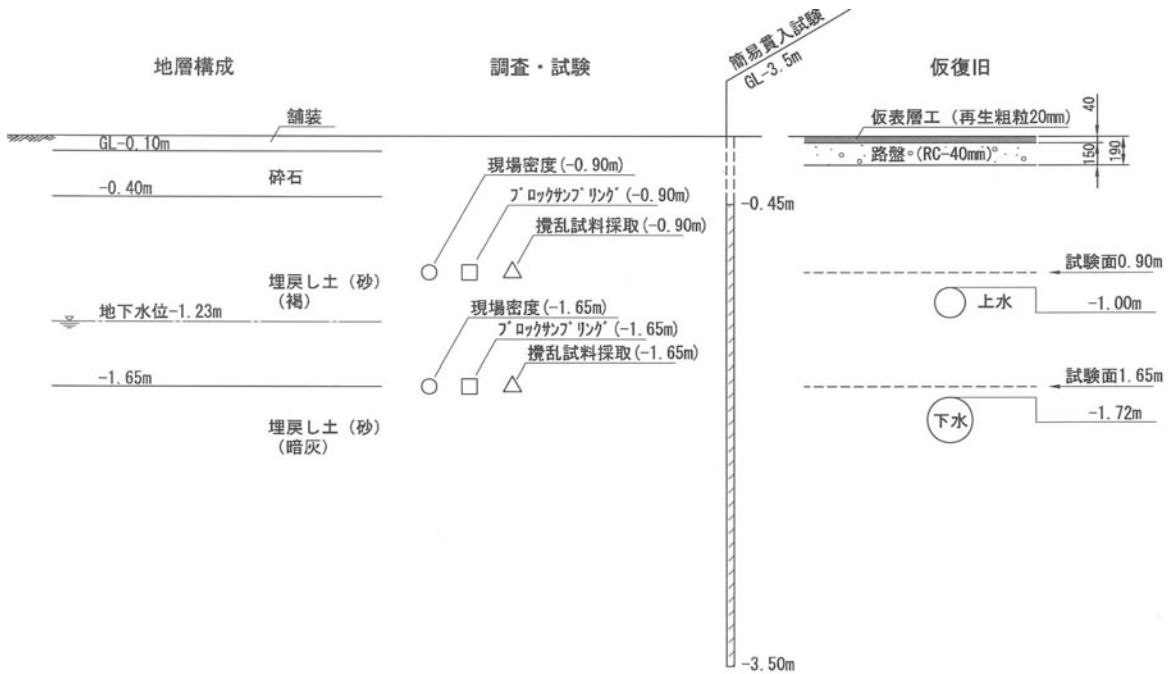


図-4.5 地層構成、調査・試験深度、復旧断面図 (A都市)

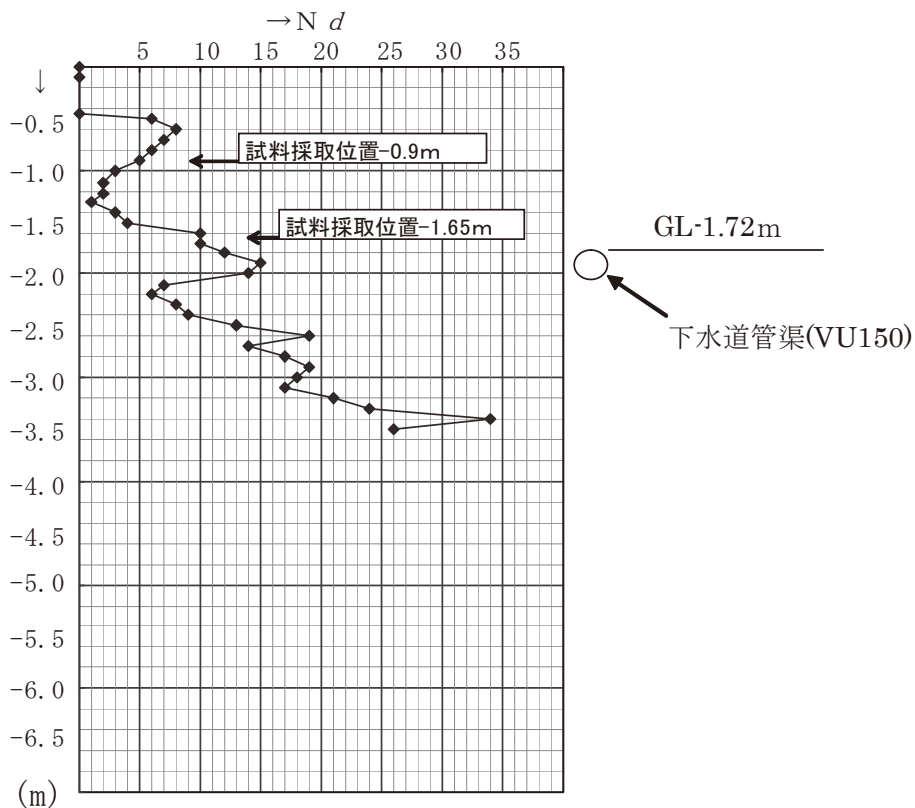


図-4.6 Nd 深度分布図 (A都市)

埋戻し部におけるNd値は、0～15の範囲でばらつきがあり、地表下1.5m付近はNd<5とかなり低い値を示している。

表-4.6に現場密度試験結果を示す。室内土質試験は表-4.7に準拠する方法で行った。

表-4.6 現場密度試験結果一覧表（A都市）

試験深度 GL(m)	埋戻し土	
-0.90	平均含水比	23.0 %
	平均湿潤密度	1.745 g/cm ³
	平均乾燥密度	1.419 g/cm ³
-1.65	平均含水比	25.8 %
	平均湿潤密度	1.702 g/cm ³
	平均乾燥密度	1.352 g/cm ³

表-4.7 室内土質試験の方法

試験名	地盤工学会基準	日本工業規格
土粒子の密度試験	JGS 0111	JIS A 1202
土の含水比試験	JGS 0121	JIS A 1203
土の粒度試験	JGS 0131	JIS A 1204
突固めによる土の締固め試験	JGS 0711	JIS A 1210

表-4.8 室内土質試験結果の概要（A都市）

採取箇所		A都市：上層（-1m）		A都市：下層（-2m）	
採取深度		-0.90～-1.00m		-1.65～-1.75m	
一般	土粒子の密度	2.671g/cm ³		2.696g/cm ³	
	自然含水率	23.7%		19%	
粒度	ふるい試験	粒径	通過質量百分率	粒径	通過質量百分率
				9.5 mm	100%
		4.75 mm	100%	4.75 mm	99.2%
		2 mm	99.3%	2 mm	98.6%
		0.85 mm	97.3%	0.85 mm	97.1%
		0.425 mm	83.3%	0.425 mm	73.1%
		0.25 mm	57%	0.25 mm	27.3%
		0.106 mm	11.8%	0.106 mm	3.6%
	0.075 mm	8.7%	0.075 mm	2.9%	
	均等係数 U _c	2.958		2.241	
	平均粒径 D ₅₀	0.2212 mm		0.327 mm	
分類	分類名	細粒分混じり砂		砂	
締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.619g/cm ³		1.596g/cm ³	
	最適含水率	18.1%		18%	
現場密度	乾燥密度	1.419g/cm ³		1.352g/cm ³	
	締固め度	87.6%		84.7%	

室内土質試験結果を表-4.8 に、埋戻し土の粒径加積曲線を図-4.7 に示す。

埋戻し土の粒度組成は、粒径 0.1mm~1.0mm を主体とし、均等係数は $U_c < 3$ で「分級された」粒度組成である。また、地盤材料の分類名では-0.9m が細粒分混じり砂 (S-F)、-1.65m が砂 (S) に分類される。

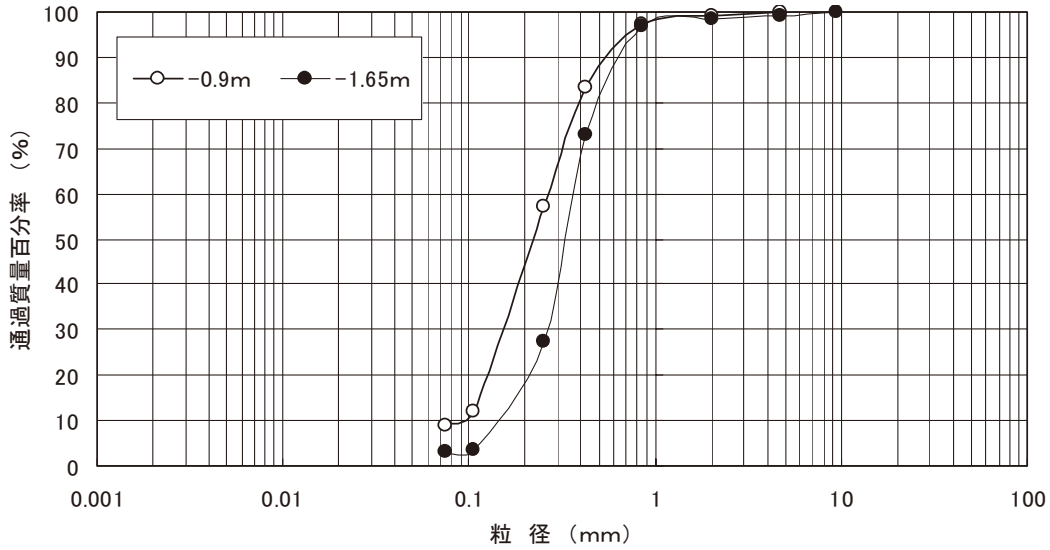


図-4.7 埋戻し土の粒径加積曲線 (A都市)

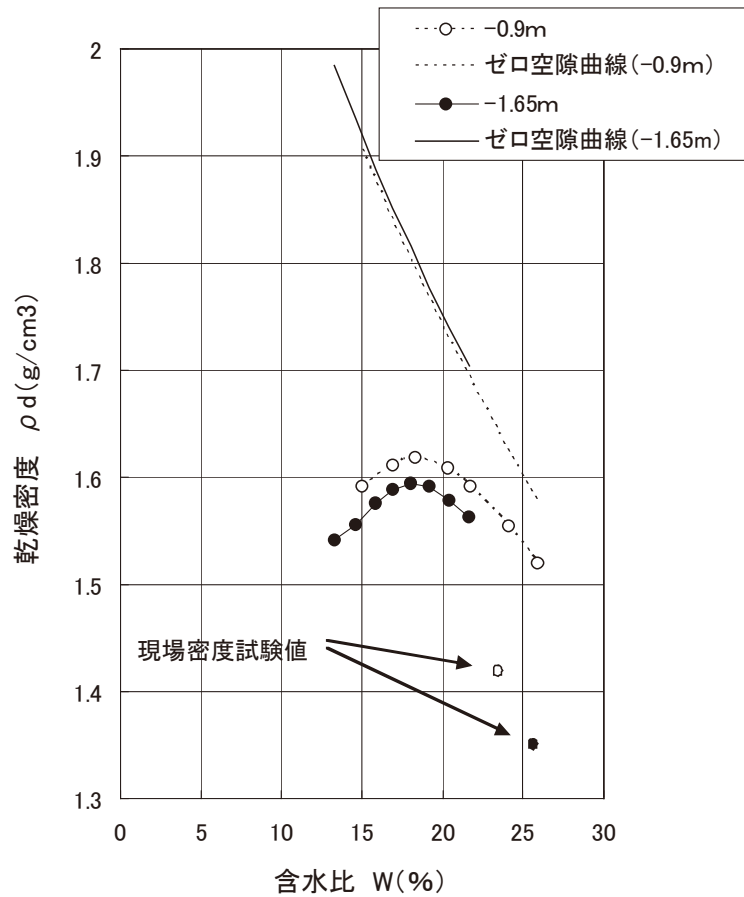


図-4.8 締固め曲線 (A都市)

図-4.8 に締固め曲線を示す。

締固め曲線は、上下層でその差異は小さく、ほぼ同一材料の締固め特性を示す。最適含水比は 18%程度であった。現場密度試験による自然含水比と締固め試験による最適含水比を比較すると、6~10%湿潤側であった。現場密度試験により確認した乾燥密度から締固め度を求めると表-4.9 の通りであり、おおむね 85%程度の締固め度であった。

表-4.9 埋戻し土の締固め度 (A都市)

位置	試験項目	結果
上層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d=1.419$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax}=1.619$
	締固め度	Dc=87.6%
	簡易貫入試験によるNd値	5
下層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d=1.352$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax}=1.596$
	締固め度	Dc=84.7%
	簡易貫入試験によるNd値	10

簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比を図-4.9 に示す。

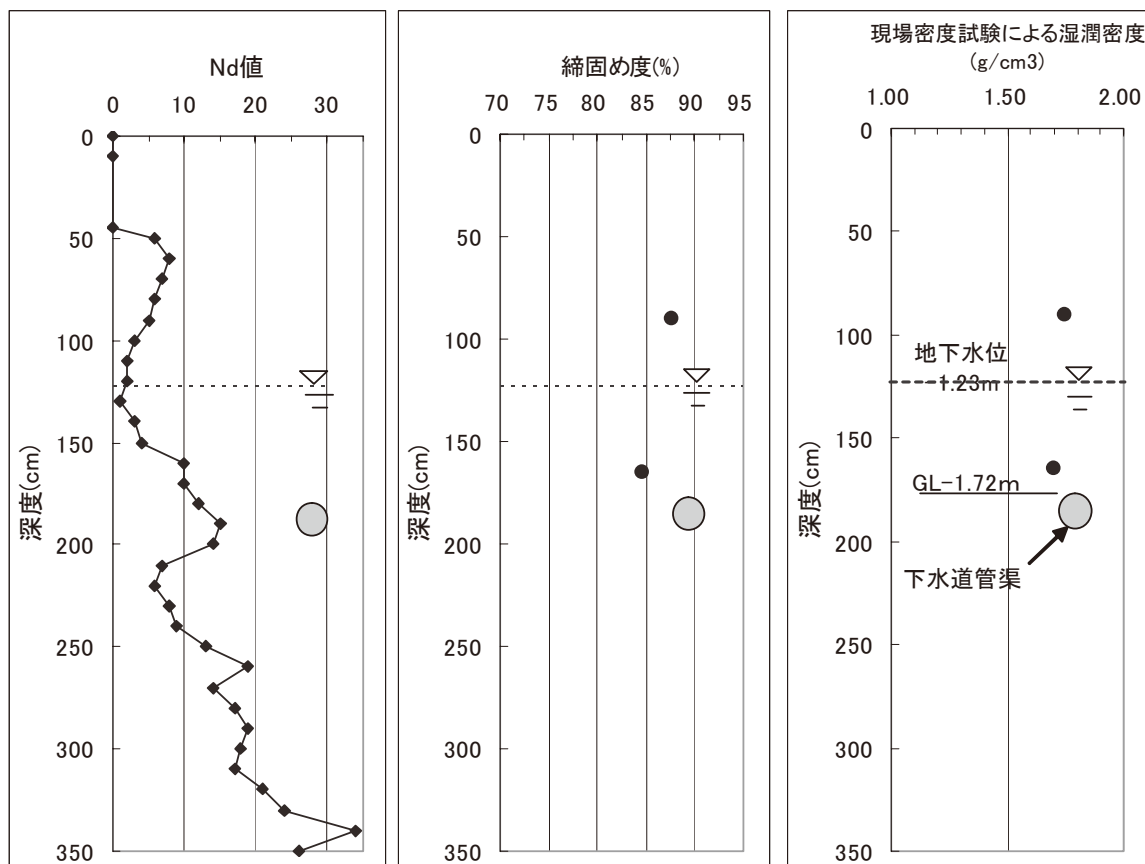


図-4.9 簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比 (A都市)

Nd 値は深度方向に漸増傾向にある。締固め度 (Dc 値) と Nd 値を対比すると、下層 Nd 値 10 に対し締固め度は 84.7%、上層で Nd 値 5 に対し締固め度は 87.6% であり、Nd と締固め度は反比例している。

以上の土質試験の結果を考慮すると、埋戻し材料にほぼ均一な粒径の砂を用いていること、地下水位が高いこと等から、液状化現象の発生条件が整っていることが分かった。また、土質試験を実施した現場においては、憤砂の痕跡と見られる均一な砂が路面上に大量に残されていたことから、埋戻し部の液状化が被災原因である可能性が示唆された。

(2) B都市における土質調査結果

掘削時に確認した地層構成、調査・試験深度図を図-4.10 に示す。

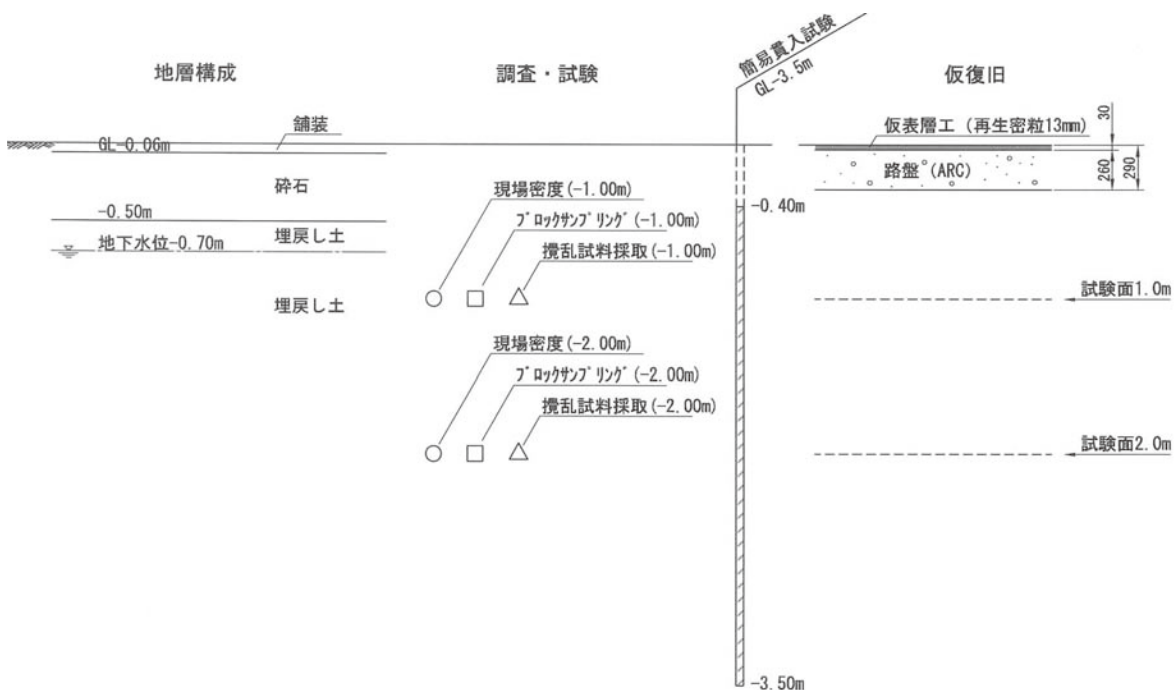


図-4.10 地層構成、調査・試験深度、復旧断面図 (B都市)

簡易貫入試験の結果 (Nd の深度分布図) を図-4.11 に、表-4.10 に現場密度試験結果を示す。

埋戻し部における Nd 値は、地表から管頂までの間で平均 5 以下とかなり低い値を示している。

表-4.10 現場密度試験結果一覧表 (B都市)

試験深度 GL(m)	埋戻し土	
	-1.00	平均含水比
平均湿潤密度		1.771 g/cm ³
平均乾燥密度		1.502 g/cm ³
-2.00	平均含水比	16.7 %
	平均湿潤密度	1.535 g/cm ³
	平均乾燥密度	1.316 g/cm ³

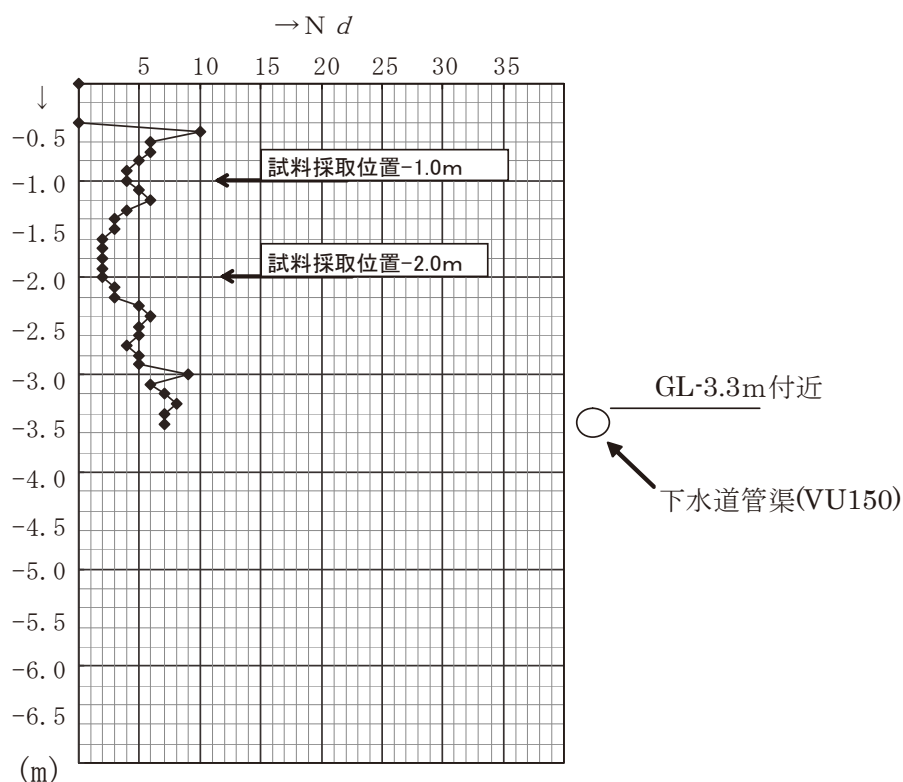


図-4.11 Nd 深度分布図 (B都市)

室内土質試験結果を表-4.11 に示す。

表-4.11 室内土質試験結果の概要 (B都市)

採取箇所		B都市：上層 (-1m)		B都市：下層 (-2m)	
採取深度		-1.00~-1.10m		-2.00~-2.10m	
一般	土粒子の密度	2.685g/cm ³		2.712g/cm ³	
	自然含水率	18.6%		19.8%	
粒度	ふるい試験	粒径	通過質量百分率	粒径	通過質量百分率
		37.5 mm	100%	26.5 mm	100%
		26.5 mm	93.6%	19 mm	94.5%
		19 mm	89.5%	9.5 mm	86%
		9.5 mm	85.2%	4.75 mm	82.6%
		4.75 mm	82.8%	2 mm	80.4%
		2 mm	80.4%	0.85 mm	74.1%
		0.85 mm	74.1%	0.425 mm	47.1%
		0.425 mm	51.1%	0.25 mm	22.9%
		0.25 mm	24.4%	0.106 mm	6.3%
	0.106 mm	7.8%	0.075 mm	5.5%	
	0.075 mm	6.9%			
	均等係数 U _c	3.859		3.817	
	平均粒径 D ₅₀	0.4145 mm		0.4548 mm	
分類	分類名	細粒分混じり礫質砂		細粒分混じり礫質砂	
締固め	最大乾燥密度	1.738g/cm ³		1.747g/cm ³	
	ρ_{dmax} 最適含水率	15.5%		15.6%	
現場密度	乾燥密度	1.502g/cm ³		1.316g/cm ³	
	締固め度	86.4%		75.3%	

図-4.12 に埋戻し土の粒径加積曲線を示す。

埋戻し土の粒度組成は、粒径 0.1mm～1.0mm を主体とし、均等係数は $U_c < 4$ で「分級された」粒度組成である。また、地盤材料の分類名では、細粒分混じり礫質砂 (SG-F) に分類される。深度別に見ても、最大粒径に差がある程度で、ほぼ同一材料と見なされる。

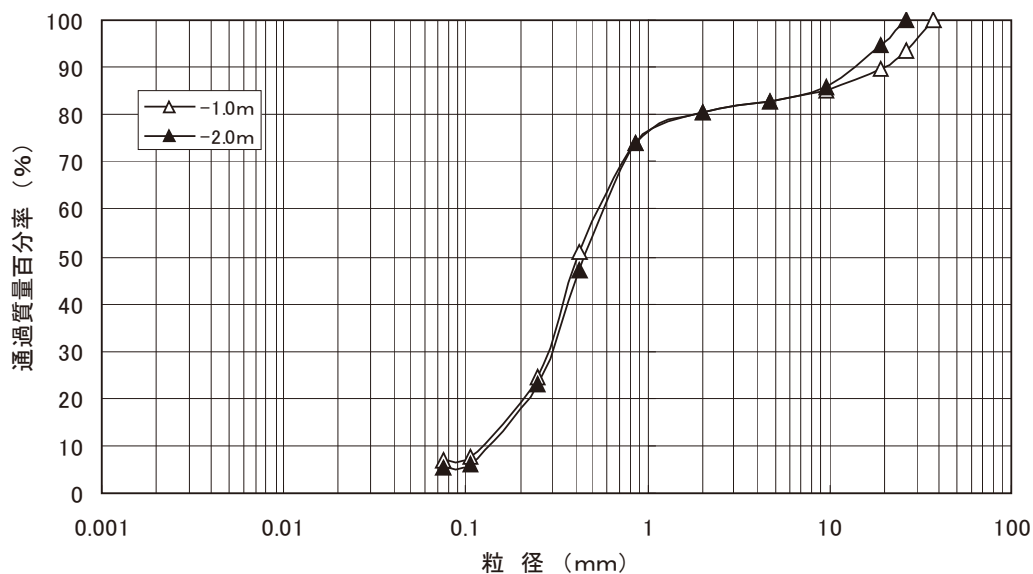


図-4.12 埋戻し土の粒径加積曲線 (B都市)

図-4.13 に締固め曲線を示す。締固め曲線は、A都市と同様に、上下層でその差異は小さく、ほぼ同一材料の締固め特性を示す。最適含水比は16%程度であった。

現場密度試験による自然含水比と締固め試験による最適含水比を比較すると、最適含水比よりも2～3%湿潤側であった。

現場密度試験により確認した乾燥密度から締固め度を求めると表-4.12 のとおりであり、上層で86.4%と比較的高いが、下層は75.3%と低い。

表-4.12 埋戻し土の締固め度 (B都市)

位置	試験項目	結果
上層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d = 1.502$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax} = 1.738$
	締固め度	$D_c = 86.4\%$
	簡易貫入試験によるNd値	4
下層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d = 1.316$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax} = 1.747$
	締固め度	$D_c = 75.3\%$
	簡易貫入試験によるNd値	2

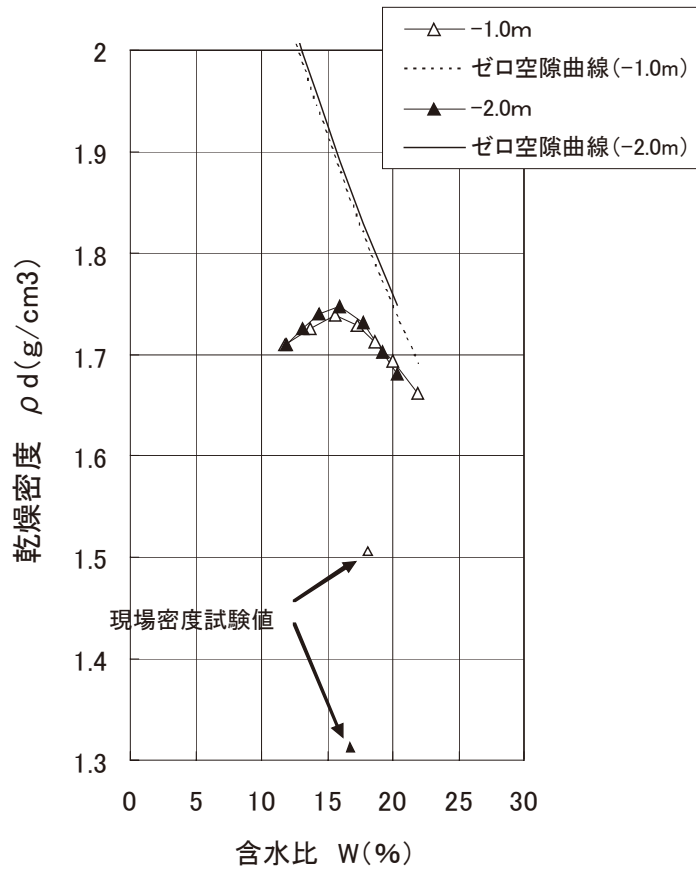


図-4.13 締固め曲線 (B都市)

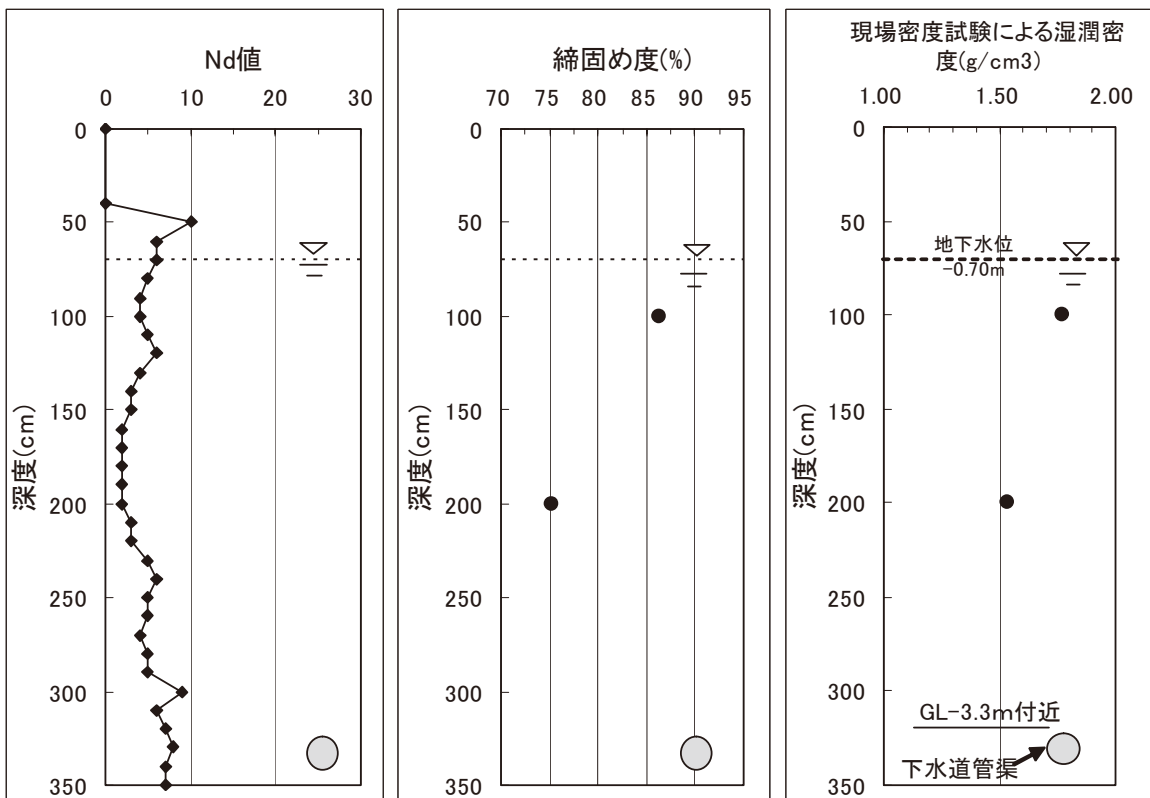


図-4.14 簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比 (B都市)

簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比を図-4.14に示す。

Nd 値は深度方向に管渠埋設深までこの傾向は変わらず、平均5程度と低い値を示している。締固め度(Dc 値)とNd 値を対比すると、締固め度が75.3%を示した地点(下層)におけるNd 値は2とかなり低い。

締固め度は、下層(75.3%)よりも上層(86.4%)の方が高く、湿潤密度の傾向も同様のことが言える。

以上の土質試験の結果を考慮すると、埋戻し材料にほぼ均一な粒径の砂を用いていること、地下水位が高いこと等から、液状化現象の発生条件が整っていることが分かった。しかしながら、土質試験を実施した現場においては、A都市で見られた噴砂や噴水といった液状化現象の痕跡は見られなかったことから、埋戻し部の液状化が被災原因と断言はできないもののその可能性が示唆される。

(3) 土質調査のまとめ

2都市について、被災管渠の埋戻し土の土質調査を行った。

その結果、下記のことが分かった。

- ①Nd 値は10以下と低く、特に上層部は低い傾向にある。
- ②被災箇所における被災後の締固め度は90%以下であった。
- ③締固め度は、下層より上層の方が高い傾向にある。
- ④埋戻し土の材料は、粒径0.1mm～1.0mmを主体とした砂が使用されていた。
- ⑤地下水位は地表から1m前後と高い。
- ⑥液状化現象が発生しうる条件が揃っている。

4.4 新潟県中越地震(H16年)で被災した箇所における再被災について

今回の地震は、平成16年の新潟県中越地震の復旧工事が終盤を迎えた時期に発生した。

新潟県中越地震発生後の平成16年11月、下水道地震対策技術検討委員会より、管路施設の被害再発防止を考慮した「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」(以下、「緊急提言」)が取りまとめられ、本復旧においては、埋戻しにおいて①埋戻し部の締固め(締固め度90%以上)、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こととされた。

そこで、新潟県中越地震で緊急提言に基づき本復旧を実施した箇所の被害状況を把握することを目的に、平成19年7月17～19日、7月31日～8月1日に自治体に対するヒアリングと現地調査を行った。

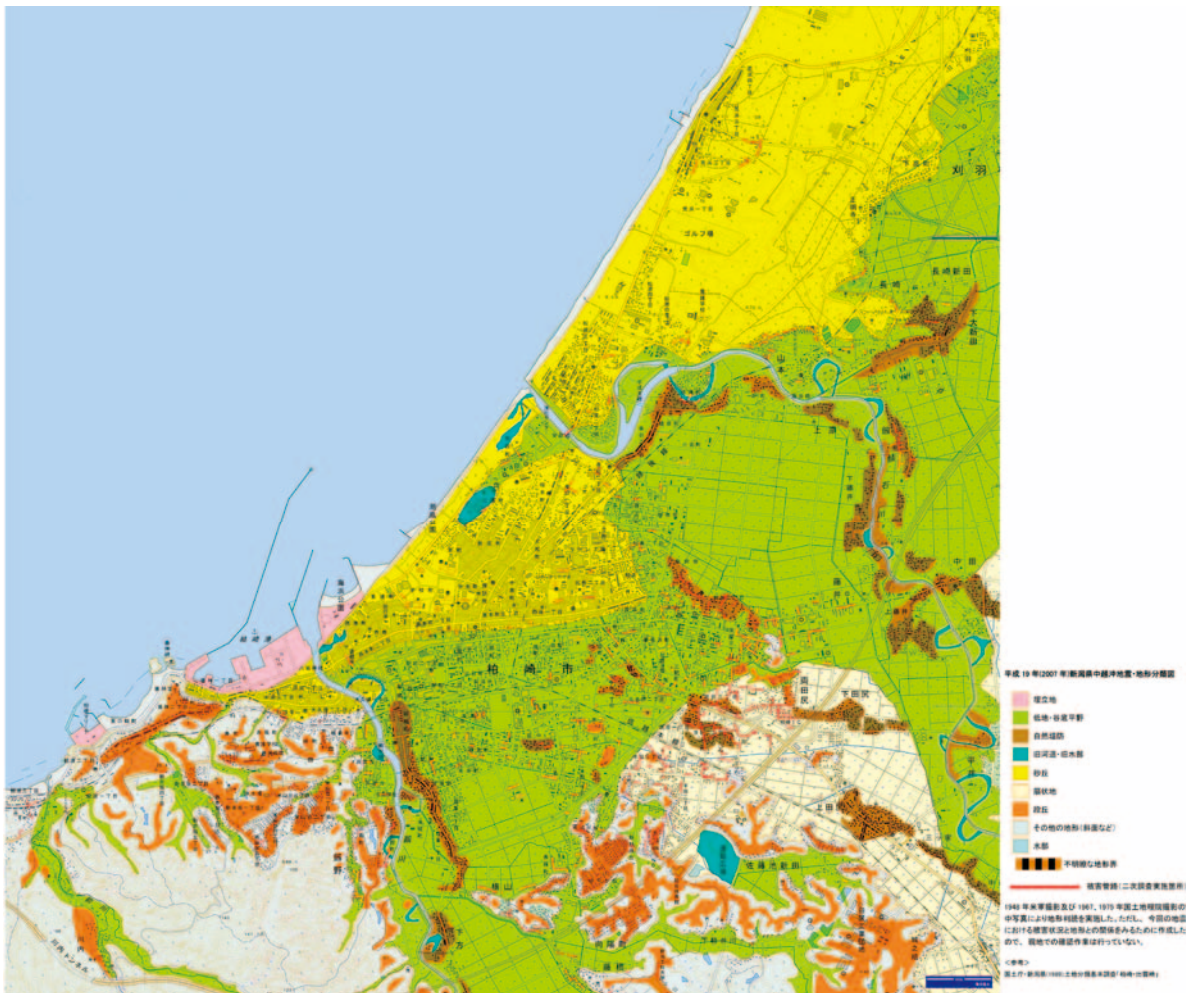
ヒアリング及び現地調査の結果、新潟県中越地震における管路施設の本復旧はセメント系固化剤による固化の対策が行われており、今回の地震で大きな被害は発生していない模様であった(一部、再被災を受けている箇所について詳細を調査中)。

4.5 地形条件と管路被害の関係

過去の地震における下水道管路施設の被害の主な要因は、周辺地盤および埋戻し部の液状化であり、その発生には周辺の地形条件、地盤条件が強く影響していることが分かっている^{5),8)}。また文献4)、9)には、過去の地震における下水道管路施設の被害と微地形区

分の関係から、「微地形区分に基づく埋戻し部の液状化の可能性の判定基準」が示されている。

ここでは、今回の地震による下水道管路施設の被害と地形条件の関係を把握することを目的に、柏崎市における被害路線を土地条件図上にプロットし、微地形区分と下水道管路施設の被害の関係について整理した。



(国土地理院 HP¹⁰)に加筆)

図-4.15 柏崎市における被災管路位置図 (二次調査実施箇所)

図-4.15 は、柏崎市における被害管路の位置を柏崎市中心部付近の土地条件図上にプロットしたものである。ただし、ここでの被害管路とは、二次調査を実施した管路を対象としており、必ずしも最終的な被害箇所ではないことに注意を要する。

柏崎市の地形は、海岸付近の砂丘部、その背後の低地部、さらに内陸側の扇状地、段丘部へと変化している。また、市街地の北東部を鯖石川が、南西部を鷯川が流れ、その周辺にはそれらが形成した自然堤防や旧河道が分布している。

図より下水道の被害は、北陸自動車道柏崎 IC 付近の低地部～扇状地末端部にかけて集中していることが分かる。また、北東部の鯖石川周辺の旧河道部、自然堤防の周辺部、砂丘と低地部の境界付近で多いことが分かる。一般に、これらの土地では、地下水位が高く、粘性土が卓越した地盤である場合が多いが、2004 年新潟県中越地震の長岡、小千谷の事

例においても、扇状地末端付近、自然堤防周辺部、低地部において下水道管路施設の被害が多い傾向がみられている⁸⁾。一方で、海岸線に近い市街地付近の砂丘部での被害は、比較的少ないことがわかる。

以上、柏崎市では、以下の地形で下水道管路の被害が多いといえる。

- ①扇状地末端付近
- ②低地・谷底平野
- ③旧河道・旧水部
- ④砂丘と低地・谷底平野の境界付近
- ⑤自然堤防と低地・谷底平野の境界付近

今後、周辺の地盤データを入手し、周辺地盤の土質、地下水位等の地盤条件と被害の関係を整理する必要がある。

4.6 まとめ

下水道施設の被害の特徴と原因をまとめると以下の通りである。

- ①他の同規模の地震による被害と比較すると、（単純な比較はできないものの）被害規模（被害件数や被害の程度など）としては小さい傾向にあった。
- ②路面に現れない汚水滞水の機能障害が多く発生した。汚水滞水は、被災直後の把握が困難で、詳細調査の進行とともに明らかになってくる。災害査定申請時点では、路面異常の4倍の件数が確認されていることから、被災直後の被害規模把握の目安になると考えられる。
- ③今回の地震で発生した路面沈下箇所における埋戻し土の土質試験を実施した結果、液状化の発生しうる条件が揃っており、埋戻し部の液状化が被災原因である可能性が示唆された。
- ④施設の耐震化による防災対策も重要であるが、被害が発生した際の機能確保に必要な、例えばバキューム車の確保などの減災対策の検討を行う余地がある。
- ⑤下水処理場においては、広範囲な断水があっても、下水の流入は断続的にあることが確認された。

国土技術政策総合研究所では、地震直後より情報収集にあたり、同日、新潟県中越沖地震災害対策本部が設置されると、国土交通省下水道部の要請を受け、被害状況の把握及び応急措置、早期復旧並びに災害支援に向け職員を現地に派遣するとともに、被災原因の究明並びに緊急提言の効果検証のため、その後も随時調査員を現地に派遣している。

現段階では、明確な被災原因究明及び緊急提言の効果検証にまで至っていないが、今後、さらにデータの解析を進め、地震対策のさらなる技術向上を図っていきたい。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」の特集に掲載の震度分布図に新潟県市町村界を重ね合わせた。
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-okai/EVENT1/SUIKEI.PNG
- 2) 国土交通省：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震について（第28報・最終報）、

国土交通省記者発表資料、2007.10.9

- 3) 第1回下水道地震対策技術検討委員会資料、2007.10.31
- 4) (社)日本下水道協会：下水道の地震対策マニュアル（2006年版）、158p、2006
- 5) 国土技術政策総合研究所・土木研究所：平成16年（2004年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告、国土技術政策総合研究所報告、第27号、土木研究所報告、第203号、2006
- 6) 国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所緊急調査団：平成19年新潟県中越沖地震の緊急調査速報、土木技術資料、第49巻、第9号、pp.6～11、2007
- 7) 植松龍二、南山瑞彦、深谷渉、田本典秀：平成19年新潟県中越沖地震による下水道管路施設の被害、下水道協会誌、Vol.44、No.539、pp.35～42、2007
- 8) 杉田秀樹、佐々木哲也、石原雅規：危機管理を考慮した効率的な下水道整備に関する研究、平成17年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料、第4021号、pp.64～73、2006
- 9) (社)日本下水道協会：下水道耐震対策指針と解説（2006年版）、2006
- 10) 国土地理院ホームページ：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震災害状況図、2007
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/0707-chuetsuoki/map/index.html>

5. 河川施設

5.1 被害の全体概要

直轄河川では信濃川水系信濃川、信濃川水系大河津分水路及び信濃川水系信濃川下流に25箇所、また、補助河川では12水系60支川に195個所の被害が報告されている（国土交通省発表¹⁾、10月9日現在）。被害を受けた河川施設は主として堤防であり、被災箇所は主に柏崎市内および信濃川大河津分水堰周辺である。

5.2 調査概要

河川施設の調査は、堤防の被災状況の把握等を目的とし、平成19年7月18日～19日にわたって現地踏査により行われた。調査対象地点は、信濃川大河津分水堰付近、信濃川下流蒲原大堰付近、鯖石川河口付近、鯖石川藤井堰付近（図-5.1）である。



図-5.1 河川施設の調査地点²⁾

5.3 被害調査の結果

5.3.1 信濃川

(1) 信濃川本川 0～1kp 左岸（長岡市町軽井地先）

信濃川本川左岸 0.0kp 付近から上流側へ 375m にわたって特に顕著な被害が生じ、堤防裏小段（兼用道路）、川表側坂路および川表側のり尻付近に亀裂および噴砂が生じた。被災状況を図-5.2 に示す。同図の No. 0+240 断面付近の裏小段に生じた縦断亀裂（写真-5.1）は現場計測で深さ 7m 程度と推測されており、切返し時に As1 層（図-5.3）から噴出したと見られる噴砂が G.L. -1.5m 程度まで達していることが確認されている。川表側ののり尻付近には噴砂痕が点在していた。地震発生後、直ちに亀裂への土砂充填による応急復旧が行われ、7 月 16 日のうちに完了した。被災地点から北東へ約 2km に位置する大河津出張所では、最大加速度 451gal（水平 2 成分合成）が観測されている³⁾。

なお、文献4)によれば、本地点の堤防は、大河津分水路の開削に伴って旧河川敷上に築堤されたものであり、昭和 39 年の新潟地震においても天端の沈下や縦断亀裂などの被害が生じていた。また、昭和 46 年には前出しによる堤防の嵩上げがなされており、嵩上げ以前の堤防天端が現在の裏小段にあたる。

地震後に行われたボーリング調査結果から推定された堤防の地質横断図を図-5.3 に示す。ボーリング位置は図-5.2 に示すとおりである。いずれの断面においても、川表側のり尻から堤防天端直下にわたり、7～8m 程度の緩い砂質土層が存在することが分かる。次に、地震前後に行われた堤防の横断測量結果の代表例を図-5.4 に示す。ここで、変形モードが分かりやすいように、同図における地震後の測量結果は変形スケールを 2 倍として表示されている。No. 0.0 断面では、裏小段に局所的な沈下が生じ、川表側ののり面が全体的に川表側に向けてせり出すように変形している。No. 0+240 断面においては、裏小段から天端にわたって沈下が生じ、川表側ののり尻付近がわずかにはらみ出すように変形している。なお、これらの他にも地震前後の堤防の横断測量結果として多くのデータが得られているが、最も大きな堤防天端の沈下量が計測されたのは No. 0+240 断面であり、41cm であった。

以上のことから、川表側から堤防直下にかけて存在する緩い砂層に液状化が生じ、液状化層以浅の地盤および堤防が川表側に向けて変形した結果、裏小段に深い縦断亀裂が生じたものと考えられる。

一連の被災区間の最下流側に位置する町軽井揚水機取水樋管には被害は生じなかったが、樋管周辺の護岸に沈下、空洞といった損傷が生じた（写真-5.3）。地震後の目視調査によると、護岸は地中で中折れが発生しており（図-5.5）、周辺地盤の沈下による護岸背後の空洞化が懸念されたため、7 月 27 日までに洗掘防止を目的としたじゃかご工による応急復旧が実施されている⁵⁾。

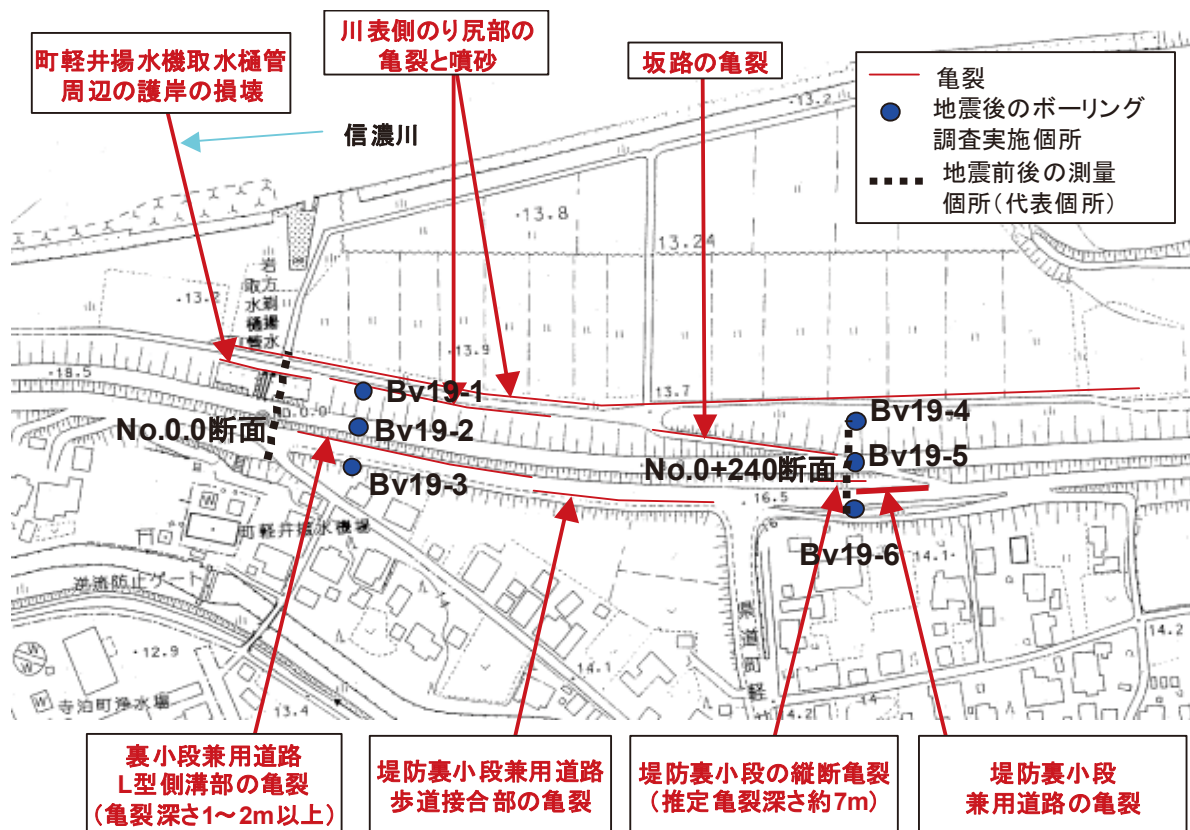


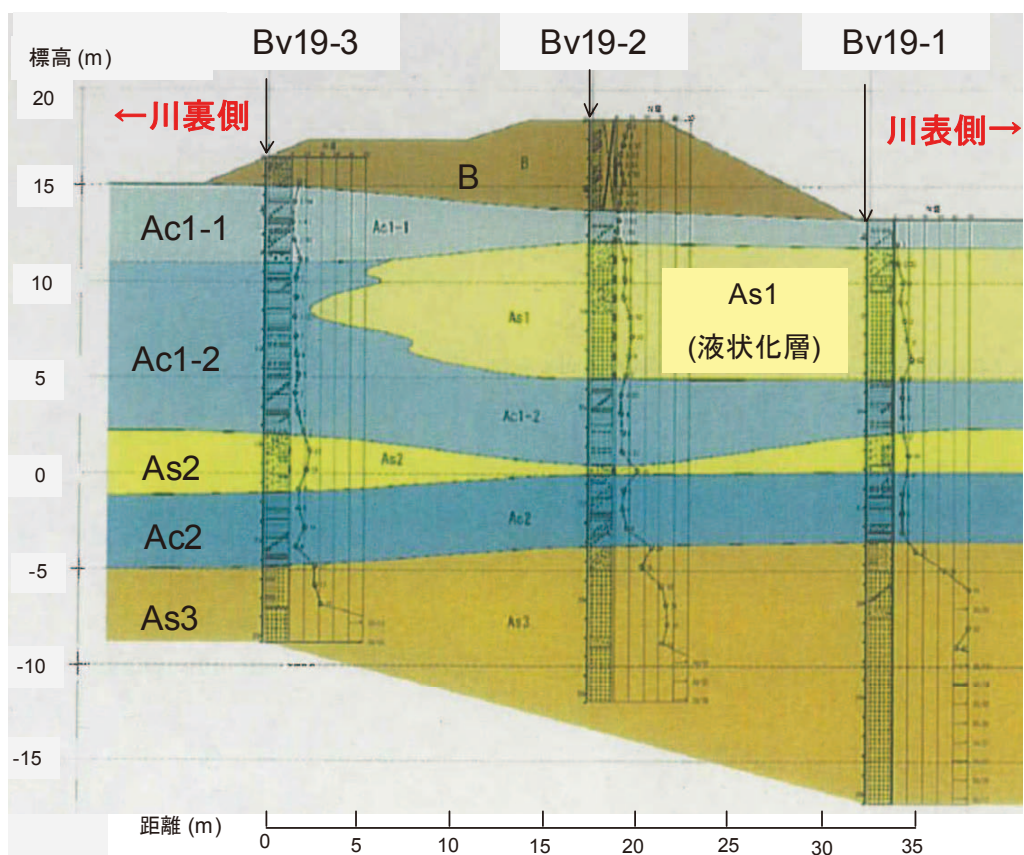
図-5.2 信濃川本川 0kp 付近左岸の被災概要



写真-5.1 信濃川本川 0kp 付近左岸堤防の裏小段に生じた縦断亀裂 (北陸地方整備局撮影)

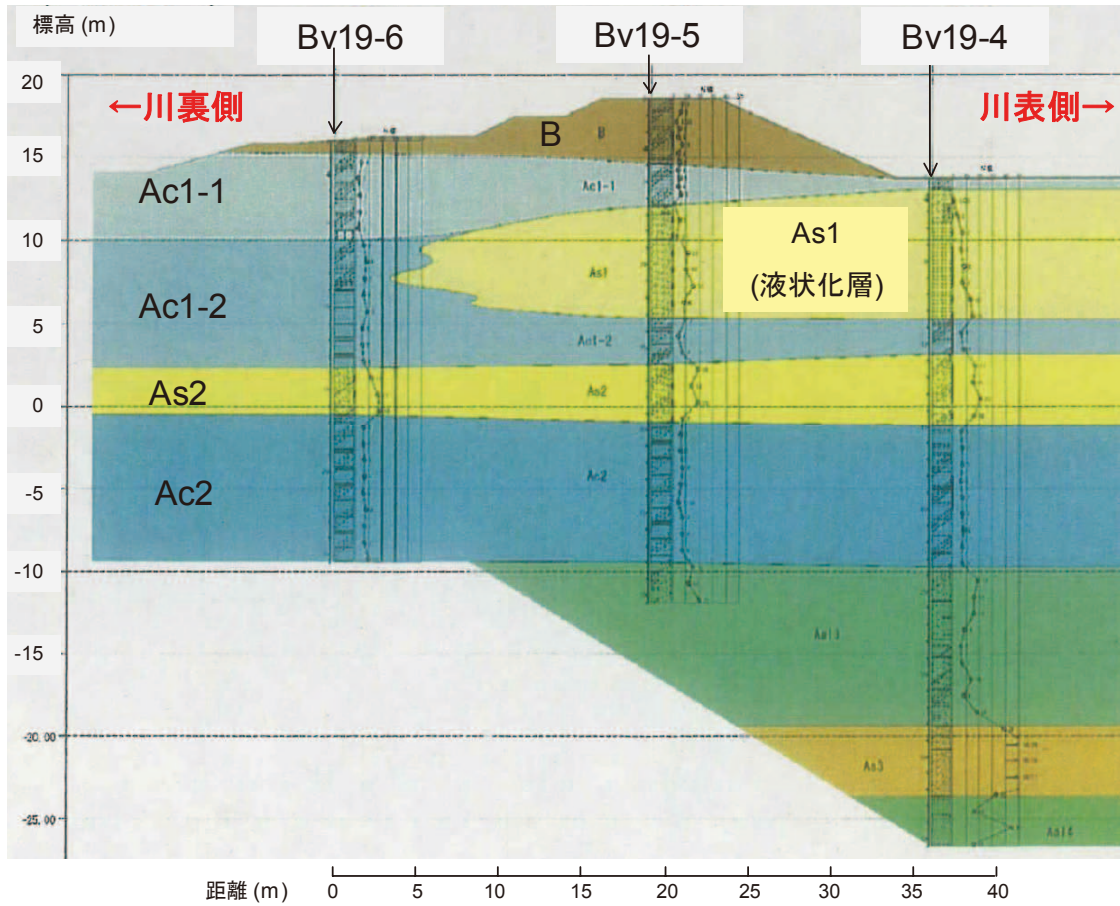


写真-5.2 信濃川本川 0kp 付近左岸堤防の川表側のり尻付近に生じた噴砂（下流側から上流側を望む）



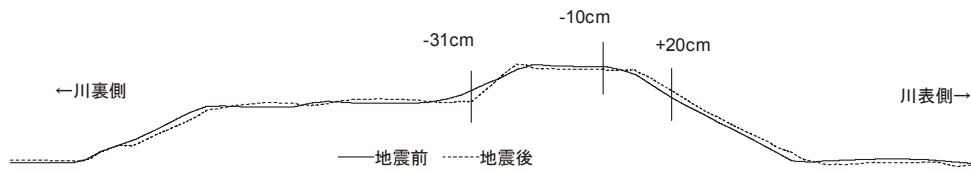
(a) Bv19-1～Bv19-3

図-5.3(1) 信濃川本川 0kp 付近左岸堤防の地質横断図（北陸地方整備局提供、一部加筆）

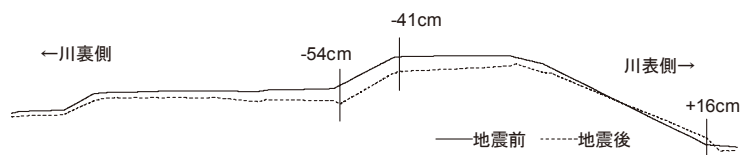


(b) Bv19-4～Bv19-6

図-5.3(2) 信濃川本川 0kp 付近左岸堤防の地質横断面図（北陸地方整備局提供、一部加筆）



(a) No. 0.0断面



(b) No. 0+240断面

図-5.4 信濃川本川 0kp 付近左岸堤防の横断測量結果（数値は鉛直変位を表す。変形スケールを2倍として表示）



写真-5.3 町軽井揚水機取水樋管周辺の護岸（○印の箇所沈下および空洞が発生）

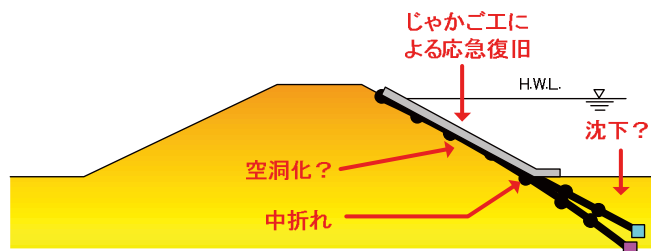


図-5.5 樋管周辺の護岸の中折れ状況のイメージ

(2) 大河津分水路 2～3kp 付近右岸（燕市野中才地先）

大河津出張所から北北西へ 2～3km に位置する大河津分水路右岸側の堤防の天端に、延長約 1.5km にわたって断続的な縦断亀裂が生じた（写真-5.4、写真-5.5）。切返し時に確認された堤防天端の亀裂深さは最大 3m 程度であった。のり面やのり尻付近には、亀裂、噴砂等の変状は見られなかった。地震後、直ちに切返しおよびアスファルト舗装による応急復旧が実施され、7月25日に完了した。

大河津分水路 2.2kp 右岸堤防の地質横断図を図-5.6 に示す。堤防は厚い粘性土層上に築造されていることが分かる。なお、地表面付近に層厚 1～2m 程度の薄い砂質土層（As1 層）が存在するが、被災地点周辺に噴砂痕が見られず、As1 層に液状化が生じたか否かは不明である。



写真-5.4 大河津分水路 2kp 付近右岸における堤防天端の縦断亀裂（上流側から下流側を望む）（北陸地方整備局撮影）



写真-5.5 大河津分水路 2kp 付近右岸における堤防天端の縦断亀裂（下流側から上流側を望む）（北陸地方整備局撮影）

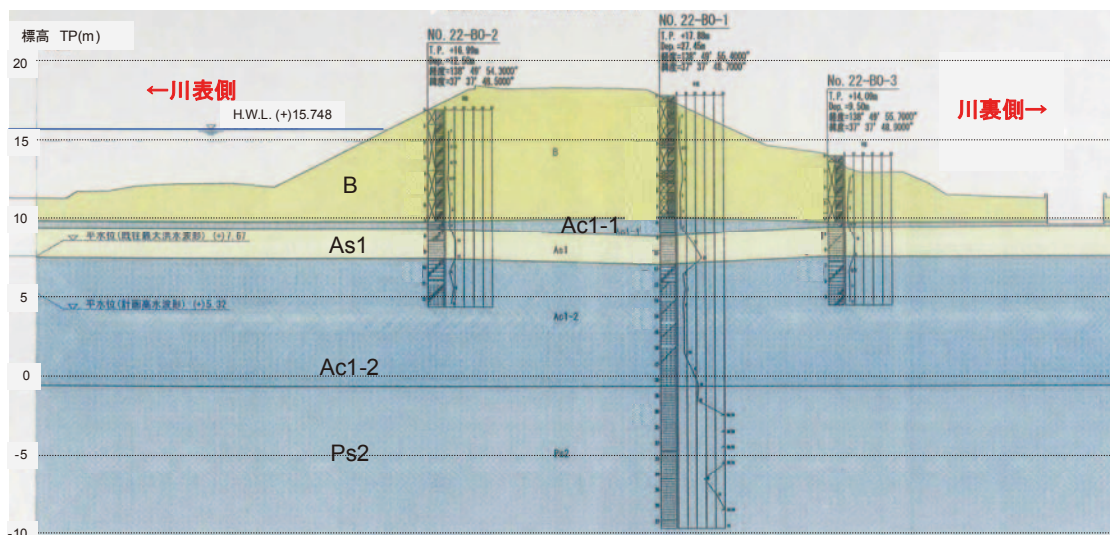


図-5.6 大河津分水路 2.2kp 右岸堤防の地質横断図（ボーリング調査は平成 17 年 6 月実施）（北陸地方整備局提供、一部加筆）

(3) 信濃川下流 42.0kp 付近左岸（燕市道金地先）

蒲原大堰の 100m 程度上流左岸に位置する低水護岸矢板に水平変位および傾斜が生じた。被災地点周辺の平面図を図-5.7、被災地点の断面図を図-5.8、被災状況を写真-5.6 に示す。図-5.7 に示すように、被災区間は蒲原大堰建設時（昭和 59 年竣工）の切り回し部にあたる。矢板は長さ 11m であり、長さ 7m の控え杭とタイロッドにより 1.6m 間隔で連結されている。矢板頂部（笠コンクリート天端）における傾斜角は 3° 程度、水平変位は 30cm 程度であった。延長約 140m にわたり、矢板頂部の笠コンクリートと背後の平張りコンクリートの間に開きが生じた（写真-5.7）。控え杭の上方に位置する地盤面には、最大 20cm 程度のくぼみが生じ、矢板背後の管理用通路にもクラックが生じていた。また、管理用通路背後の耕作地には噴砂痕が確認された（写真-5.8）。地震後には、シート張り工等による応急復旧がなされている。また、矢板の変形の進展状況を監視するための伸縮計が設置されたが、変形の進行は認められなかった。

ごく近傍に位置する中之口水門蒲原大堰管理所では、最大加速度 174gal（水平 2 成分合成）が観測されている。

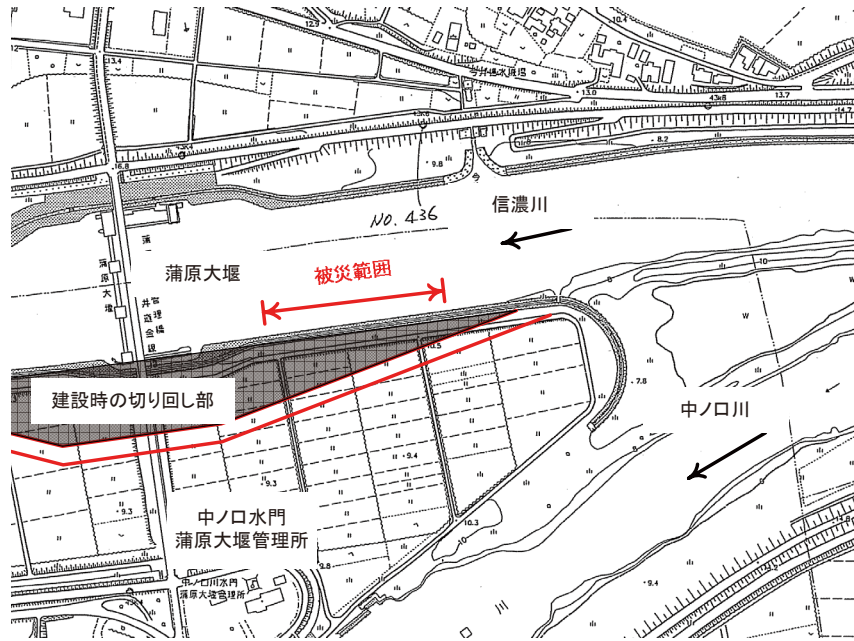


図-5.7 信濃川下流 42.0kp 付近左岸の周辺図

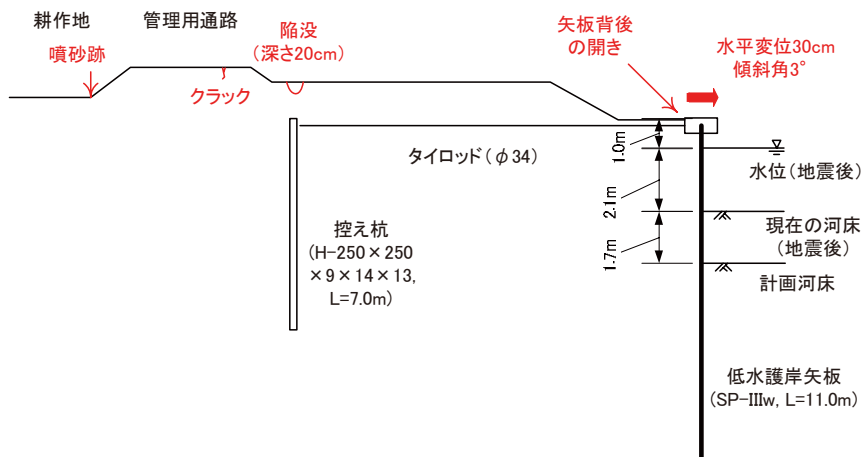


図-5.8 低水護岸矢板の被災状況



写真-5.6 低水護岸矢板の被災状況（下流側から上流側を望む）



写真-5.7 矢板背後に生じた開き



写真-5.8 管理用通路脇の耕作地に生じた噴砂（下流側から上流側を望む）

5.3.2 鯖石川

(1) 鯖石川 2kp 周辺左岸（柏崎市橋場地先）

鯖石川 2kp 周辺の被災状況の概要を図-5.9 に示す。この地域では、昭和 30 年代に河川改修工事が行われている。昭和 22 年に撮影された航空写真⁶⁾からトレースされた旧河道の位置をプロットすると、旧河道沿いに堤防や橋台、樋門などの被害や噴砂痕が集中していることが分かる。

開運橋から 300m 程度上流（クリーンセンターかしわざきの対岸）に位置する左岸堤防に横断亀裂および沈下が生じた。被災状況を写真-5.9 に示す。沈下が生じた区間は延長 84m にわたり、一連区間の最下流側に生じた横断亀裂は 1.2m の段差を伴うものであった。川裏側の住宅地および耕作地には噴砂痕が点在していた。地震後には、大型土嚢による応急復旧が実施されている。地震後に実施されたボーリング調査結果から得られた本地点における地質横断面図（図-5.10）によれば、堤体直下に 3~4m 程度の緩い砂質土層が存在することが確認されている。

開運橋から 30m 程度上流では、堤防天端付近を横断する水道管路が上部のコンクリート版を押し上げ、コンクリート版が 20cm 程度浮き上がっていた（写真-5.10）。これは、この位置での堤防天端に 20cm 程度の沈下が生じていたことを示唆するものである。

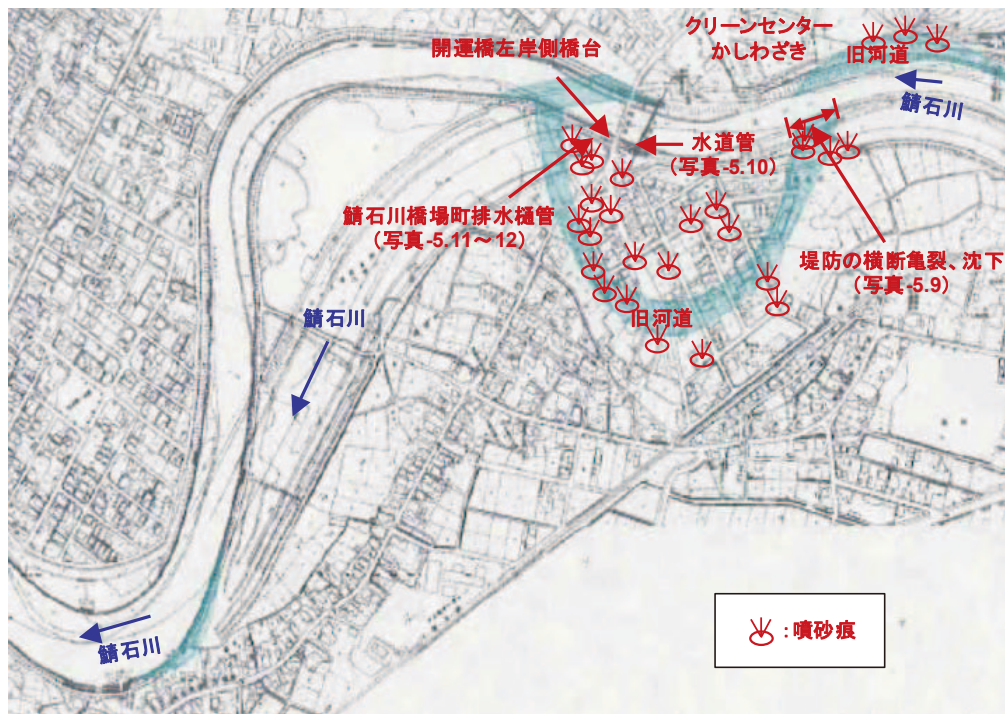


図-5.9 鯖石川 2kp 付近の被災概要

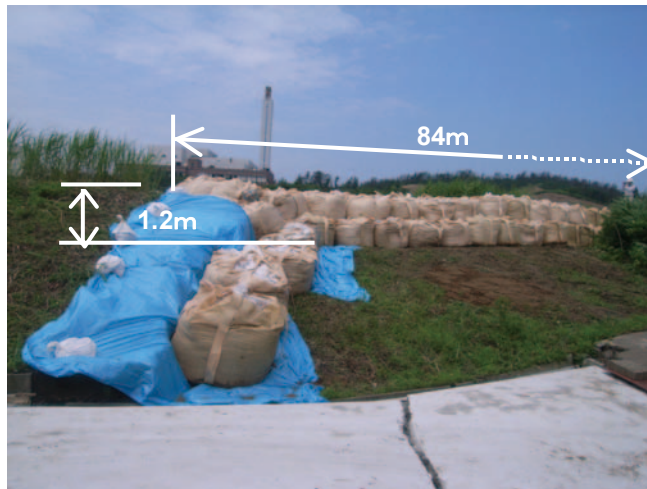


写真-5.9 鯖石川 2kp 付近左岸堤防の被災状況（川裏側から川表側を望む）

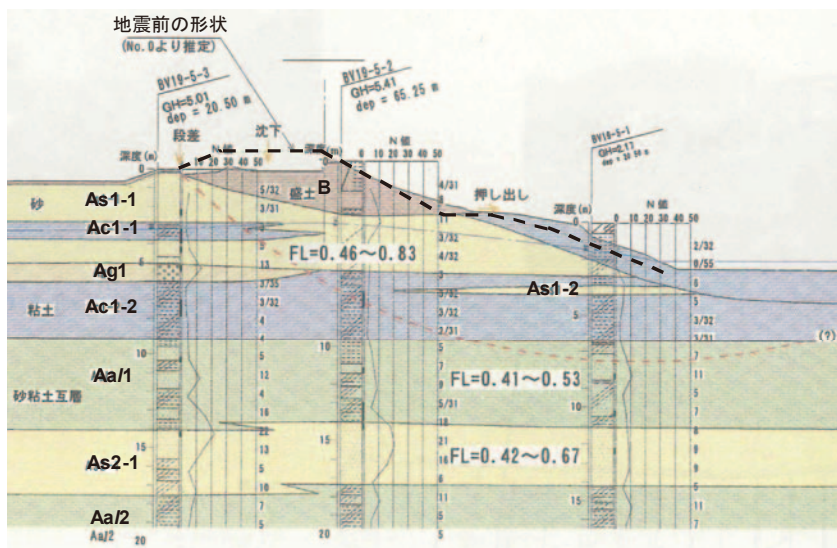


図-5.10 鯖石川 2kp 付近左岸堤防の地質横断図（新潟県提供、一部加筆）



写真-5.10 鯖石川 2kp 付近左岸の水道管路上部コンクリート版の浮き上がり（上流側から下流側を望む）

(2) 鯖石川橋場町排水樋管

開運橋左岸側橋台近傍に位置する鯖石川橋場町排水樋管周辺では、堤防天端の横断亀裂、低水護岸の損傷が生じた。門柱と取付水路の相対水平変位を測定した結果によれば（写真-5.11）、門柱が川側に前傾しているものと考えられる。また、川裏側の立抗内部では、函渠の吐口が立抗内に抜け出すように変形しているのが確認された（写真-5.12）。

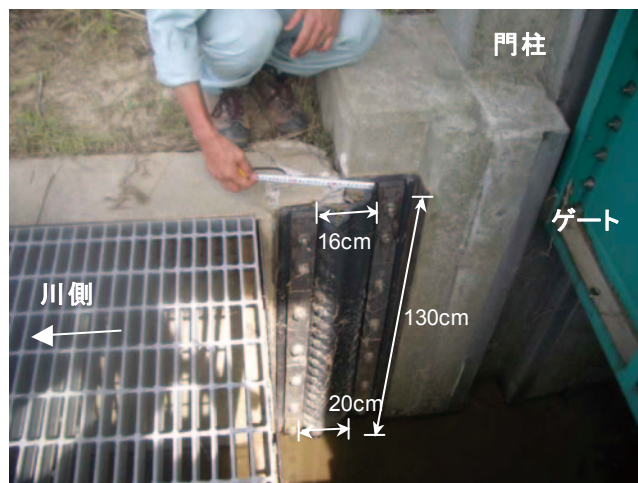


写真-5.11 鯖石川橋場町排水樋管の門柱と取付水路の相対水平変位測定状況



写真-5.12 鯖石川橋場町排水樋管の川裏側立抗内部の状況（立抗上部から鉛直下向きを望む）

(3) 鯖石川藤井堰上流 9.4kp 付近左岸（柏崎市平井地先）

藤井堰上流左岸の堤防天端に縦断亀裂が生じた（写真-5.13）。亀裂幅は 0.1～0.5m、深さは 2m 以上である。表のり護岸は川側へとはらみ出し、開きが生じていた（写真-5.14）。周辺に噴砂痕は見られなかった。川裏側のり面およびのり尻付近には変状が見られなかった。



写真-5.13 鯖石川藤井堰上流 9.4kp 付近左岸の堤防天端に生じた縦断亀裂（下流側から上流側を望む）



写真-5.14 鯖石川藤井堰上流 9.4kp 付近左岸における表のり護岸のはらみ出しおよび開き（上流側から下流側を望む）

5.4 液状化対策工の効果

2004年新潟県中越地震において堤防に被害を生じ、本復旧で基礎地盤に液状化対策が実施された信濃川本川2.0kp付近右岸（長岡市中条地先）、4.0kp右岸（長岡市本与板地先）、6.5kp右岸（長岡市長呂地先）⁷⁾では、今回の地震による顕著な被害は認められなかった。

5.5 まとめ

今回の地震による河川施設の被害の特徴をまとめると以下のとおりである。

- (1) 信濃川大河津分水堰周辺および鯖石川などに河川堤防等の被害が生じた。被害は主に堤防の亀裂や護岸の損傷であり、堤防の沈下や崩壊といった大規模な被害は少なかった。
- (2) 比較的大きな変状が生じた箇所（信濃川本川0kp付近左岸および鯖石川2kp付近左岸）の堤防は、いずれも旧河道上に築造されたものであり、周辺に液状化痕が見られた。
- (3) 2004年新潟県中越沖地震の本復旧において基礎地盤に液状化対策が実施された堤防では、今回の地震による変状が見られなかった。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震について（第28報：最終報）
<http://www.mlit.go.jp/bosai/disaster/>、2007.10.9
- 2) (株)サイバーマップ・ジャパン：地図情報検索サイトMapion
<http://www.mapion.co.jp/>
- 3) 国土技術政策総合研究所：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/>
- 4) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告、土木研究所報告、第125号、1965.6
- 5) 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所：平成19年新潟県中越沖地震における地震発生から緊急復旧まで、<http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/>、2007.8
- 6) 国土交通省国土計画局：航空写真画像情報所在検索・案内システム
<http://airphoto.gis.go.jp/aplis/Agreement.jsp>
- 7) 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所：平成16年10.23新潟県中越地震 地震発生から復旧まで～信濃川河川事務所の対応～
<http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/0to24/panfu/index2.html>、2005.10

6. ダム

6.1 はじめに

ダムについては、地震発生直後、基礎で最大加速度 25gal 以上を観測したダム、あるいは最寄りの気象官署で気象庁震度階が 4 以上である地震を観測したダムにあたる管理中の 110 ダム（国土交通省直轄 6 ダム、水資源機構 2 ダム、補助 34 ダム、利水 68 ダム）において、ダム管理者による臨時点検が行われた。二次点検までの結果として、川内ダム、柿崎川ダム、正善寺ダム以外については、特に異常は確認されなかった。上記 3 ダムについては、国土交通本省および新潟県からの要請により、国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室および独立行政法人土木研究所水工研究グループダム構造物チームが地震翌日の 17 日に緊急現地調査を実施した。その後、震源近傍の補助ダムおよび利水ダムを中心に 3 回の現地調査を実施した。

本報では、現地調査したダムについての目視による調査結果や、観測計器の計測結果によるダムの挙動について報告する。また、ダムにおいて観測された地震動記録の概要についても報告する。

6.2 ダムの調査結果

6.2.1 調査概要

表-6.1 に現地調査を実施したダムの一覧を示す。また、図-6.1 に、それらの位置図を示す。

第 1 回目は国土交通本省及び新潟県からの要請により、地震発生翌日に、臨時点検の結果、変状が確認された川内ダム、漏水量の増加が顕著に確認された正善寺ダム、震源に近い補助ダムである柿崎川ダムの 3 ダムの緊急調査を実施した。第 2 回調査も国土交通本省及び新潟県からの要請により、川内ダムの被災状況の詳細調査を実施した。その後、第 3 回および第 4 回調査は、震源近傍のダムについて、地震時挙動を把握する目的で自主調査を実施した。以下に、各ダムについて調査結果を記す。

表-6.1 2007 年新潟県中越沖地震 現地調査ダム一覧

調査回	日時	調査ダム	ダム管理者
第1回	7月17日	川内ダム	柏崎市(ガス水道局)
		柿崎川ダム、正善寺ダム	新潟県(土木部)
第2回	7月25、26日	川内ダム、谷根ダム、赤岩ダム	柏崎市(ガス水道局)
第3回	8月1日	柿崎川ダム、笠堀ダム	新潟県(土木部)
第4回	9月5、6日	鯖石川ダム、城川ダム	新潟県(土木部)
		浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池	JR東日本
		川西ダム、松葉沢ダム、坪山ダム、長福寺ダム	新潟県(農地部)

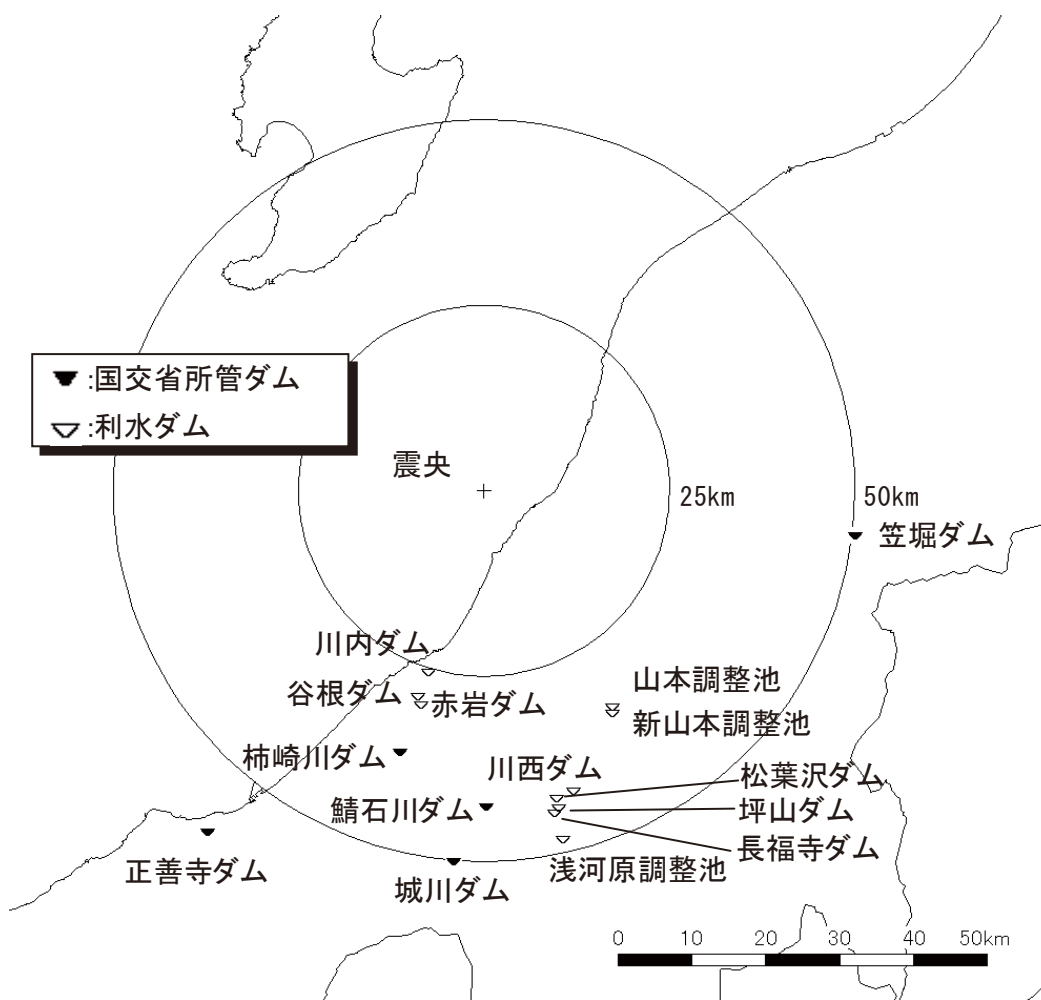


図-6.1 国総研・土研による現地調査ダムの位置図

6.2.2 国土交通省所管補助ダム

(1) 柿崎川ダム

国土交通省所管のダムで今回の新潟県中越沖地震の震源に最も近いダムは、新潟県管理の柿崎川ダムである。柿崎川ダムは、二級河川柿崎川上流に2003年に完成した、洪水調節、不特定用水、上水道用水を目的とした多目的ダムで、堤高54m、堤頂長424m、総貯水容量5,000,000m³、堤体積1,600,000m³の中央コア型のロックフィルダムである。柿崎川ダム堤体の標準断面図、縦断面図をそれぞれ図-6.2、図-6.3に、また、写真-6.1に下流から見た堤体を示す。なお、図中には、地震計の設置位置もあわせて示している。

当ダムは震央から約31kmに位置し、図-6.2に示すダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向143gal、ダム軸方向170gal、鉛直方向76galの最大加速度を記録し、天端位置での地震計では、上下流方向275gal、ダム軸方向220gal、鉛直方向で114galの最大加速度を記録した。

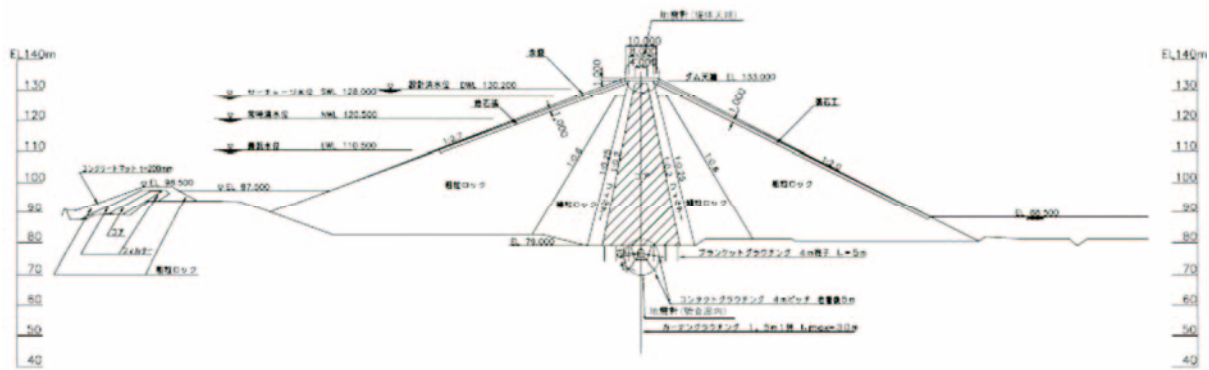


図-6.2 柿崎川ダム標準断面図

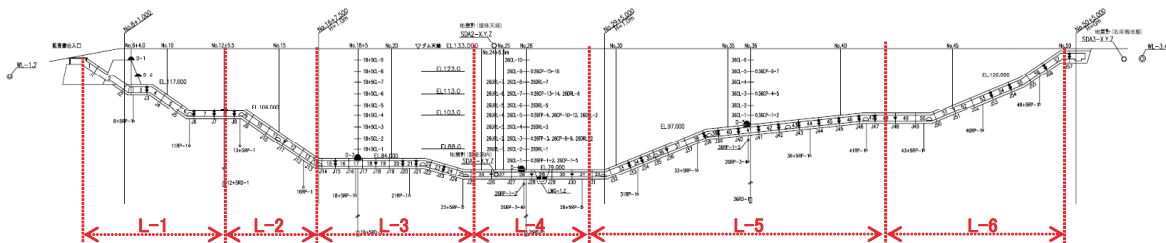


図-6.3 柿崎川ダム縦断面図

1) 目視観察結果

目視による変状の確認を行ったが、天端、法面、監査廊内ともに、特に大きな変状は確認されなかった。ただし、天端中央の歩道の縁石一部が浮き上がりを起こしていた（写真-6.2）。管理所職員の話によれば、地震発生以前より浮き上がりの兆候はあったとのことであり、今回の地震で、浮き上がりが助長されたものと考えられる。



写真-6.1 柿崎川ダム（下流から）

2) 堤体観測結果

(a) 漏水量

漏水量（フィルダムでは、ダム毎に漏水集水構造が異なるが、堤体の遮水材料を通じて浸透してくる堤体浸透流、浅い基礎部分を浸透してくる浸透流、左右岸地山からの地下水を集水し、計測している。これらを、河川管理施設等構造令では「漏水」と定義し、設計上でも考慮されているものであるから、本報告書では、「漏水量」と呼ぶ。）については、毎時間自動計測が行われている。コア直下流からの漏水量（ゾーンL1～L6までの合計）を見ると、図-6.4 に示すように、16日10時13分を挟む、10時と11



写真-6.2 天端中央の歩道縁石の浮き上がり

時のデータで比較すると、36.40/min から 42.00/min に増加している。コア下流からの漏水量は6つにゾーニング (L1~L6) され、ゾーン毎に漏水量を計測しているが、堤体の最大断面を有するゾーンL4以外は、それぞれ40/min以下の漏水量であり、地震前後でも顕著な変化はない。一方、ゾーンL4は、地震直前の10時では、23.20/minであったものが、地震直後の11時では27.60/minへと、4.40/min増加した。一方、図-6.5にもう少し長期間の漏水量の変化とその時刻の貯水位を示した。貯水位の変化による漏水量の変化に比べると、今回の地震での漏水量の変化は非常に小さく、また、地震発生1ヶ月後である8月中旬の状況を見ると地震前と変わらない状況に戻っていることが分かる。

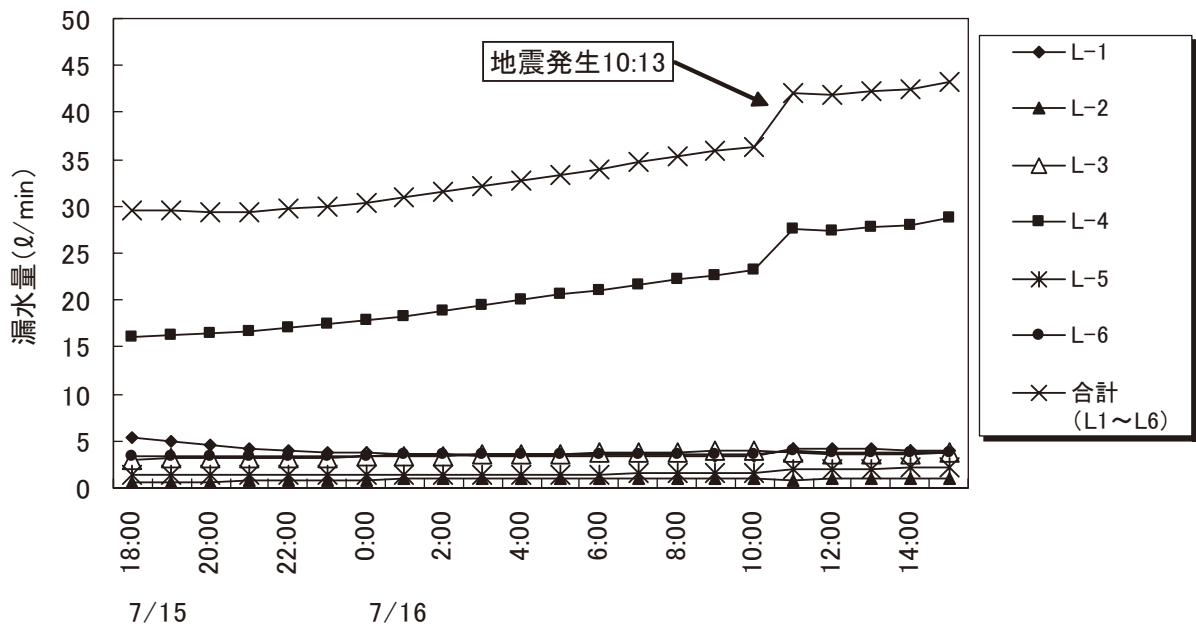


図-6.4 柿崎川ダムの漏水量 (コア下流浸透量)

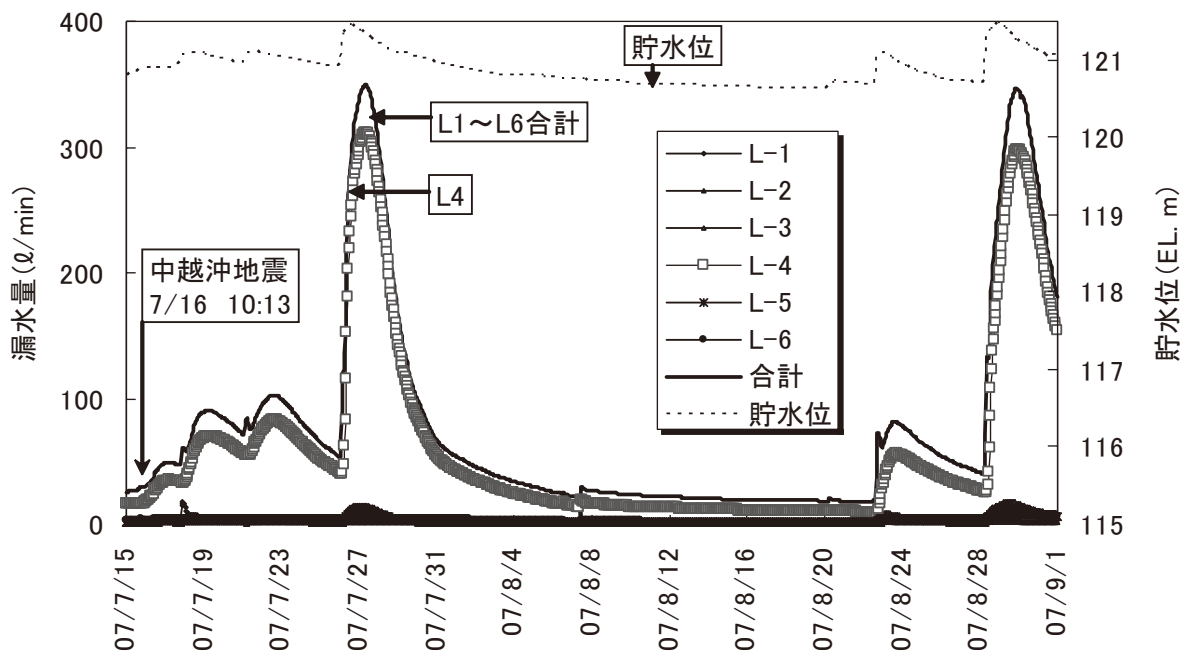


図-6.5 柿崎川ダムの漏水量と貯水位との関係

(b) 堤体変形

堤体の外部変形については、地震後直ちに実施された臨時点検のうち、2次点検の一環として標的測量が行われた。標的は、天端ダム軸上 (EL. +133m) に 15 点、上側流面中腹法面 (EL. +123m) に 13 点、下流側中腹法面に 2 測線 (EL. +123m、108m) に 18 点 (EL. +123m に 12 点、EL. +108m に 6 点) あり、地震直前の 7 月 2 日に測量が実施されており、その結果を地震前の状態として、地震後の記録を比較した。

図-6.6 に水平変位のベクトル図を示す。水平変位量は数 mm～約 30mm であり、下流側の EL. +123m 測線上の中央付近の標点 No. 13 では、左岸側に 26mm、下流側に 19mm の変位を観測した。水平方向の全体の挙動としては、概ね、下流側堤体法面側点が下流左岸側に、上流側堤体法面側点が上流左岸側へと変位を観測し、上下流方向を見ると、後述の沈下量の分布もふくめて考察すると、沈下しながら、上下流方向に若干広がった残留変形をしたことになる。また、ダム軸方向については、完成後からの水平方向の累積変位は、天端や上流側堤体法面では、最大断面である中央部を境として、中央部方向への変位を記録している。天端中央の歩道の縁石が浮き上がったのは、その影響であることが推察できる。

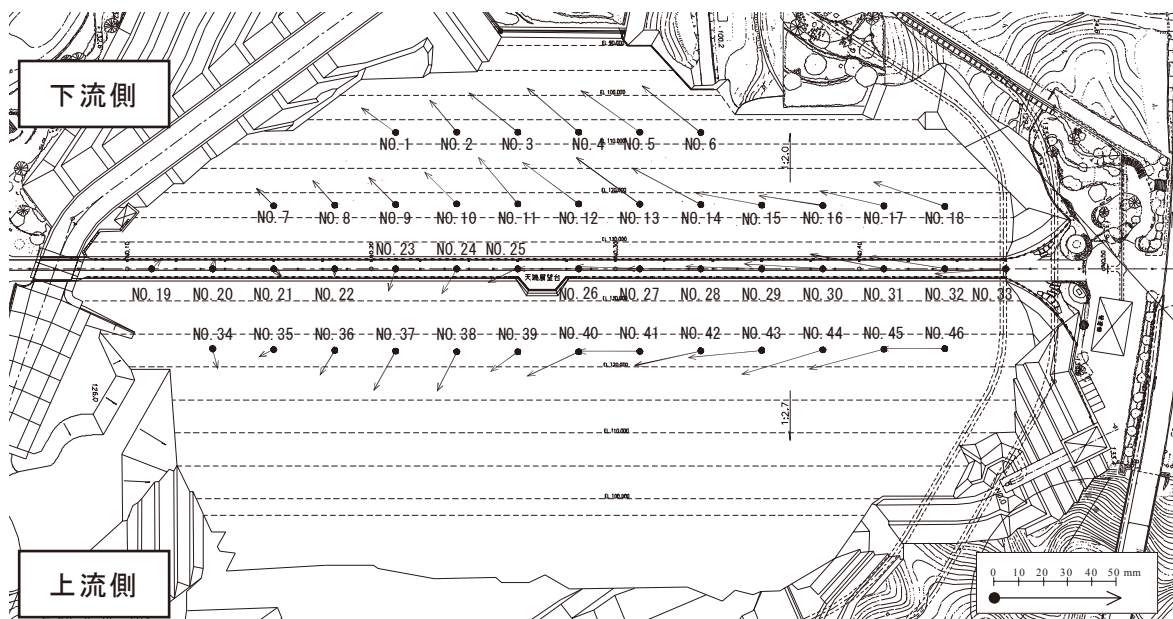


図-6.6 柿崎川ダムの地震前後での水平変位ベクトル図

図-6.7 に、天端の測点 15 点における沈下量のダム完成後からの推移を示す。今回の 2007 年新潟県中越沖地震によって、天端では数 mm～75mm の沈下が観測された。図から 2004 年新潟県中越地震 (M. 6.8) 時の柿崎川ダムの天端沈下量は最大でも 7mm 程度の沈下量の観測記録であったが、今回の地震では、天端中央で最大 75mm を観測した。国内外のフィルダムにおける過去の地震における地震動強さと天端沈下量の関係については 6.2.3 (1) の図-6.24 において、柿崎川ダムの事例も含めて示している。

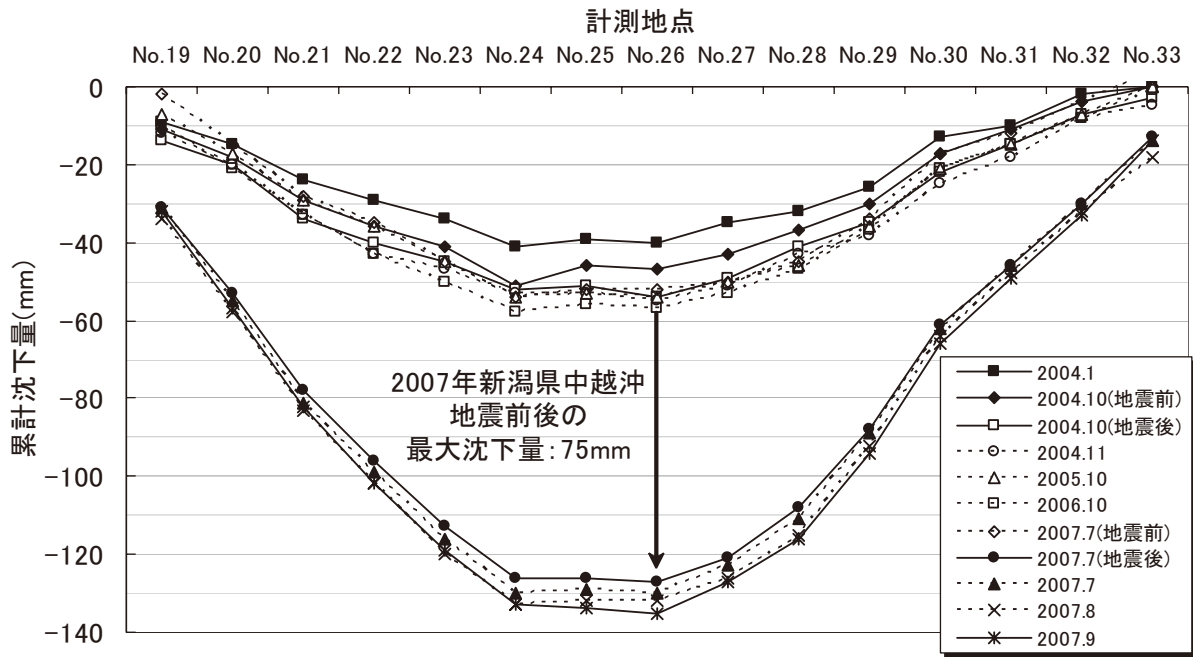


図-6.7 柿崎川ダムの堤体天端の累計沈下量の推移

(c) 監査廊ジョイントの開き

柿崎川ダムでは監査廊の全ジョイントの開きについて試験湛水時より継続観測を実施している。ジョイント 18 (J-18X) について、今回の地震直前の 7 月 16 日 10 時で 4.34mm であったものが、11 時の記録では 4.85mm になっていた。また同じ箇所の翌日 17 日 13 時の記録では、5.01mm となった。地震動によりジョイントの開きが増加したものと考えられる。

(2) 鯖石川ダム

鯖石川ダムは、二級河川鯖石川上流に 1974 年に完成した、洪水調節、不特定用水を目的とした新潟県が管理する多目的ダムで、堤高 37m、堤頂長 170m、総貯水容量 6,000,000m³、堤体積 87,500m³の重力式コンクリートダムである。鯖石川ダムの標準断面図を図-6.8 に示す。

地震時の加速度については、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 115gal、ダム軸方向 93gal、鉛直方向 70gal の最大加速度を記録し、天端での地震計で、上下流方向 129gal、ダム軸方向 104gal、鉛直方向で 84gal の最大加速度を記録した。天端の上下流方向の加速度応答がダム基礎に比べてあまり大きくない。これは、図-6.8 に示すように上流側フィレットが大きく断面形状が台形に近い形状であることも理由の一つと考えられる。

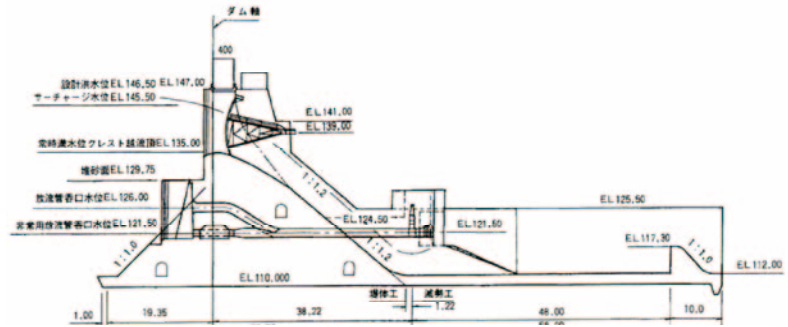


図-6.8 鯖石川ダム標準断面図

1) 目視観察結果

地震によるものと考えられるクラックなどの大きな変状は確認されなかった。監査廊内の継目では、左岸上段 (EL. +132m) 部の継目 J7 及び底部下流 (EL. +112m) 部の継目 J4 の遊離石灰が一部剥落しているのが確認された (写真-6.3)。



写真-6.3 鯖石川ダム監査廊内継目 J7 遊離石灰剥落状況

2) 堤体観測結果

(a) 漏水量

図-6.9 に、鯖石川ダムの 2007 年 6 月～11 月の漏水量（コンクリートダムでは、基礎排水孔からの排水量と横継目からの排水孔を通じて集水される継目排水量を計測している。これらを河川管理施設等構造令では「漏水量」と定義し、設計上でも考慮されているものである。）の変化を貯水位の変化と合わせて示している。地震前 7 月 16 日 0 時時点に 5.05 l/min であった漏水量が、地震後の 16 日 12 時には、8.62l/min に増加した。その後、同程度の漏水量で推移し、1 ヶ月後の 8 月下旬頃から若干の減少傾向であったが、9 月中旬に貯水位を下げるのに連動して漏水量も減少している。

一方、図-6.10 に、2004 年 9 月～2007 年 11 月までの長期間の漏水量の変化を示す。2004 年 10 月 23 日には、新潟県中越地震が発生し、その後漏水量が増加しており、2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震発生までに漏水量が漸減してきていたことが読み取れる。そこに、今回の地震で再び漏水量の増加が発生し、現在では再び漸減していると考えられる。現時点では、放流管の修繕工事の施工に伴い、貯水位を下げているため、常時満水位状態になった場合の漏水量が確認できないが、今後、再度貯水位を上げた際には、安全上の問

題となる程度のものではないものの、漏水量の変化と推移を確認する必要がある。

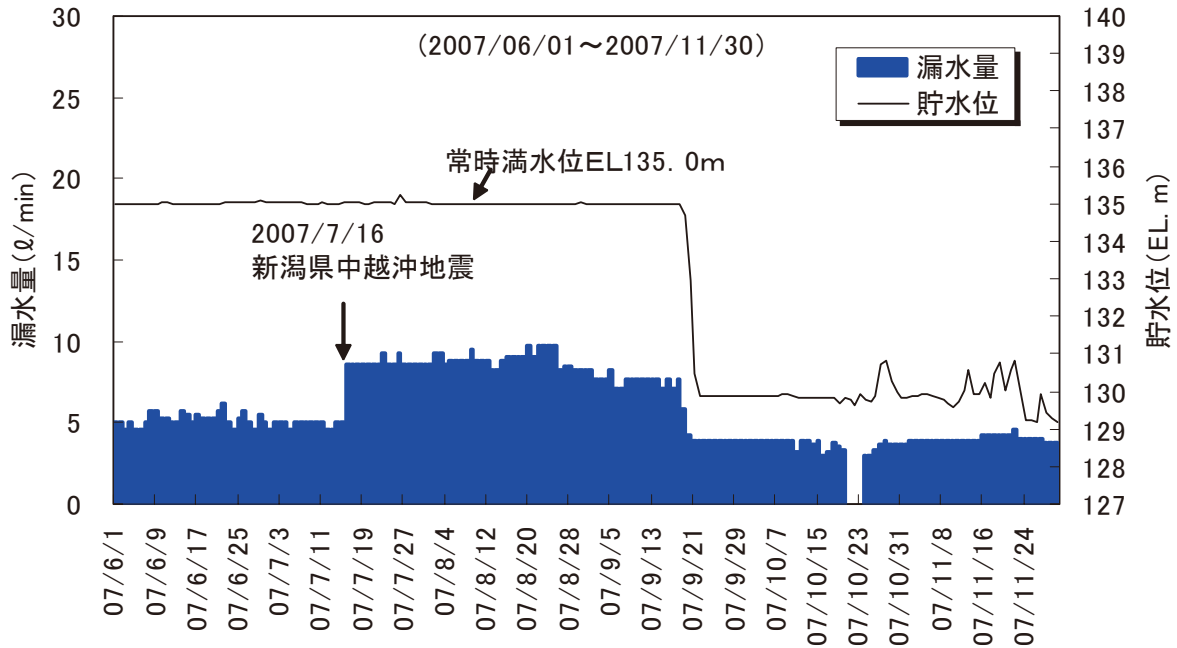


図-6.9 鯖石川ダム漏水量の推移（地震前後短期：2007年6月～11月）

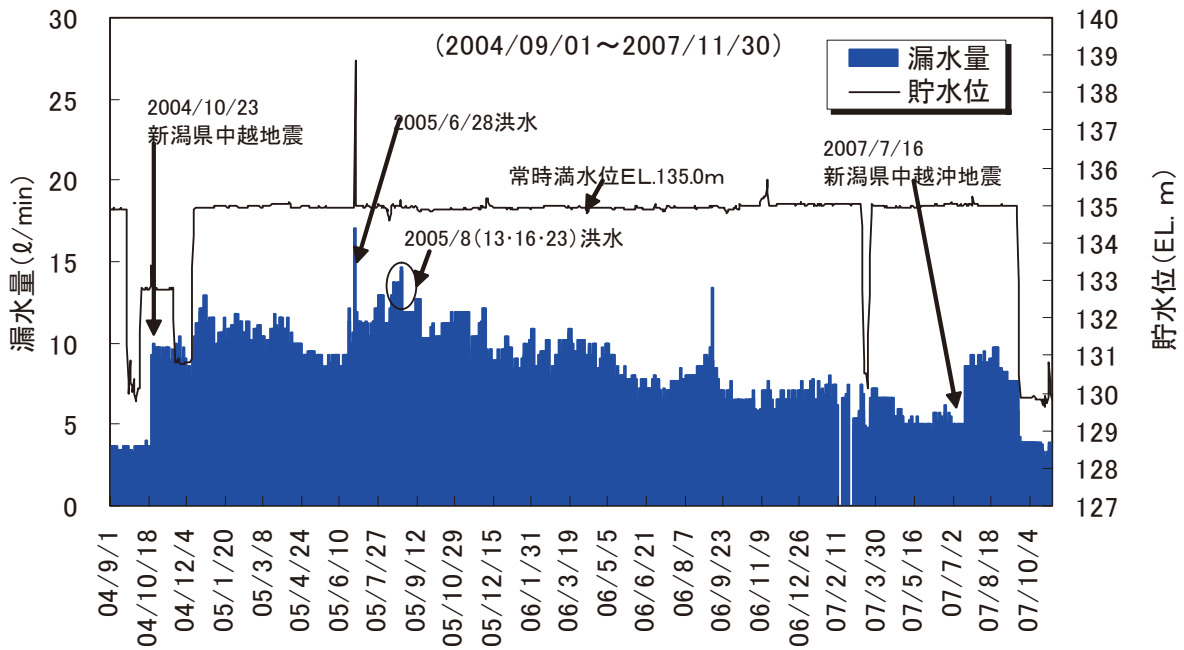


図-6.10 鯖石川ダム漏水量の推移（長期：2004年9月～2007年10月）

(b) 堤体変形、揚圧力

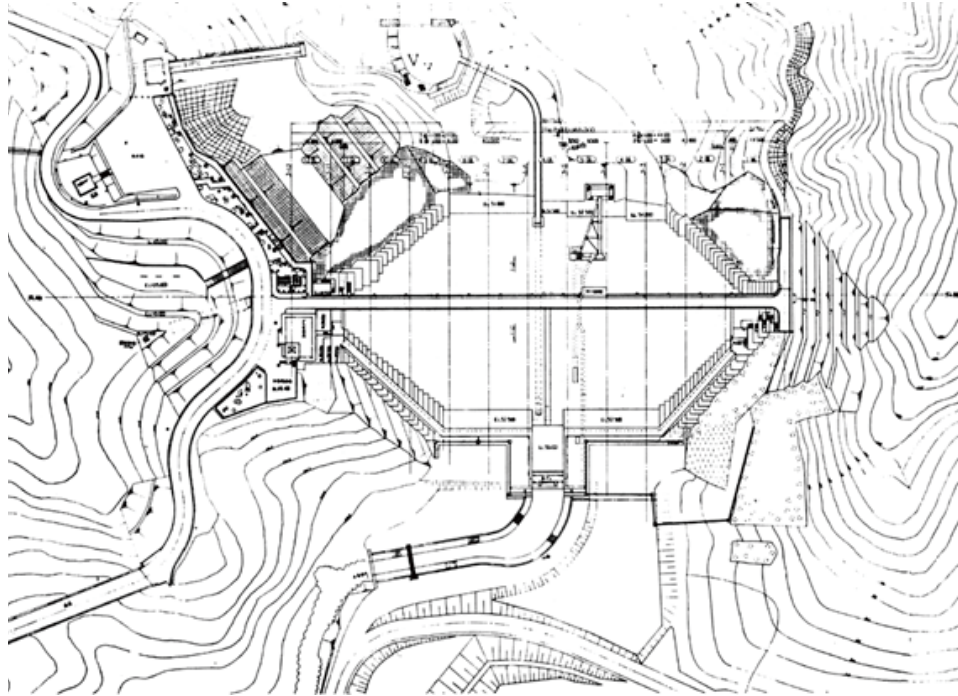
鯖石川ダムには、プラムラインは設置されていないが、逆プラムラインが最大断面の BL6 と左岸側の BL2 にそれぞれ設置されている。しかし、今回の地震の前後ではどちらの観測記録からも特に大きな変化は確認できなかった。

また、揚圧力に関しても、地震による大きな変動は確認されなかった。

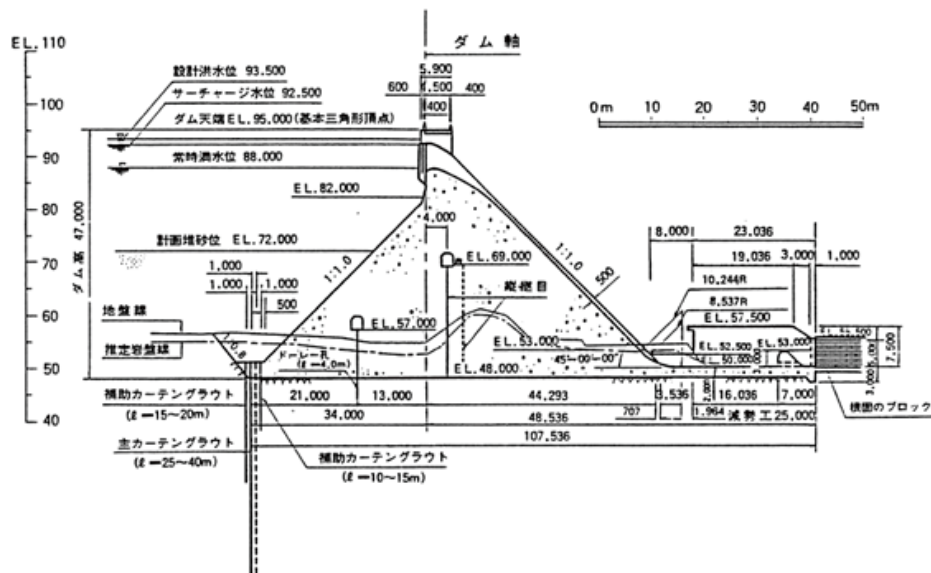
(3) 正善寺ダム

正善寺ダムは、関川水系正善寺川に 1984 年に完成した洪水調節、不特定用水、上水道用水を目的とした新潟県管理の多目的ダムであり、堤高 47m、堤頂長 187.5m、堤体積 203,000m³、総貯水容量 4,600,000m³の重力式コンクリートダムである。正善寺ダムの構造を図-6.11 に示す。鯖石川ダムと同様に、大規模なフィレットがある構造である。

地震時の加速度については、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 91gal、ダム軸方向 36gal、鉛直方向 30gal の最大加速度を記録し、天端での地震計では、上下流方向 98gal、ダム軸方向 40gal、鉛直方向で 30gal の最大加速度を記録している。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.11 正善寺ダムの構造

1) 目視観察結果

目視観察上、天端、上下流面に特に変状は観察されなかった。

2) 堤体観測結果

(a) 漏水量

正善寺ダムの漏水量（基礎排水量と継目漏水量）と貯水位の計測結果の推移を図-6.12 に示す。全漏水量は、地震前後で、4.68ℓ/min から 105.24ℓ/min へ急増しているが、左岸側の継目排水孔 J-1 からの漏水量がそのほとんどの量を占めている。図-6.13 に、堤体の継目位置を示した正善寺ダムの縦断図を示す。表-6.2 に地震発生前後の継目漏水量の計測結果を示す。ここに、継目排水孔 J-2 と J-2' は、いずれも横継目 2 (J-2) からの継目漏水を監査廊に排水する孔であるが、排水孔の出口位置が、J-2 は監査廊内の高標高部 (EL. 75.0m) で、J-2' は低標高部 (EL57.0m) である。地震発生後、継目排水孔 J-1 と J-2' からの漏水量が急激に増加した。特に J-1 は、2.8ℓ/min から 113ℓ/min と大幅に増加した (写真-6.4 参照)。また、管理所職員によると、計測時に J-1 排水では黒色系の濁り、J-2' 排水では茶色系の濁りが確認された。その後、7/16 日 18:00 の点検時にはいずれの排水孔からの排水に濁りはなかったことを確認している。

なお、過去に、2004 年新潟県中越地震後、2007 年能登半島地震後にも、継目排水孔 J-1 では、数 10ℓ/min 程度の漏水の急激な増加がみられ、その後、次第に減少したという経緯があった。2004 年新潟県中越地震の際には、図-6.14 に示すように、J-1 の漏水量は 22.5ℓ/min まで増加し、その後数ヶ月かかって減少し、元の量程度に回復した。2007 年能登半島地震の際には、図-6.15 に示すように、J-1 の漏水量は 16.1ℓ/min まで増加した。

今回の地震でも、図-6.12 に示すように、地震後に J-1 の継目漏水量は、減少傾向にある。しかし、貯水位も同時に減少したものであり、11 月中下旬に貯水位の上昇とともに、再度、漏水量は増加し、貯水位が同等となった 9 月中下旬の時の漏水量とほぼ同程度になっていることから、漏水量は貯水位と直接的に連動していることがわかる。今後とも、継続して計測監視していく必要がある。

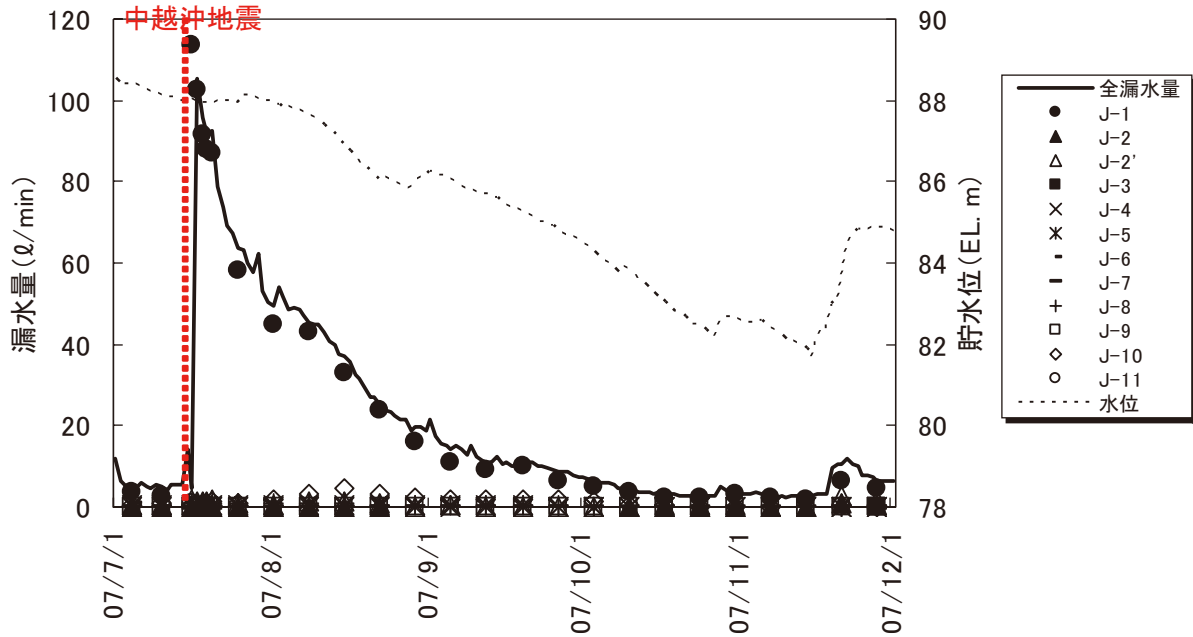


図-6.12 正善寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果

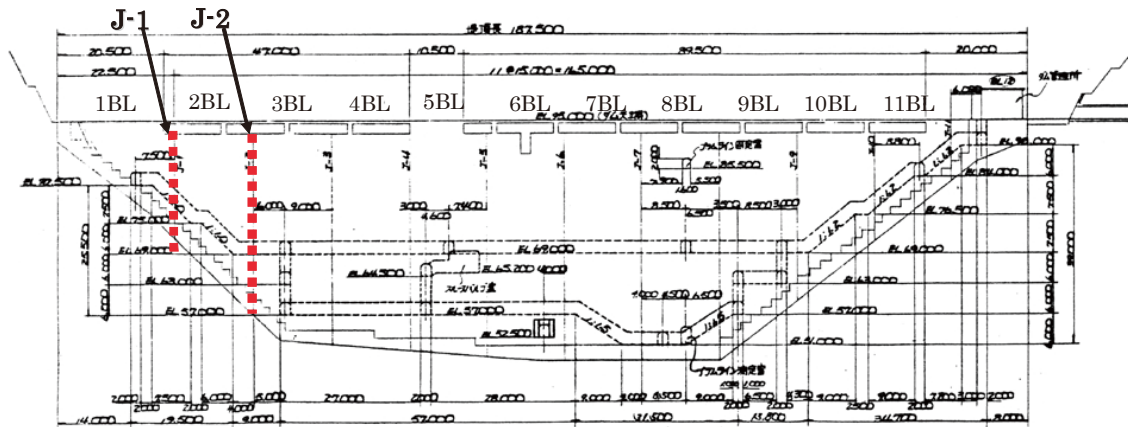


図-6.13 正善寺ダム縦断図

表-6.2 継目漏水量の変化 (正善寺ダム)

継目箇所と継目排水孔の排出口標高	継目漏水量計測結果		
	7/10	7/16(15:37 余震後)	7/17 (8:30)
J-1 (EL75.0m)	2.8ℓ/min	113ℓ/min (黒色系の濁り)	102ℓ/min (濁りなし)
J-2 (EL75.0m)	0.04ℓ/min	0.2ℓ/min	0.1ℓ/min
J-2' (EL57.0m)	0.54ℓ/min	1.72ℓ/min (茶色系の濁り)	1.54ℓ/min (濁りなし)

*地震時貯水位：EL. 88.0m



写真-6.4 継目排水孔 J-1 からの漏水 (2007 年 7 月 17 日撮影)

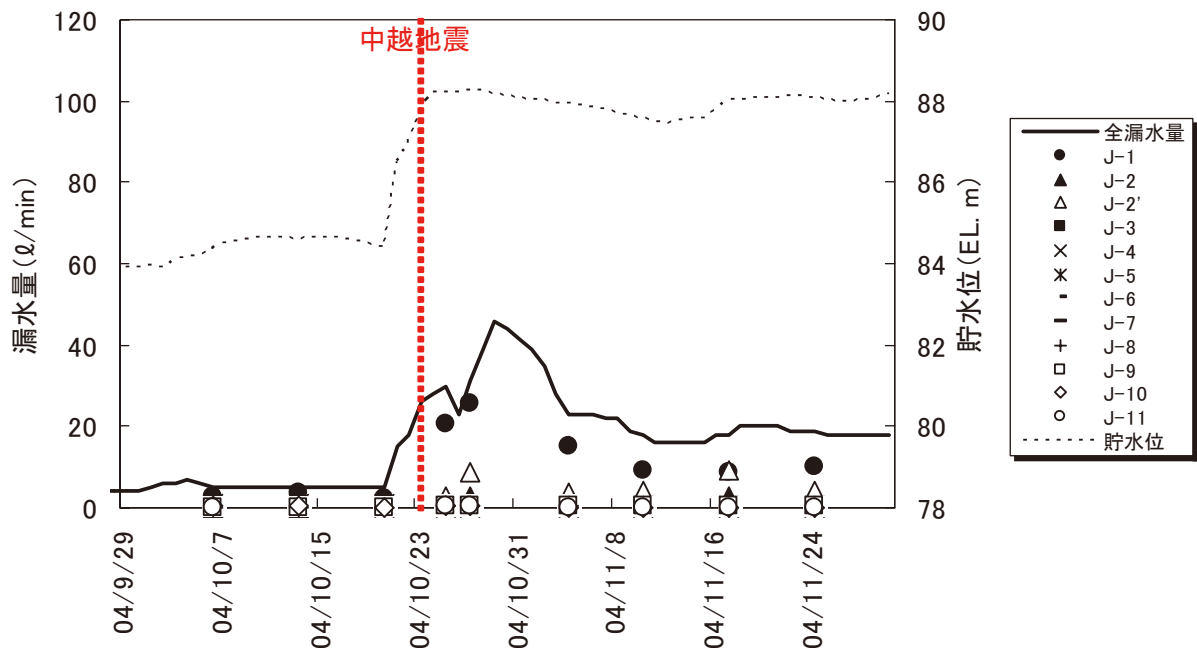


図-6.14 正善寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果 (2004 年新潟県中越地震)

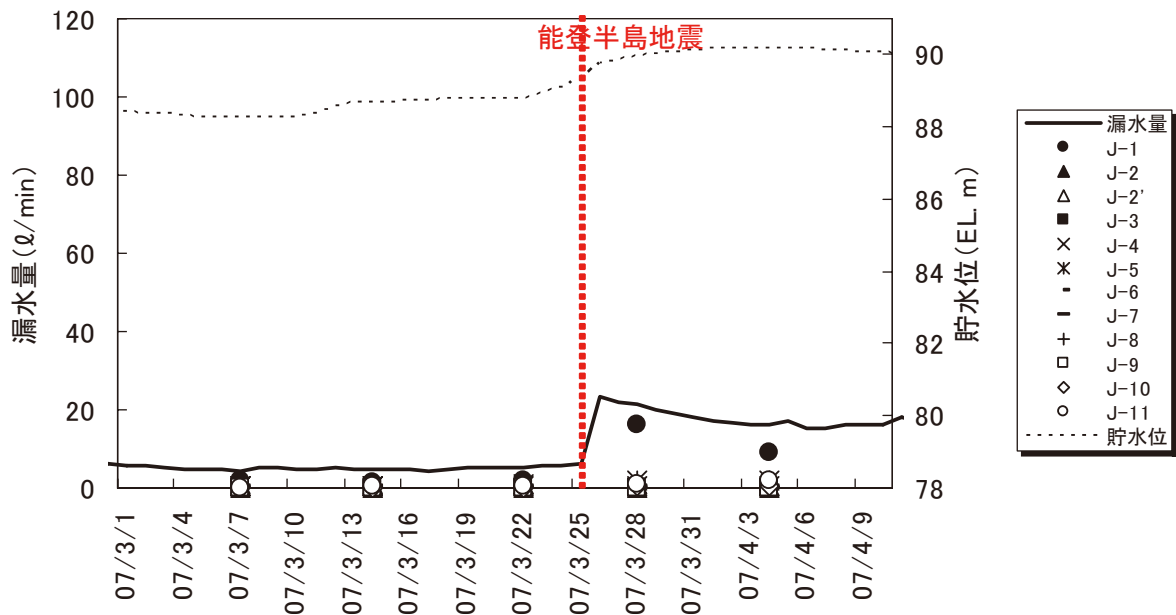


図-6.15 正善寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果（2007年能登半島地震）

(b) その他

地震前後でプラムラインと揚圧力に大きな変化は確認されていない。

(4) 笠堀ダム

笠堀ダムは、信濃川水系笠堀川上流に 1964 年に完成した、洪水調節、不特定用水、上水道用水、発電を目的とした新潟県管理の多目的ダムで、堤高 74.5m、堤頂長 225.5m、総貯水容量 15,400,000m³、堤体積 231,000m³の重力式コンクリートダムである。

地震時の最大加速度は、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 26gal、ダム軸方向 23gal、鉛直方向 24gal で、あまり大きな記録ではないが、天端の地震計では、上下流方向 363gal、ダム軸方向 116gal、鉛直方向で 102gal の最大加速度を記録しており、大きな堤体応答を示していることから、調査を行った。

天端の加速度が大きい値を示しているが、目視観察において、天端付近で特に異常は確認されなかった。また、地震計にも特に異常はなかった。ただし、天端の地震計は堤体下流に張り出したエレベータ塔の下流側端部に位置しており、エレベータ塔全体の応答の影響も受けていると考えられる。

ダム堤体の状況については、地震により変状を受けた形跡はなかった。また、笠堀ダムの漏水量は手動により観測されているが、地震前の直近の観測記録が 7 月 13 日時点で、貯水位 191.86m に対し 32.64ℓ/min、地震後の 7 月 17 日時点で、貯水位 191.62m に対し 25.20 ℓ/min であり、地震前後で地震が原因と考えられる漏水量の変化は確認されていない。

(5) 城川ダム

城川ダムは、信濃川水系城川上流に 1997 年に完成した、洪水調節、不特定用水、上水道用水を目的とした新潟県管理の多目的ダムで、堤高 21.7m、堤頂長 85.5m、総貯水容量 297,000m³、堤体積 14,100m³の小規模な重力式コンクリートダムであり、新潟県が管理している。

地震の加速度については、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 77gal、ダム軸方向 66gal、鉛直方向 50gal の最大加速度を記録し、天端の地震計では、上下流方向 82gal、ダム軸方向 69gal、鉛直方向で 56gal の最大化速度を記録した。

目視観察による調査において特に変状は確認されなかった。漏水量の 1 回/週の記録では、地震発生約 1 週間前の 7 月 13 日に 1.58ℓ/min であったものが、地震直後の 17 日に 2.36 ℓ/min に増加し、20 日に 2.37ℓ/min となっているが、その後、漏水量は減少している。地震により若干増加したと考えられるが、量的に僅かであり、安全性には問題ないといえる。

6.2.3 利水ダム

(1) 川内ダム

川内ダムは、二級水系である前川水系の前川に 1938 年に完成したアースダムである。ダムの目的は、上水道用水であり、柏崎市ガス水道局が管理している。川内ダムは文献 1) によると、1949 年度に嵩上げされている。ダムの諸元は、堤高 23.98m、堤頂長 122m、堤体積 97,000m³、総貯水容量 265,000m³であり、構造を図-6.16 に示す。

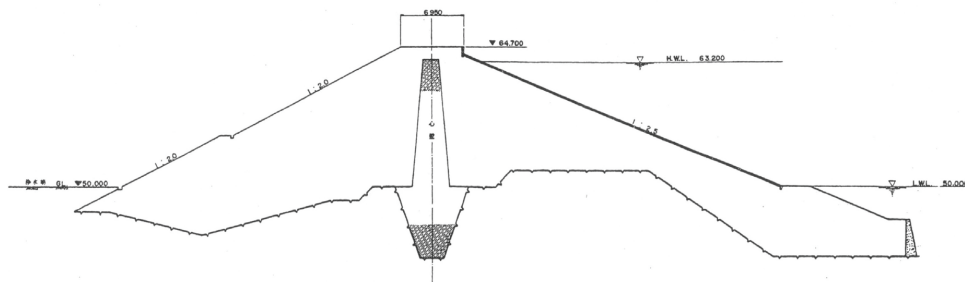
同じく柏崎市ガス水道局が管理している谷根ダム、赤石ダムとともに、柏崎市の水源となっており、導水系統を図-6.17 に示す。

川内ダムでは、天端と下流法尻（導水管設置標高）の 2 カ所に 2007 年 3 月に単独作動条件の地震計が設置された。地震後の 7 月 18 日午前記録の回収をしたが、近 10 地震波形をメモリー記録し、それ以前の記録は上書き更新する設定であったため、天端地震計では、余震記録が上書きされ本震記録は記録されていなかった。基礎地震計では、本震最大加速度約 280gal（上下流方向）の加速度を計測した。ダム基礎の地質は不明である。



(a) 平面図

標準断面 縮尺 1:200



(b) 堤体標準断面図

図-6.16 川内ダムの構造（柏崎市提供資料より）

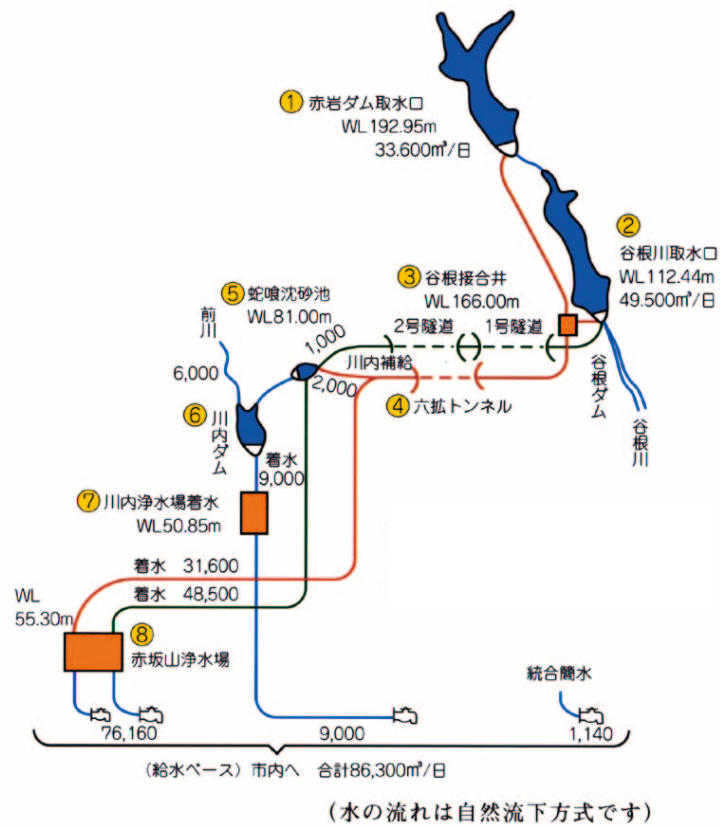


図-6.17 柏崎市導水系統図¹⁾

1) 目視観察結果

(a) 地震発生直後の目視調査

ダム管理者により実施された調査をもとに、天端のクラック位置を図示した被害発生状況を図-6.18 に示す。

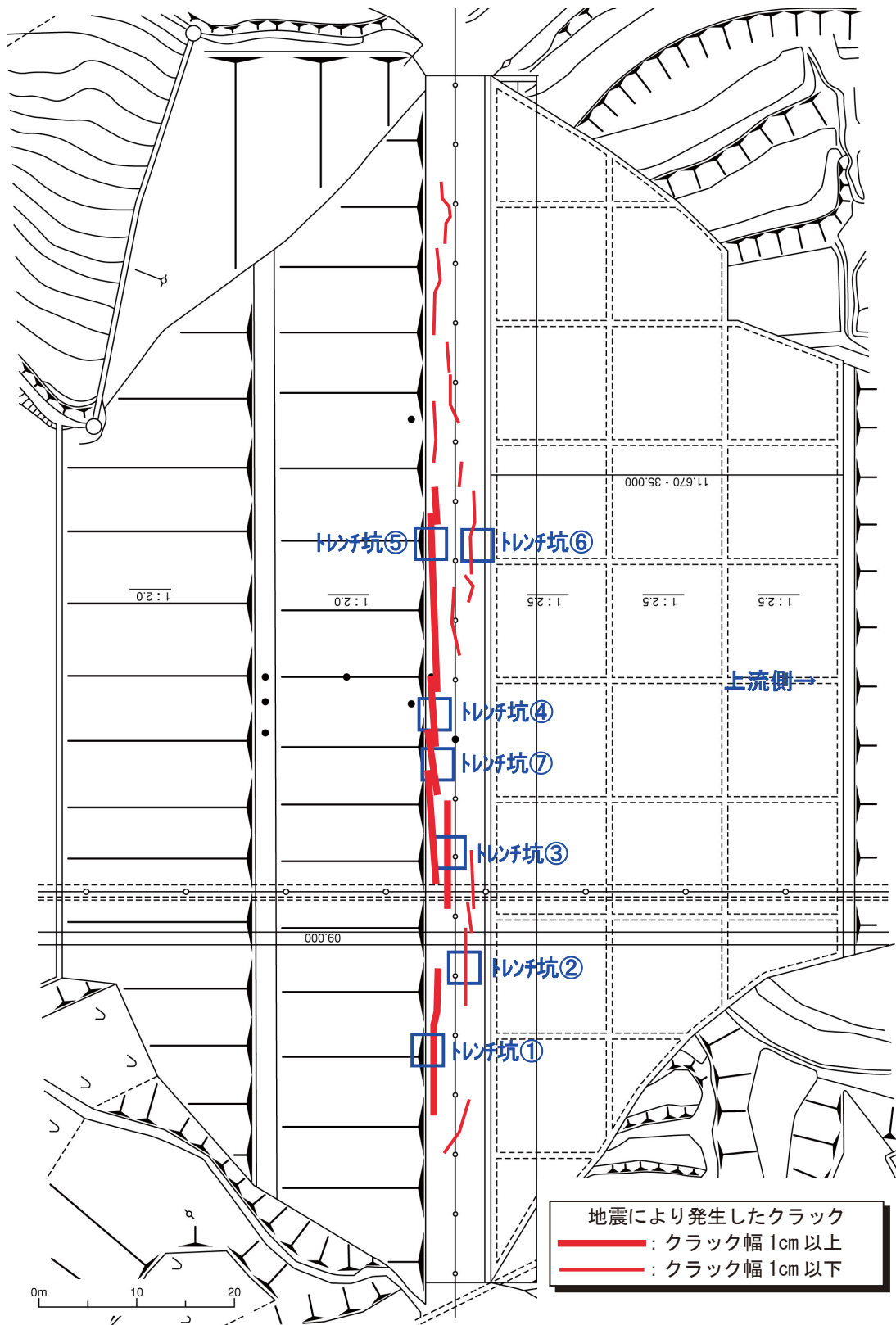


図-6.18 川内ダム被害発生状況及び天端トレンチ調査坑位置(柏崎市提供資料を元に作成)

a) 天端

天端では、最大 5～10cm 幅、長さ 10m 程度の数条のダム軸方向に沿った縦クラックが確認された（写真-6.5、6.6 参照）。クラックは天端のほぼ全長にわたって生じたが、特に堤頂中央から左岸側、かつ下流法肩付近と天端の上下流方向中央付近に集中していた。なお、発生したクラックについては、地震発生当日のうちに天端全面にシートを敷き雨水進入を防止するなどの応急対策が施された。

また、天端両法肩の欄干手すりが堤頂中央付近で、写真-6.7 に示すように、下流側に若干のたわみが目視確認できた。ほぼ 2 年前の 2005 年 4 月撮影に撮影された写真-6.8 では、欄干手すりのたわみは見られないことから、今回の地震による堤体の変形挙動に伴っての変状であると考えられる。

b) 上流面

上流面は、90cm 高の擁壁の下に、保護工である薄い張コンクリートブロックで覆われている。堤頂中央付近で最上段の張ブロックの目地に最大 4cm 幅の開きが確認されている（写真-6.9）。地震時の張ブロック同士のぶつかりによる張ブロック端の新鮮な欠片も数カ所見られた。また、張ブロック目地の隙間から堤体材料の吸出しが数カ所見られた（写真-6.10）。

c) 下流面

地震後に下流法面を除草し、目視調査を行った。明確なクラックや明瞭な腹み出しの痕跡は確認されなかったが、下流法面は草・コケ類で覆われ、堤体材料を直接観察することが出来なかったため、詳細確認は困難であった。

d) ダム湖周辺

地震発生 3 日後の 7 月 19 日に撮影された川内ダム上空の航空写真（写真-6.11：国土交通省国土地理院撮影）では、ダム湖周辺に地すべり等の変状はみられない。また、ダムから下流の河口に近い国道 8 号との交差付近では、地震で損傷し屋根にブルーシートを覆った家屋が見られ、ダム近傍で強い地震動が作用したことが推察できる。



写真-6.5 天端のクラック（左岸側より）
地震直後（2007.7.16撮影）（柏崎市提供）



写真-6.6 天端中央のクラック
地震直後（2007.7.16撮影）（柏崎市提供）



写真-6.7 地震後の天端欄干手すりの状況
（下流側への変形）（2007.7.17撮影）



写真-6.8 地震前の天端欄干手すりの状況
（2005.4.29撮影）（© damsuki.com）



写真-6.9 上流法面張コンクリートブロックの
目地の開き



写真-6.10 堤体上流面の張コンクリートブロッ
ク（上流張ブロックの隙間から堤体
材料の吸出しが見られる）

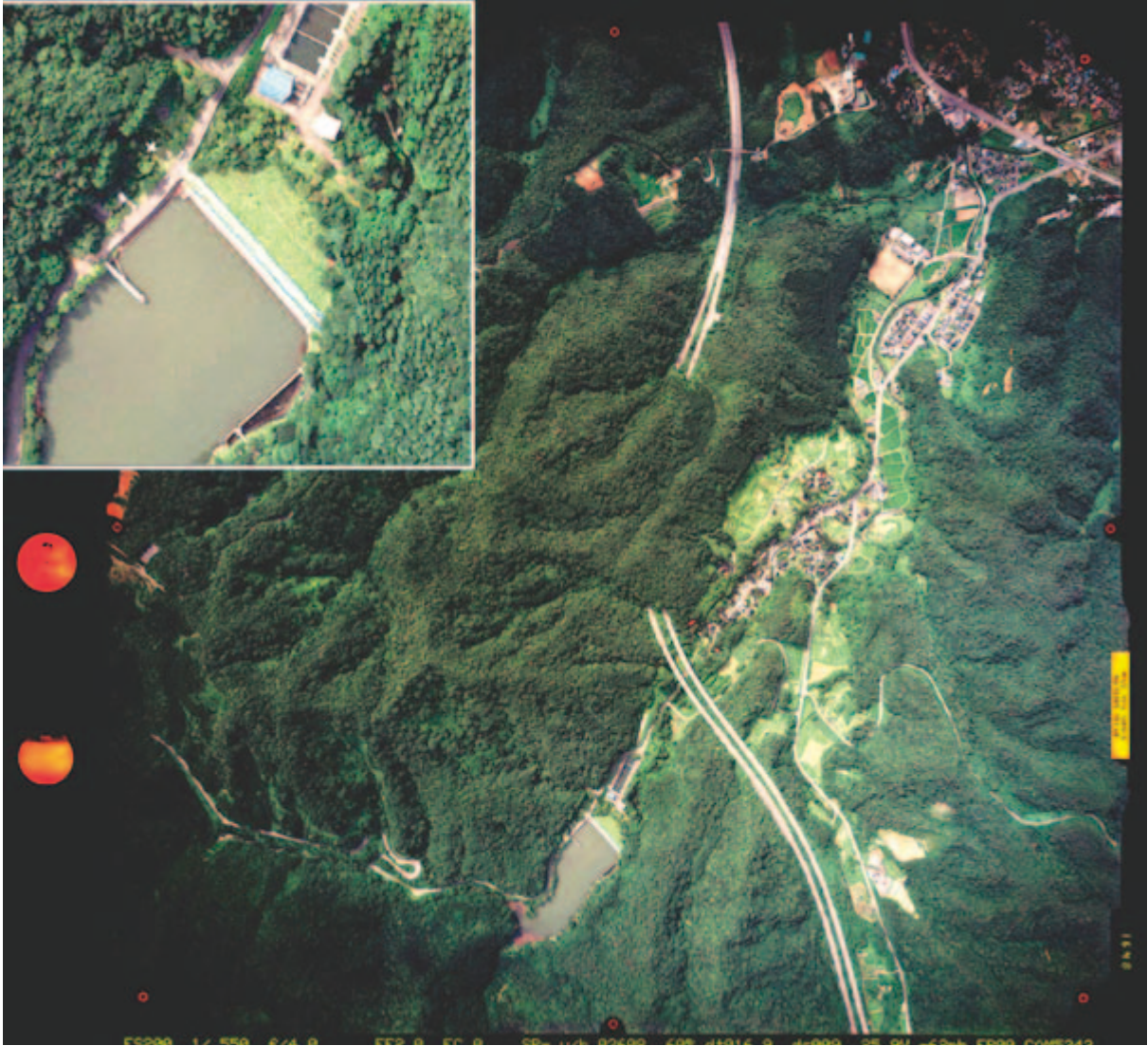


写真-6.11 地震発生3日後の川内ダムとダム下流の前川流域の航空写真
2007年7月19日撮影²⁾

(b) トレンチ調査

a) 調査内容

地震後の緊急対応措置の検討・確認のため、堤体の被災度合いの状況を確認すること、つまり、天端に生じたクラックの進展度や堤体のゆるみ具合を調査する目的で、トレンチ調査を7月25-26日にかけて実施した。トレンチ調査は図-6.18内に示す7箇所で行った。天端クラック位置の表層を少し掘り返し、クラックに石膏（水体积比1:1）あるいは、石灰水を流し込み（写真-6.12参照）、トレンチ掘りを行って（写真-6.13参照）、クラックの進展状況を観察した。また、トレンチ坑で堤体の締固まり状況の観察と密度測定・コーン貫入試験等を実施した。

b) トレンチ調査結果

1949年度に行った嵩上げ工事の痕跡と思われる薄い砂利層（旧堤体の天端面と思われる）をトレンチ坑内の天端から1~1.2m深で確認した。嵩上げ部と思われる層は、トレンチ坑壁面の観察から、約20cm厚の路盤層と、撤出し厚50cmの2層と推測される。50cm厚層内では、層の上部は比較的締まっているが、層の下部は緩みが確認でき、施工時の撤出し厚が厚いことによる締固め不足があったと推測できる（図-6.19参照）。詳細は、嵩上げ当時の施工時記録なども調査の上判断しなければならない。

クラックは石膏や石灰水で明確にその進展を確認できたものでも天端から深度1.2mから1.4m前後あり、若干ではあるが、旧堤体と思われる層まで貫入しているものも存在した。トレンチ坑③では、最大深度約1.7mまで貫入しているクラックを確認でき（図-6.20参照）、次に述べる堤体内のコンクリート壁体の上面以深に達していた。なお、各トレンチ坑のクラックの上下流方向の方向性は明確ではなかった。クラック確認深度（石膏または石灰水の浸透で追えたクラック深度）を表-6.3に示す。

表-6.3 クラック確認深度

トレンチ名	深さ
トレンチ坑①	100cm程度
トレンチ坑②	130cm程度
トレンチ坑③	140~170cm程度
トレンチ坑④	70~135cm程度
トレンチ坑⑤	135cm程度
トレンチ坑⑥	100~130cm程度
トレンチ坑⑦	95~120cm程度



写真-6.12 天端クラックへの石膏注入状況



写真-6.13 トレンチ坑掘削状況
(手前はトレンチ坑⑤⑥)

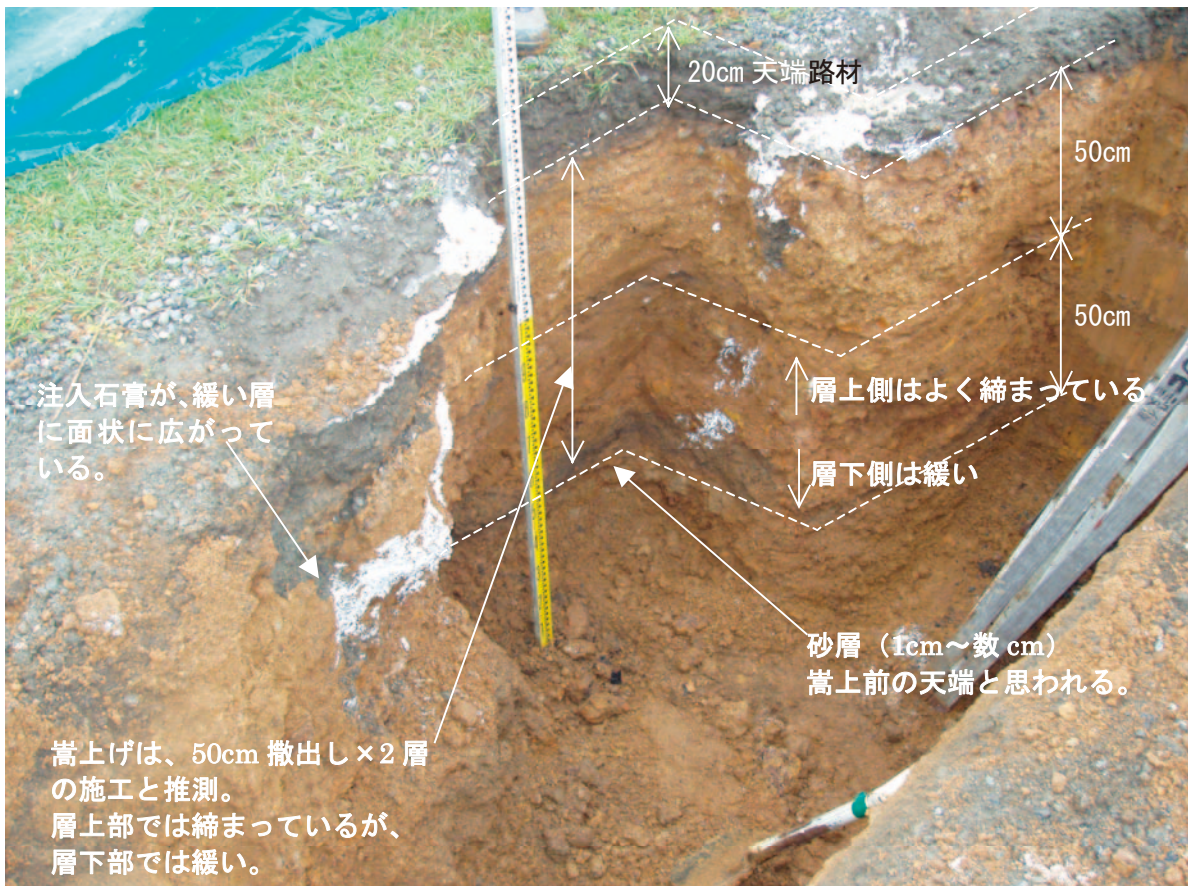


図-6.19 トレンチ坑①の掘削状況

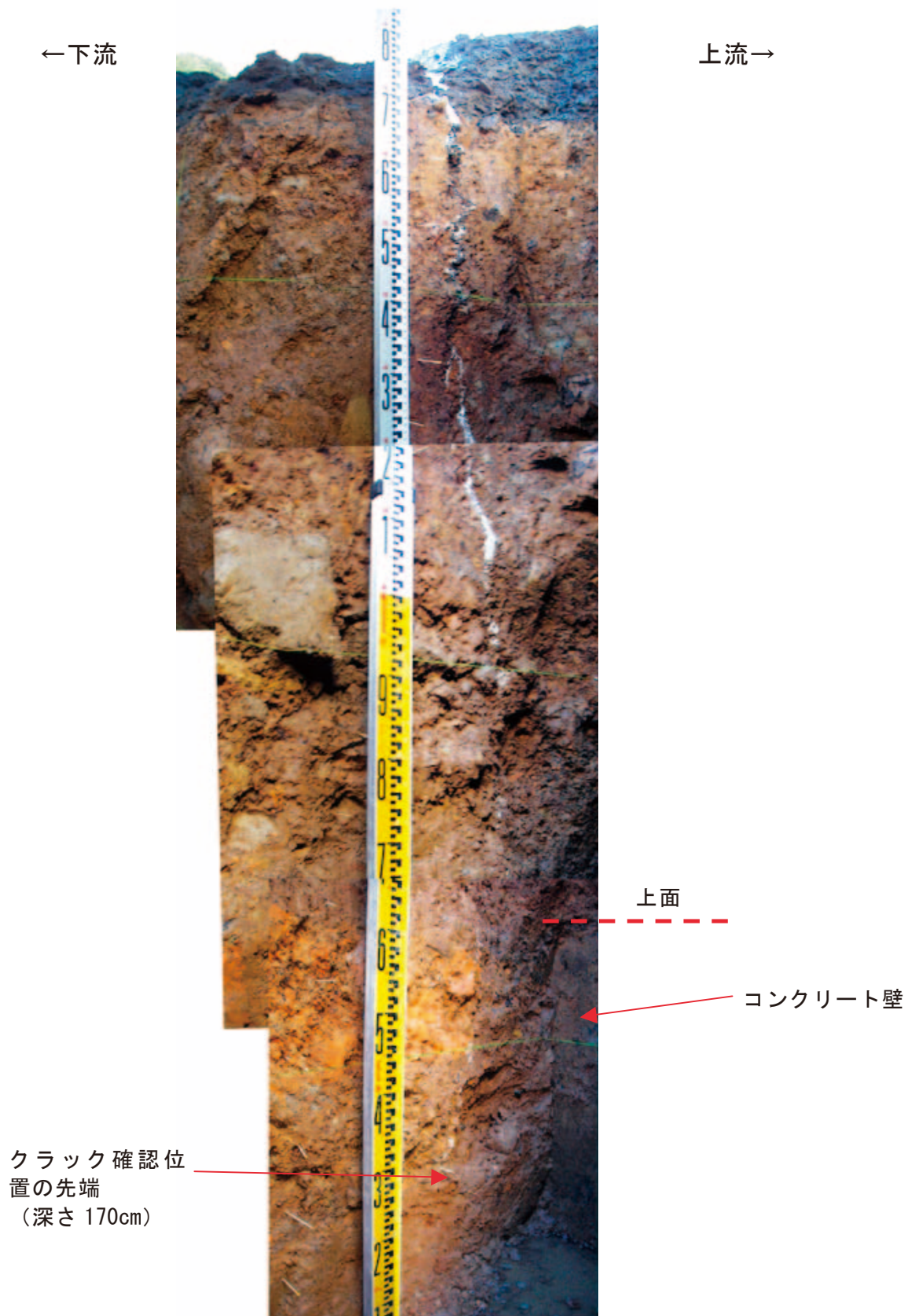


図-6.20 トレンチ坑③の右岸側側面の状況 (クラック深さ約 1.7m)

天端幅の中央付近を掘削したトレンチ坑②、③、⑥において、上流法肩から約 3.4m のほぼ天端幅中央において、深度 1.3m の位置でダム軸方向に延びる幅約 24cm のコンクリート壁体を確認した。トレンチ坑②および⑥地点で、さらなる掘削を実施し、壁高 1m、壁の下は 25cm 厚の捨てコンクリートがあることを確認した。トレンチ坑断面図を図-6.21 に、調査時の状況を写真-6.14、写真-6.15 に示す。このコンクリート壁は現存している設計構造図などの資料には記載されていないものであり、その設置目的も不明である。トレンチ坑②では、コンクリート壁と土質堤体材料が地震による緩みなどなく、密着していることを確認した。

なお、コンクリート壁付近の土質堤体材料は、法肩付近のトレンチ坑でみられる堤体材料とは、大玉石を除去してある程度で、大差ない材料であるように見受けられた。つまり、図-6.16 の標準断面図に描かれているような明瞭な土質コアゾーン（心壁）は確認できなかった。

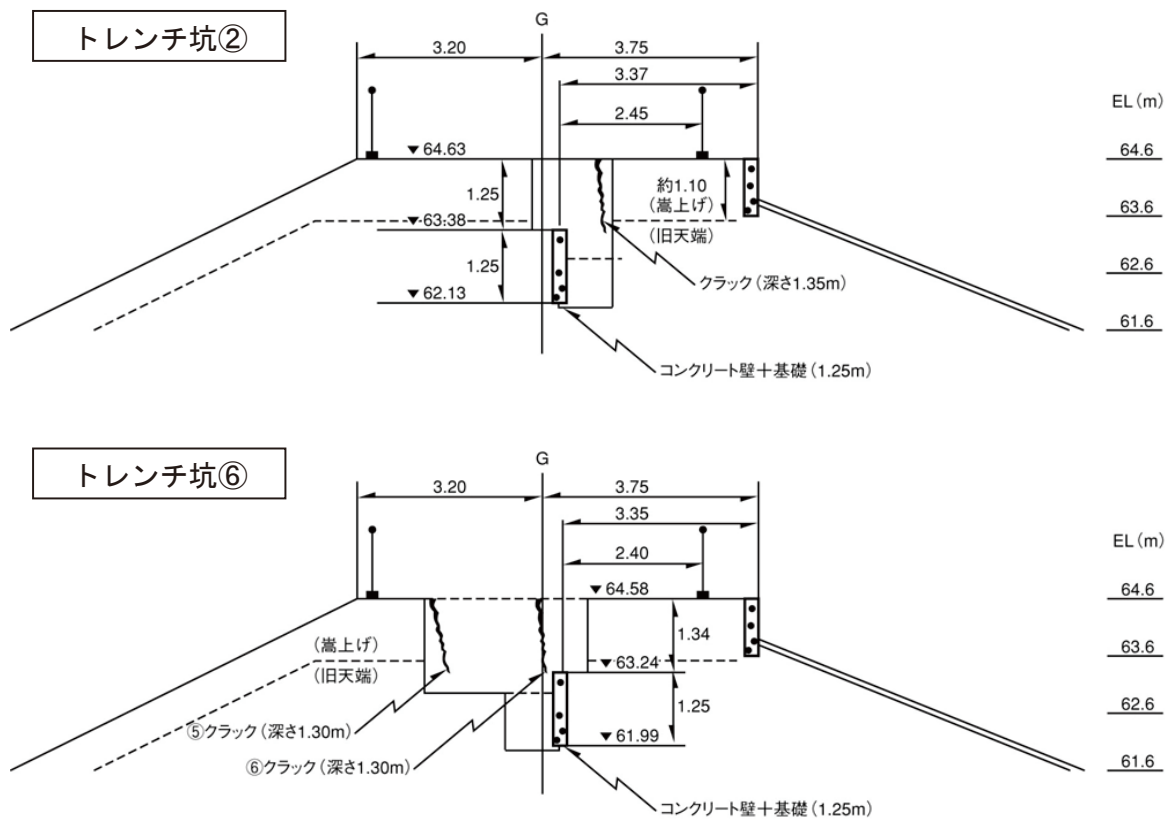


図-6.21 トレンチ坑②および⑥断面における調査状況図（柏崎市提供資料を元に作成）



写真-6.14 トレンチ坑⑥によるコンクリート壁の高さ確認（1.25m；壁＋基礎部）
（柏崎市提供）



写真-6.15 トレンチ坑⑥のコンクリート壁の底部（下流側）（柏崎市提供）

2) 堤体観測結果

川内ダムでは表-6.4 に示す項目について、安全管理のための計測を実施している。計器の設置位置を図-6.22 に示す。

表-6.4 計測項目

計器名	記号	備考
外部変形計測	観測点 No. 1	ダム左岸側天端
	観測点 No. 2	ダム天端中央
	観測点 No. 3	ダム右岸側天端
	観測点 No. 4	ダム下流面中央
間隙水圧計	B-1	L=10m
	B-2	L=10m
孔内傾斜計	B-3	L=15m
漏水量		堤体下流法尻 1 箇所

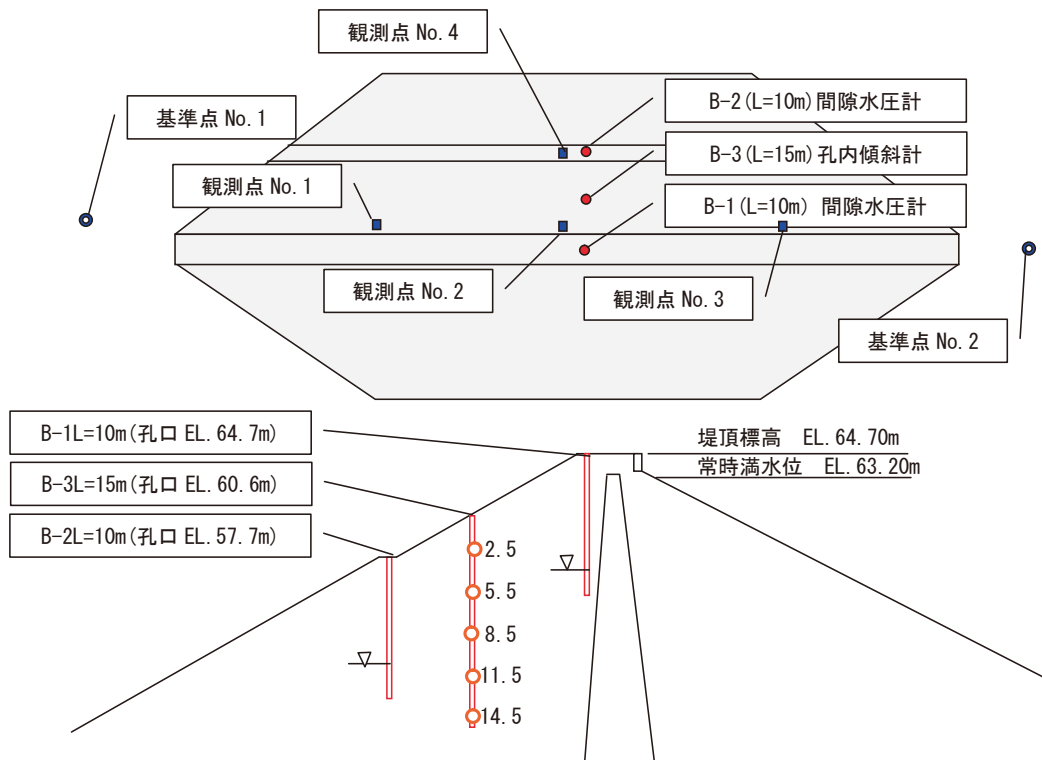


図-6.22 川内ダムの観測計器の位置

(a) 外部変形

外部変形量は、表-6.4 及び、図-6.22 に示すように、天端 3 箇所、下流法面小段の 1 箇所計測を行っている。測量結果を図-6.23 に示す。図は、上からダム上下流方向水平変位（外部変形 X 軸）、ダム軸方向水平変位（外部変形 Y 軸）、鉛直方向変位（外部変形 Z 軸）を示している。

地震発生後の測量は、2 日後の 7 月 18 日に実施した。地震前の測量日 7 月 2 日の計測結果と比較すると、ダム上下流方向水平変位（外部変形 X 軸）はダム堤頂中央で、14.8cm 下流側への変位が計測されており、左岸側天端でもほぼ同じ変位を計測した。これは、1) 目視観察結果（写真-6.7 と写真-6.8 の比較）で述べた、法肩の欄干手すりの下流側へのたわみの状況と一致する。ダム軸方向水平変位（外部変形 Y 軸）には大きな変位は計測されていない。鉛直方向変位（外部変形 Z 軸）は、ダム天端の堤頂中央で 14.3cm の沈下を計測した。

それ以後、11 月 21 日までに計 4 回の外部変形の測量を実施しているが、地震後の経時的な変位は計測されていない。

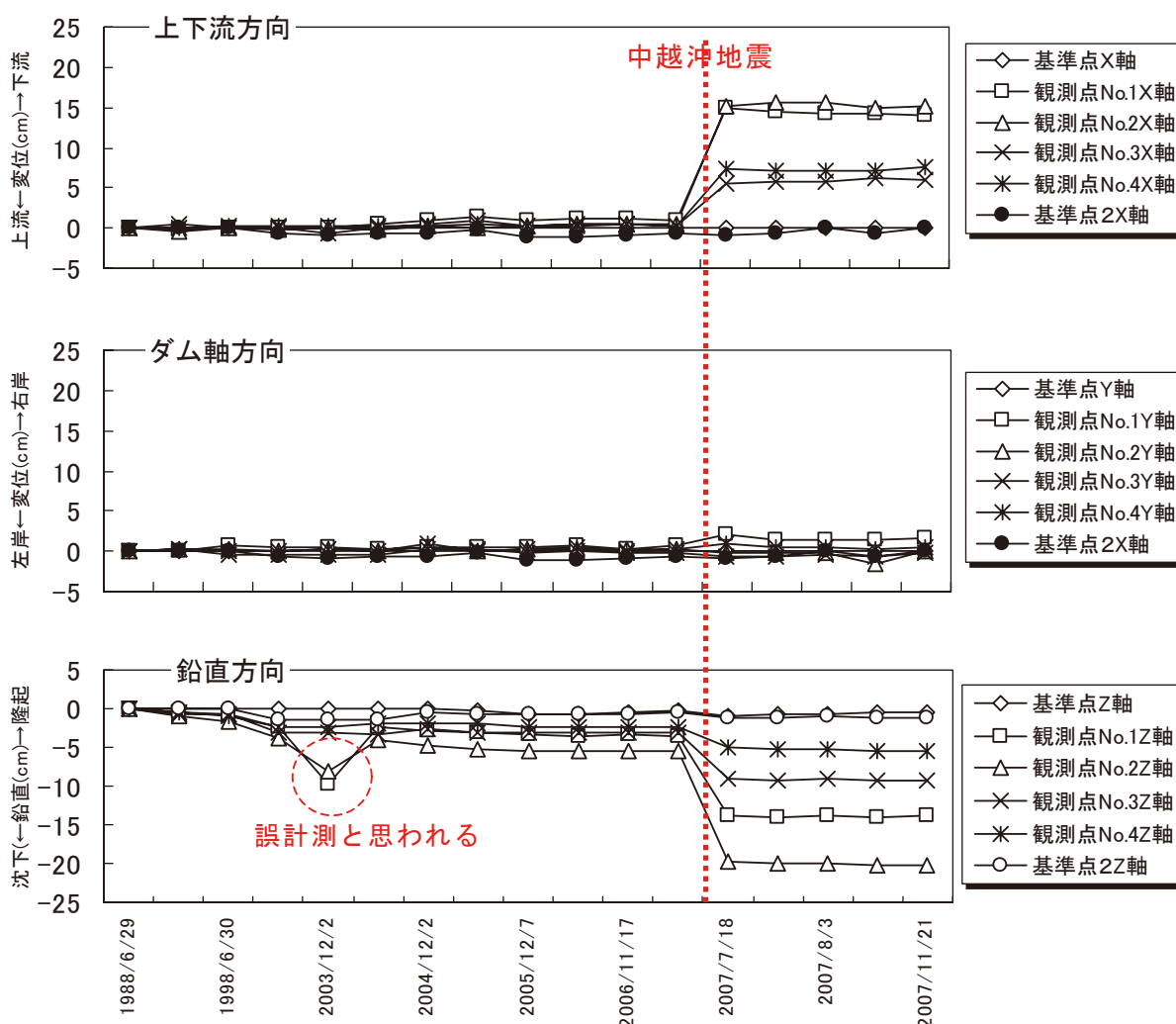


図-6.23 外部変形計測結果（柏崎市提供資料を元に作成）

図-6.24³⁾は、国内外（日本、アメリカ、メキシコ、チリ、ペルー、フィリピン、台湾、ニュージーランド）のフィルダムにおいて、1920年代以降の過去の地震により生じた天端最大沈下量とダム基礎最大加速度（距離減衰式等による推定を含む）の関係を対数表示したものである。対象としたフィルダムには、基礎に沖積層を残したダムも含まれているが、基礎や堤体の液状化に伴う沈下変形事例は対象外としている。今回の地震における川内ダム（アースダム）や他のフィルダム（柿崎川ダム(ロックフィルダム)、新山本調整池(グラベルフィルダム)、浅河原調整池、山本調整池、川西ダム(以上、アースダム)など)の天端における最大沈下量を同図に示した。同じ地震動強さでも沈下量はダム高に依存すると考えられるが、余裕高・余盛り等は、ダム高との関係で設定されていないことも踏まえ、ここでは、沈下量の実測値で整理した。川内ダムはほぼアースダムの実績分布域内に位置している。また、浅河原調整池、山本調整池、川西ダムなどの2004年新潟県中越地震で被災後に補修をしたフィルダムでは、概して実績沈下量分布の比較的下限の領域に位置している。

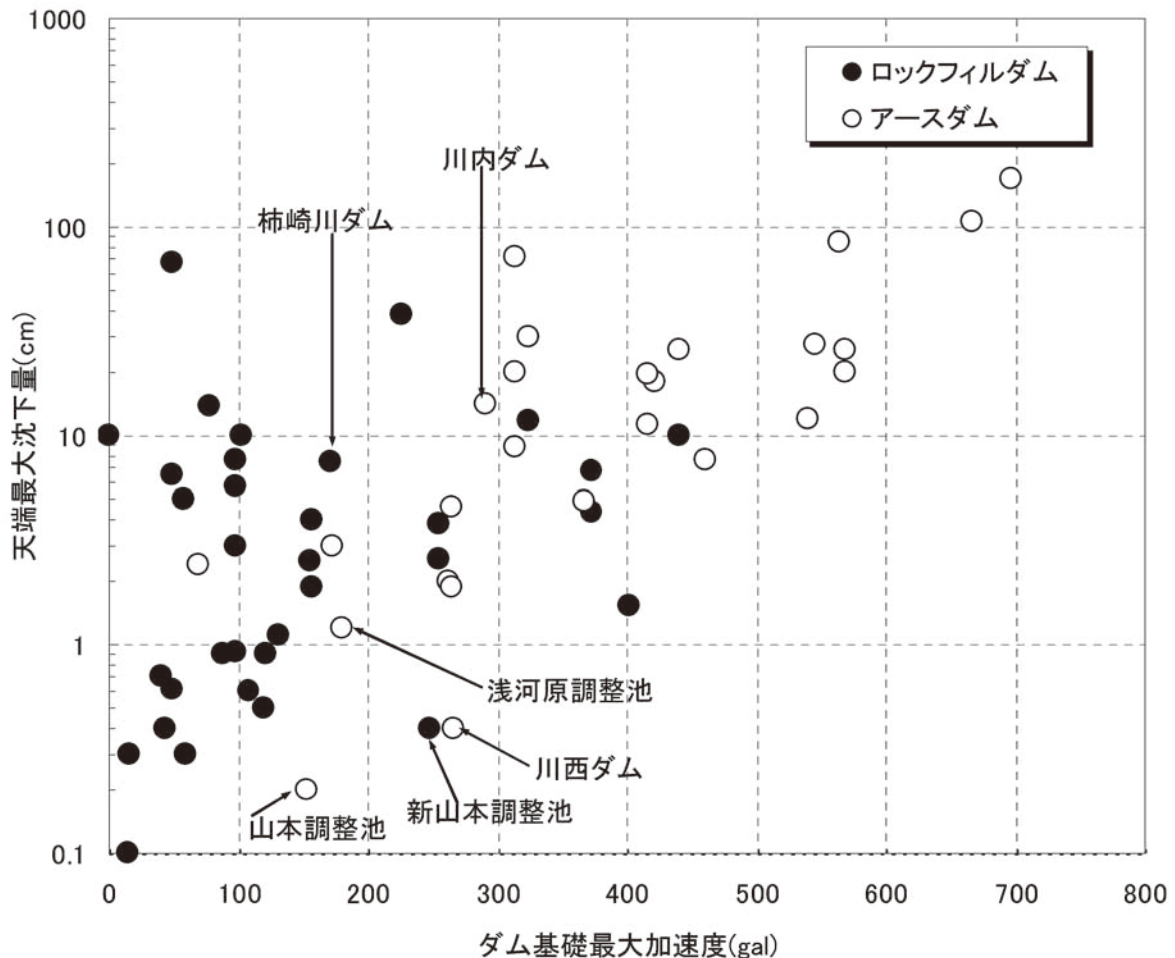


図-6.24 国内外のフィルダムにおける天端最大沈下量とダム基礎最大加速度の関係
(参考文献3)に加筆)

(b) 漏水量

川内ダムの漏水量は、下流左岸側法尻に、三角堰を設置し計測を実施している。計測される漏水量には堤体下流面から浸透する雨水や左岸地山からの地下水も合わさって、計測される構造である。そのため、計測される漏水量は、降雨の影響を強く受ける。これまで降雨ない状態で、通常、4~5ℓ/min程度を観測してきた。

地震発生直後の7月16日10:40の臨時点検時に漏水に濁りがなかったことは、管理計測業務を委託されている調査員が確認している。また、地震の翌日朝に漏水量9.8ℓ/minを計測したが、当日は20mm程度の降雨があり、その影響と考えられる。

図-6.25に漏水量の推移と日降水量を示す。7月17、20、26日には漏水量が増加しているが、これは、降雨の影響であり、通常の降雨時の漏水量値の範囲である。

なお、地震発生後は、緊急対策として貯水位を常時満水位のEL.63.2mから最終的にはEL.60.5mまで低下させているため、漏水量の全体量も減少し、降雨の影響がない時で、10ℓ/min程度の漏水量となっている。

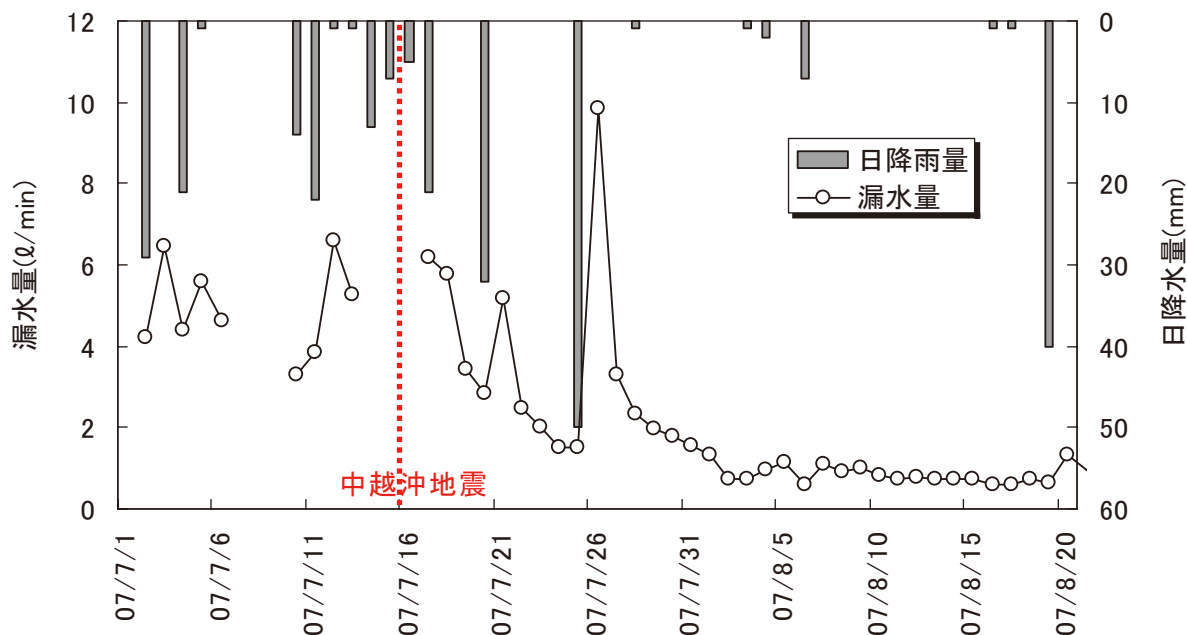


図-6.25 漏水量と日降水量の計測結果（柏崎市提供資料を元に作成）

(c) 浸潤線

堤体の浸潤線は、表-6.4 及び、図-6.22 に示すように、ダム中央下流面 2 箇所における、間隙水圧計によりおこなっている。

観測孔 B-1 と B-2 の浸潤線の計測結果（間隙水圧を水頭換算）を図-6.26 に示す。地震前、孔口からの水位までの深さは、ダム天端 B-1 は 8.4m、ダム下流 B-2 は 8.3m であった。地震直後（14:00）には、B-1 は孔口から 7.1m、下流 B-2 は 8.0m まで水位が上昇した。翌日の朝には、それぞれ、8.0m、8.6m にまで回復し、その後、貯水位の低下もあり、地震前のレベルにまで低下した。

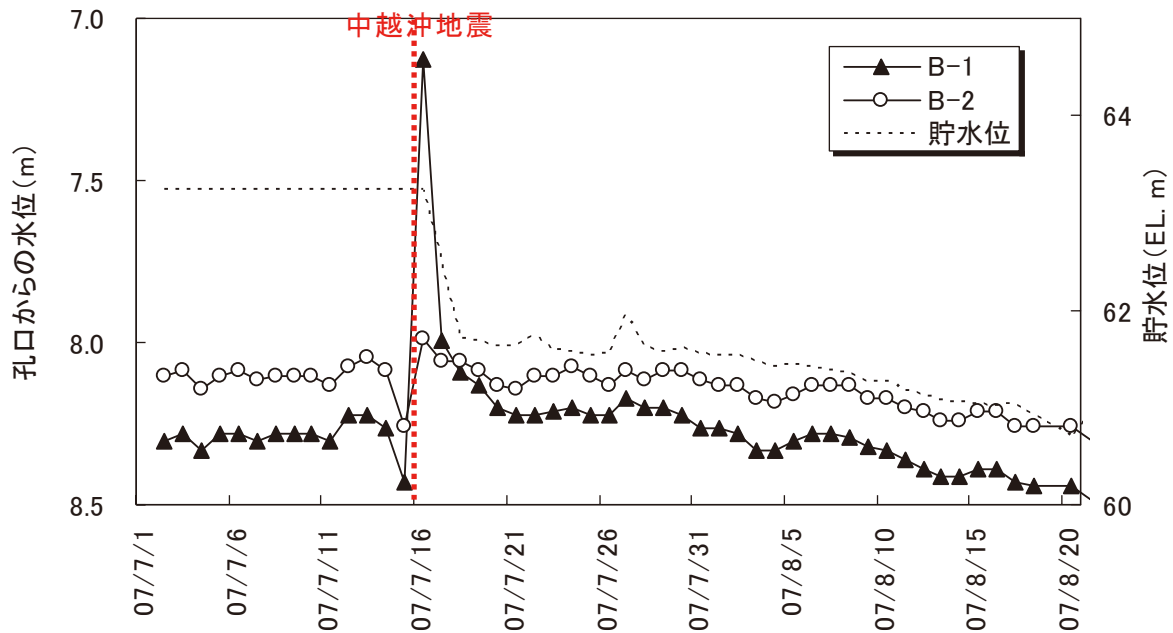


図-6.26 観測孔 B-1 と B-2 の浸潤線の計測結果（柏崎市提供資料を元に作成）

(d) 孔内傾斜計による堤体内部変位

孔内傾斜計は、表-6.4 及び、図-6.22 に示すように、ダム頂中央の下流面のボーリング孔 B-3 に設置され、自動計測を行っている。

観測孔 B-3 に設置した傾斜計設置中間点間長さにおいて換算した相対的な水平変位（以下、層別相対水平変位）計測結果を図-6.27 に示す。図は、上から上下流方向の層別相対水平変位、ダム軸方向の層別相対水平変位を示す。図内凡例の 2.5~14.5 は図-6.22 内に示すように、傾斜計が設置されている堤体表面の孔口からの深度 (m) を示している。層別相対水平変位は、図-6.28 に示すように求める。

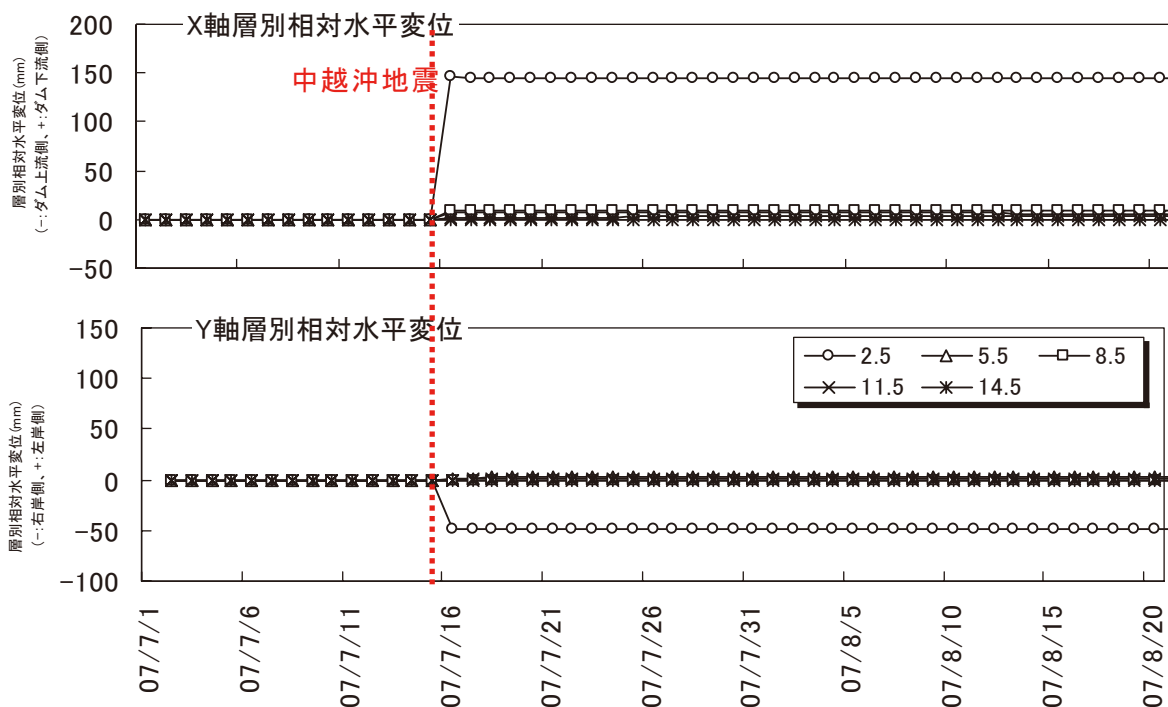


図-6.27 観測孔 B-3 に設置した傾斜計の層別相対水平変位量(柏崎市提供資料を元に作成)

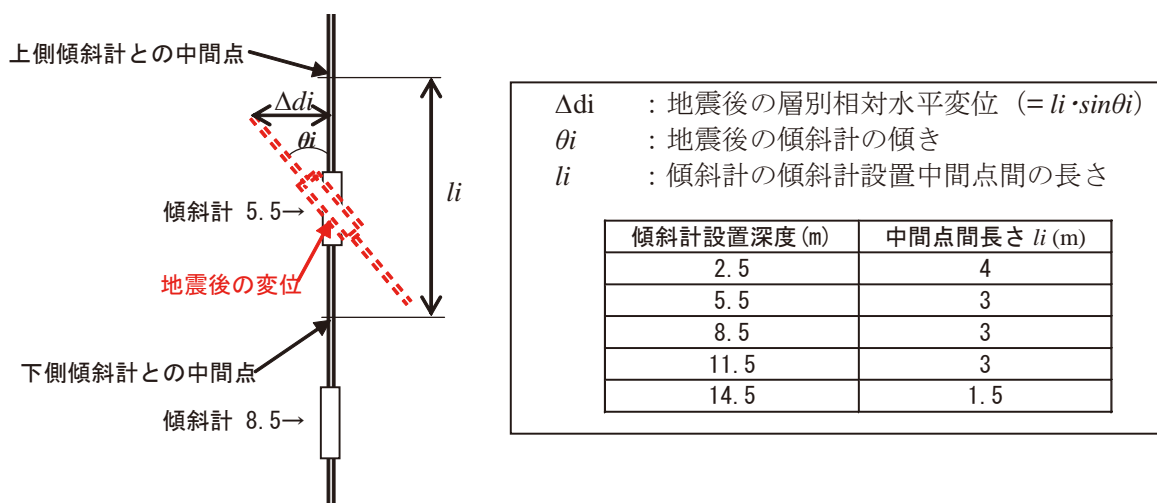


図-6.28 傾斜計の計測結果整理概念

また、地震発生前後の上下流方向の堤体深度別の累積変位分布図を図-6.29 に示す。累積変位は、B-3 孔口から深度 14.5m の最深部に設置した傾斜計地点をゼロとして、各計測点の地震前日の 7 月 15 日の傾斜計計測値との差から換算した層別相対水平変位を、深度方向に累積したものである。図-6.29 より、B-3 の孔口にあたる堤体表面位置に相当する累積変位は、約 160mm であり、地震後の測量によるダム天端中央の外部標的の上下流方向水平変位の計測値 14.8cm（地震前 7 月 2 日の測量結果と、地震発生後の 7 月 18 日の測量結果との差）とほぼ同等であった。

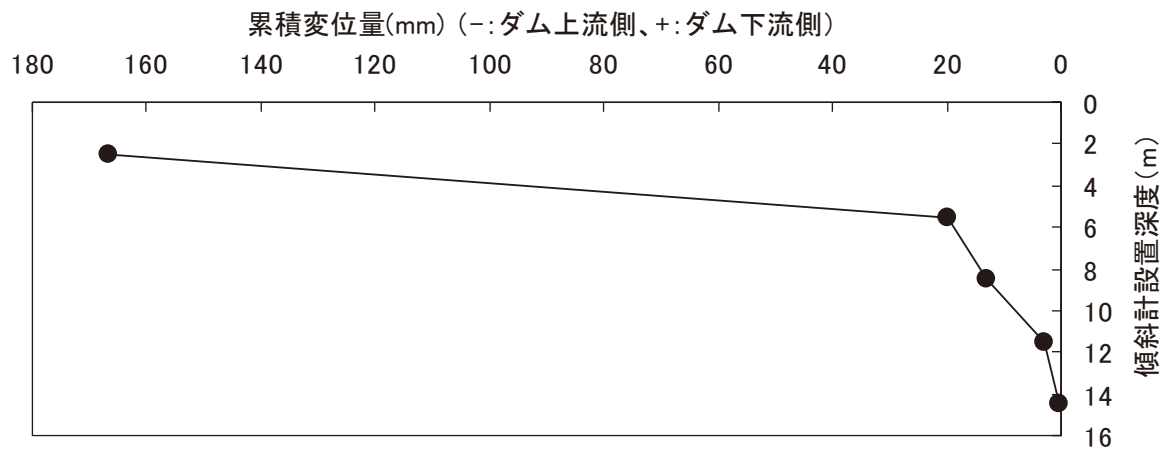


図-6.29 地震発生前後の上下流方向の堤体深度別の累積変位分布図（観測孔 B-3）
（7 月 15 日（地震前）と 7 月 16 日（地震後）の変化）

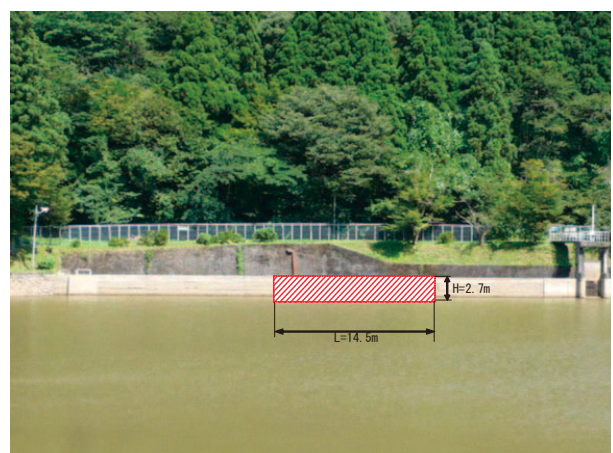
3) 応急対策

地震後に、ダム管理者により、以下の応急対策が施された。発生したクラックについては、雨水の進入を防止するために地震発生当日のうちに天端全面にシートが敷かれた。また、被災箇所への貯水の浸潤を防ぐために、地震直後から緊急的に貯水位を下げはじめ、水位低下設備敷高標高 (EL. 61.5m) 付近の水位 (常時満水位から約 1.5m 下であり、天端から約 3m 下) にまで下げた状態に保持された。この設定水位は、トレンチ調査などによるクラック進展範囲などの被災範囲調査結果からも妥当性が確認された。

その後、出水により貯水位が地震による堤体被災箇所の標高レベル (堤体内のコンクリート壁+基礎コンクリート標高 EL. 61.9m と仮定) まで上がらないようにするために、余水吐きの越流堤を深さ 2.7m (EL. 60.5m) , 長さ 14.5m にわたって切欠き、出水時の放流能力を増加させるとともに、保持水位を更に低下させた (写真-6.16 参照)。



(a) 右岸より撮影

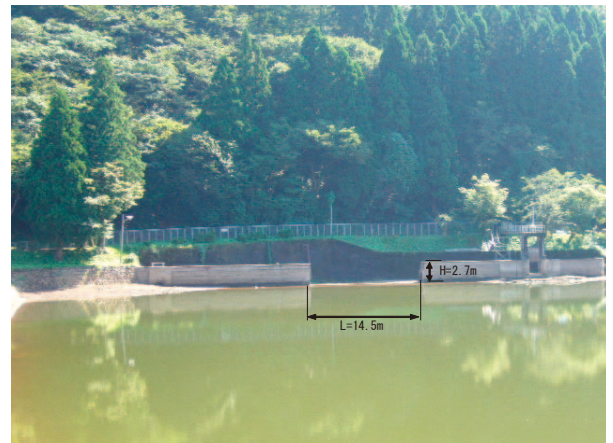


(b) 左岸より撮影

(1) 対策工事前



(a) 右岸より撮影



(b) 左岸より撮影

(2) 対策工事完了後 (2007年9月10日対策工事完了)

写真-6.16 地震後の出水対策のための余水吐きの切欠き工事 (柏崎市提供)

4) 復旧対策

2008年1月現在、ダム管理者によって復旧に向けた調査・実施計画検討が実施されており、次期洪水期を迎えるまでに復旧工事が実施される予定である。

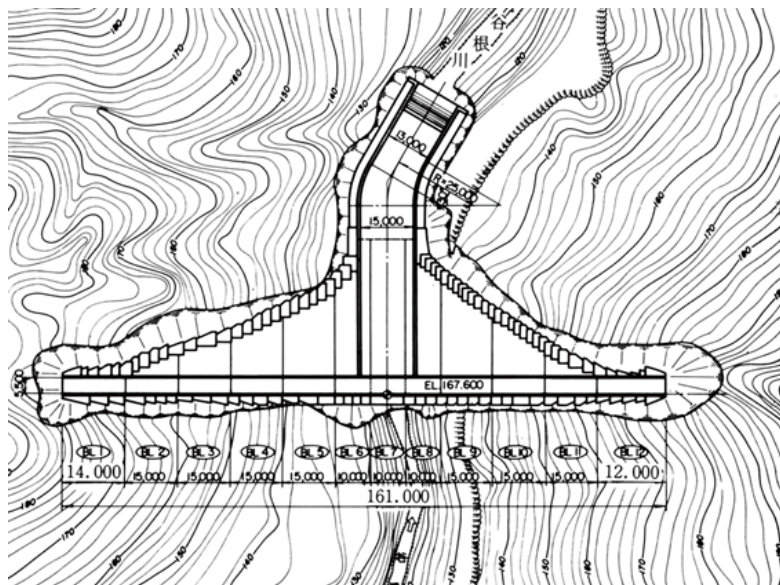
(2) 谷根ダム

谷根ダムは、谷根川水系谷根川に1973年に完成した、重力式コンクリートダムである。ダムの目的は、上水道用水であり、柏崎市ガス水道局が管理している。ダムの諸元は、堤高54m、堤頂長161m、堤体積58,000m³、総貯水容量1,575,000m³であり、構造を図-6.30に示す。

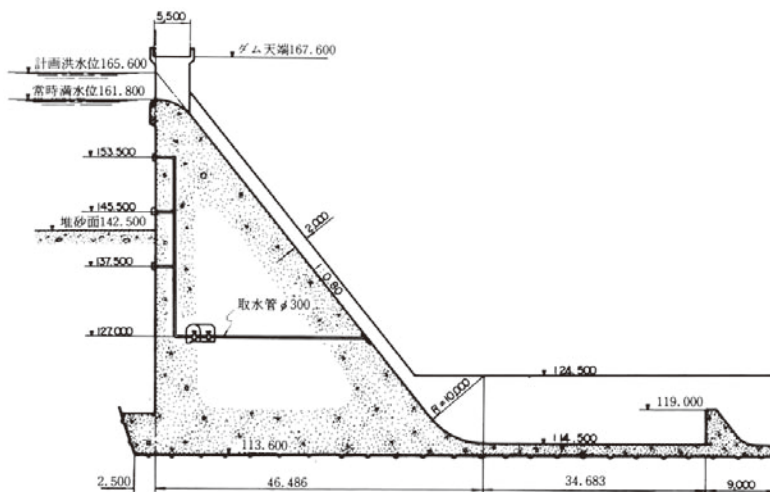
谷根ダムでは、地震計を天端と底部監査廊の2カ所に2007年3月に設置した。天端地震計では、本震記録は余震記録に上書きされ、消去されていた。底部監査廊では、本震で、上下流方向に最大157galを記録した。

1) 目視観察結果

谷根ダムは、2004年新潟県中越地震の際の天端洪水吐き橋梁と堤体部とのジョイント部の天端舗装アスファルトの変状のアスファルト補修をした跡が確認できた。今回の地震では、監査廊内のいくつかの継目(J-5,6)において、補修モルタルや遊離石灰の若干の剥落が見られた(写真-6.17参照)。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.30 谷根ダムの構造⁴⁾



写真-6.17 監査廊内の継目（J-6）における補修モルタルの剥落

2) 堤体観測結果

管理者からの報告によれば、漏水量については、地震前後で1.6ℓ/minから2.1ℓ/minに若干増加したが、その後は減少傾向にあった。量が非常に少ないこと、地震後の経過観察により漏水量はほぼ常時の量に戻っていることから安全上特に問題のない挙動であるといえる。また、プラムラインについては地震前後で計測値に変化は見られなかった。

(3) 赤岩ダム

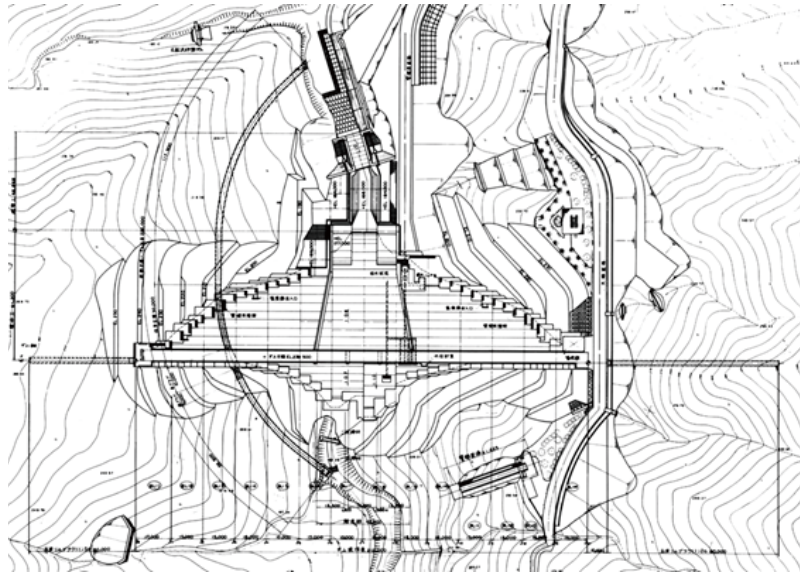
赤岩ダムは、谷根川水系谷根川に1989年に完成した、重力式コンクリートダムである。ダムの目的は、上水道用水であり、柏崎市ガス水道局が管理している。ダムの諸元は、堤高76.5m、堤頂長212m、堤体積201,000m³、総貯水容量3,730,000m³であり、構造を図-6.31に示す。

1) 目視観察結果

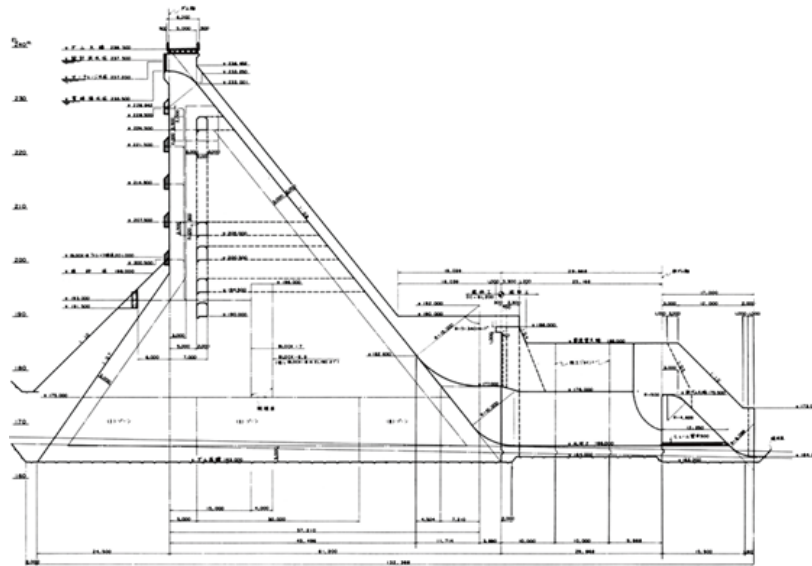
堤体下流面垂直部の継目部において、天端舗装の継目に沿ったクラックから浸透した雨水による凍結融解作用によって、もろくなった継目端部が2004年新潟県中越地震時の振動によって剥落した。今回の地震でも下流面の継目部のコンクリートの若干の剥落が生じた（写真-6.18参照）。監査廊内の継目では、若干のコンクリート小片や補修モルタルの剥落、床版コンクリートのクラックが発生した（写真-6.19参照）。いずれもダムの安全性に関わるような変状ではない。

2) 堤体観測結果

漏水量については、ダム管理者によると地震前後で大きな変化は生じなかったとのことだった。プラムラインの観測結果については、地震後にダム下流方向に0.5mmの若干のたわみを計測した。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.31 赤岩ダムの構造⁴⁾



写真-6.18 継目 (J-2) 下流面の剥落跡
(大部分は、2004 年中越地震時によるもの)



写真-6.19 監査廊内継目 (J-9) 床版の
クラックと継目補修モルタルや遊離石灰の剥落状況

(4) 浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池^{5)、6)}

浅河原調整池、山本調整池、新山本調整池は東日本旅客鉄道株式会社（以下、「JR 東日本」）の管理する河道外貯留施設である。JR 東日本の信濃川発電所は、図-6.32 に示すように、信濃川本川に築造された宮中取水堰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し、上越線や関東一円の列車運転等に電力を供給する施設である。

当該3つの調整池は、いずれも2004年新潟県中越地震の際に被災し堤体に損傷を生じた。地震後、JR 東日本は、信濃川発電所復旧工事技術専門委員会を設置し、これら3調整池等の復旧について検討し、2006年3月までに3調整池の補修を完了している。

以下に、各調整池の2004年新潟県中越地震時の被災状況とその後の補修の状況、今回の新潟県中越沖地震における現地調査結果について述べる。なお、2004年新潟県中越地震に関する被災状況、および補修についての詳細は参考文献5)、6)を参照されたい。

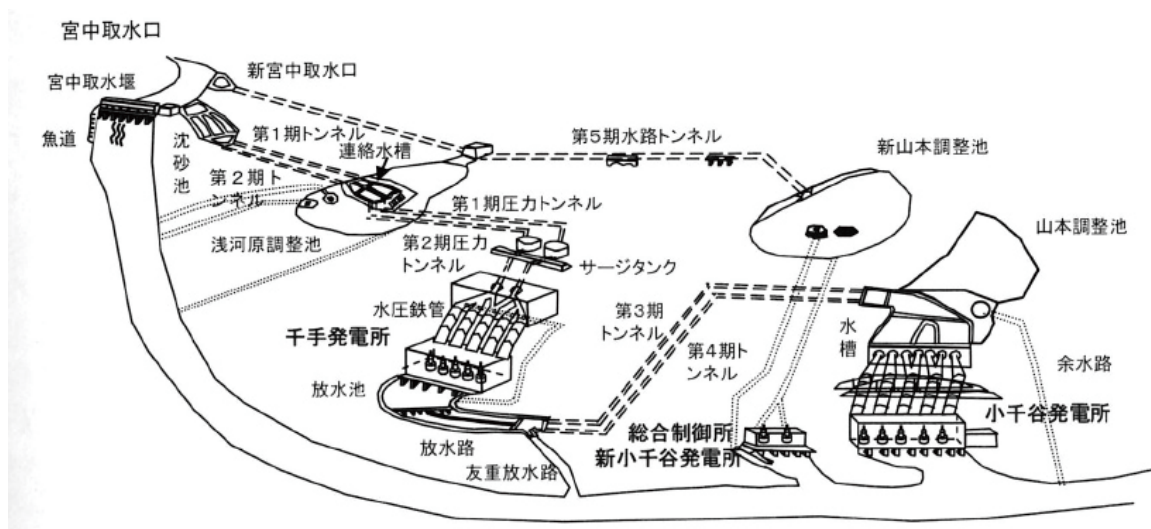


図-6.32 信濃川発電所の主要施設配置⁵⁾

1) 浅河原調整池

(a) 2004年新潟県中越地震における被災および補修状況^{5)、6)、7)}

浅河原調整池は、堤高37.0m、堤頂長292.0mのゾーン型アースダムである。2004年10月23日発生の新潟県中越地震の際には、天端のほぼ全長にわたって、ダム軸方向に数条の縦亀裂が発生し、中央部では、下流側から上流側に向けて階段状の段差地形となった。最大落差は中央部の53cmであり、左右岸方向に段差は小さくなっていた。また、設計標高に対しては最大75cm沈下していた。

復旧にあたっての基本方針は、堤体天端に生じた亀裂および堤体沈下に対する復旧として堤体頂部を掘削除去し新規材料にて再盛立を行うと同時に基本断面の回復を行うこととし、図-6.33 に示すような補修を行うこととした。その後2006年1月に補修工事後の試験湛水を終了し、同年2月に完成となった。

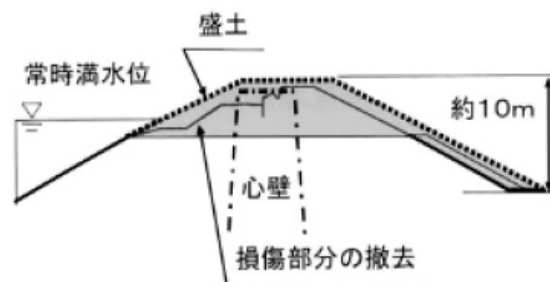


図-6.33 浅河原調整池補修状況⁷⁾

(b) 今回の地震調査結果

浅河原調整池では、2004年新潟県中越地震後の復旧にあたり、地震計が新たに2台設置された。今回の地震では、下流法尻部の漏水量観測小屋の床部に設置された地震計で最大加速度180gal、天端に設置された地震計で最大加速度327galが記録された。

現地での目視観察において堤体に変状は特に確認されなかった。管理者の報告によると、漏水量観測値は地震直前10時時点で2490/minであったものが、地震後の11時には2820/minと、若干の増加が確認できたが、翌日には平常値にもどったとのことである。堤体変位は、天端中央右岸寄りにおいて12mm程度の沈下が確認された。水平変位は測定誤差程度の変位量しか確認されなかった。

2) 山本調整池

(a) 2004年新潟県中越地震での被災および補修状況^{5),6),7)}

山本調整池は、堤高27.53m(旧堤体27.13m)、堤頂長926.6mのゾーン型アースダムである。2004年新潟県中越地震の際には、堤体上流法面のリップラップに、ダム軸と平行に伸びて上流側に向けての段差地形が断続的に生じており、墳砂が7箇所、21地点で確認された。堤体天端にはほとんど変状は認められなかったが、右岸側のコンクリート構造物との取り付け部付近(止水壁コンクリート直上)にダム軸と平行な地表亀裂が分布していた。

被災した山本調整池の復旧方針は3つから成る。まず、上流面の補修は、深さ1m程度の亀裂や墳砂補修、排水性改善のために、既設リップラップ下の粘性土の撤去および全面置換えである。置換えにあたっては、上流面リップラップ下に幅2mの粗粒フィルタを配置し、上流さや土の細粒分流出を防ぐこととした。次に、止水壁部の補修として、コンクリート止水壁境界部に発生した空隙に対する復旧として、心壁およびさや土の掘削、再盛立を行うこととした。さらに、天端補修として、堤体沈下および天端幅確保のため、基本断面を回復させることとした。このため、**図-6.34**に示すような補修を行うこととした。その後、2006年1月に補修工事後の試験湛水を終了し、同年2月に完成した。

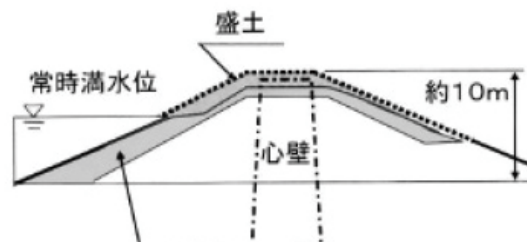


図-6.34 山本調整池補修状況⁷⁾

(b) 今回の地震調査結果

山本調整池では、2004年新潟県中越地震後の復旧にあたり、地震計が新たに2台設置された。今回の新潟県中越沖地震時の記録では、下流法尻にボーリングして基盤に設置された地震計で最大加速度153gal、天端に設置された地震計で最大加速度245galが記録された。

現地での目視観察において堤体に変状は特に確認されなかった。漏水量観測値も地震直前10時時点で3990/minであったものが、地震後の11時には4320/minと、若干の増加が確認されたが、その後の15時には地震時前の値以下に低下した。地震当日は時間10mm程度の降水量を観測しており、漏水量観測値には降雨の影響を受けていると考えられる。堤体変位としては、天端に45測点の標的が設置されている。地震前後の沈下量は、最大2mm程度の測量結果であった。補修後の累積沈下量は1cm程度である。

3) 新山本調整池^{5), 6), 7)}

(a) 2004年新潟県中越地震での被災および補修状況

新山本調整池は、堤高 42.40m、堤頂長 1,392m の中央遮水壁型フィルダムである。2004 年新潟県中越地震の際には、堤体天端が全体的に上流側に傾斜し、特に左岸側では天端道路に窪地がところどころに生じ、堤体が沈下した。右岸側では、ダム軸に直交する亀裂が発生した。また、フィルタゾーンにある観測計器ケーブル保護用の H 形鋼が道路面より 30cm 程度突出した。上流法面には、全体的に段差地形、窪地がダム軸と平行に生じ、特に左岸側での変状が多かった。堤内のドレーン前面付近では、砂の流出が認められ、左岸側の堤体と堆泥の境界付近に墳砂が 12 箇所認められた。下流側法面では、一部に顕著なはらみ出し部が認められ、堤体天端付近にダム軸に平行な亀裂や段差地形が生じた。

被災した新山本調整池の復旧方針は、天端補修、上流面補修、下流面補修、ドレーン機能の確保の 4 つから成る。まず、天端補修については、堤体沈下に対して基本断面の回復を原型復旧として行うこととし、堤体延長全体を補修範囲とした。上流面の補修は、上流面の窪み部の復旧として、掘削除去及び再盛立、シェル及びドレーン構造確保のための粗流フィル

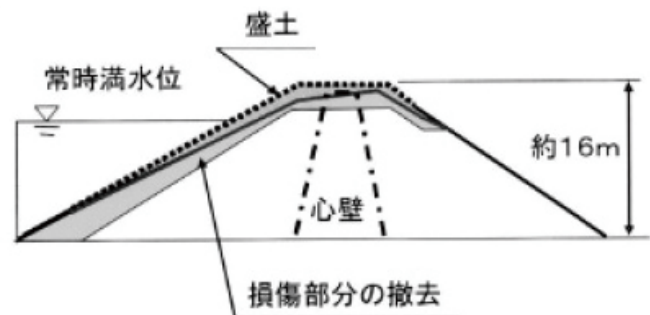


図-6.35 新山本調整池補修状況⁷⁾

タの設置を行った。下流面の補修は、下流面の上部の亀裂及び下部はらみ出しに対する復旧として掘削除去及び再盛立を行うこととした。ドレーン機能の確保としては、砂混入範囲までの掘削除去及び再盛立とした。このように、各種構造区分に配慮しながらの掘削除去と再盛立が補修の基本であった、図-6.35 に示すような補修を行うこととした。その後、2006 年 2 月に補修工事後の試験湛水を終了し、同年 3 月に完成した。

(b) 今回の地震調査結果

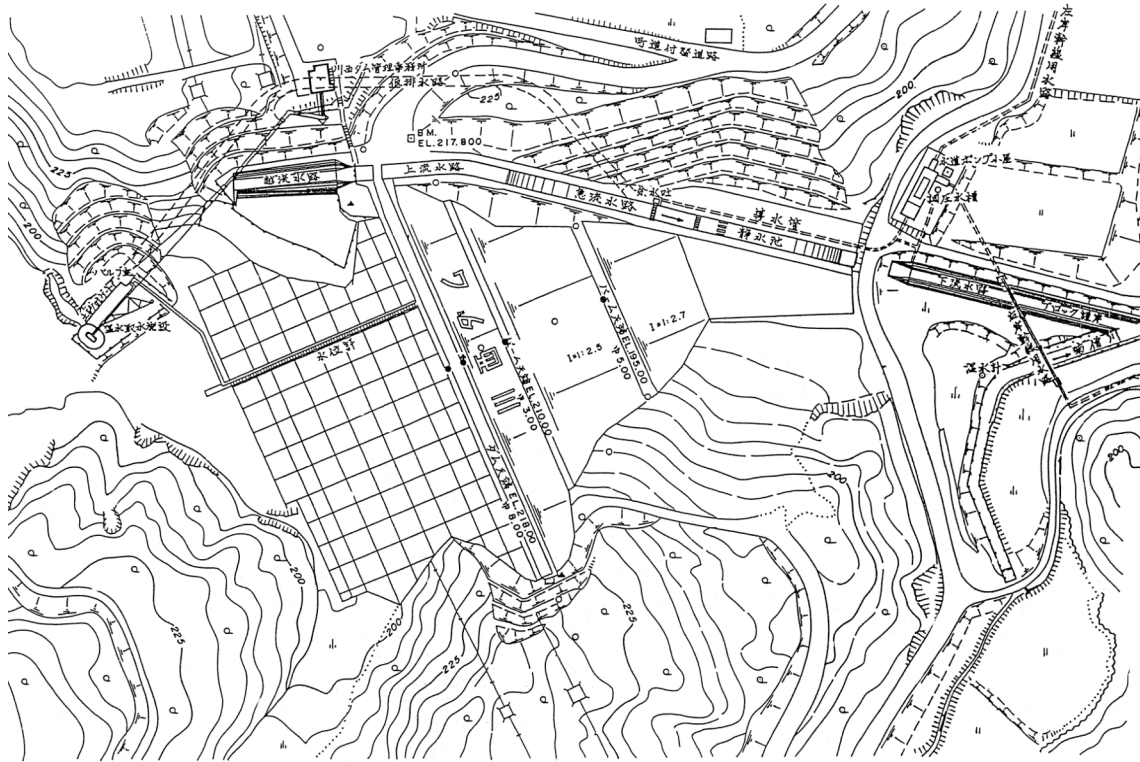
新山本調整池では、2004 年新潟県中越地震時には地震計が設置されていたものの、度重なる余震により、記録装置に余震データが上書きされ本震データが得られなかった。その後の復旧にあたり、計 6 台の地震計が再設置された。今回の新潟県中越沖地震時の記録では、下流法尻の地表部に設置された地震計で最大加速度 247gal、天端に設置された地震計で最大加速度 301gal が記録された。

現地での目視観察において堤体における変状は特に確認されなかった。漏水量観測値も地震直前 10 時時点で 940/min であったものが、地震後の 11 時には 1010/min と、若干の増加が確認できたが、翌日には平常値にもどったとのことである。堤体変位としては、天端、上下流法面に計 61 カ所の標的が設置されており、今回の地震では、天端において 1~4mm 程度の沈下量が測定された。

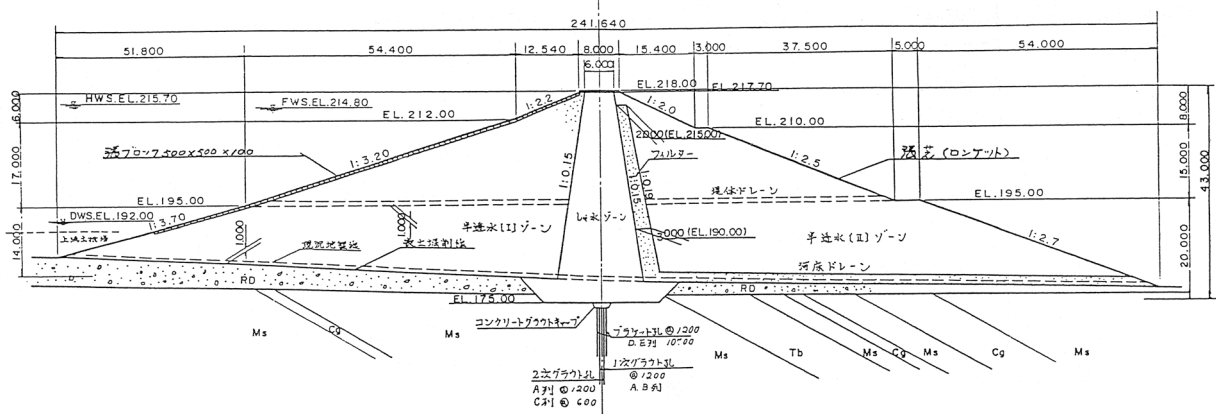
(5) 川西ダム

川西ダムは、信濃川水系南沢川に 1980 年に完成した。ダムの目的はかんがい用水であり、新潟県農地部が管理している。堤高 43m、堤頂長 170m、堤体積 348,000m³、総貯水容量 1,215,000m³ のアースダムである。川西ダムの構造を図-6.36 に示す。

地震の加速度については、左岸側地山の地震計で、上下流方向 266.7gal、ダム軸方向 218.1gal、鉛直方向 91.6gal の最大加速度を記録し、ダム天端中央の地震計では、上下流方向 315.9gal、ダム軸方向 315.3gal、鉛直方向で 152.0gal の最大加速度を記録した。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.36 川西ダムの構造 (新潟県農地部提供資料より)

1) 2004年新潟県中越地震での被災状況⁷⁾および復旧状況^{8)、9)}

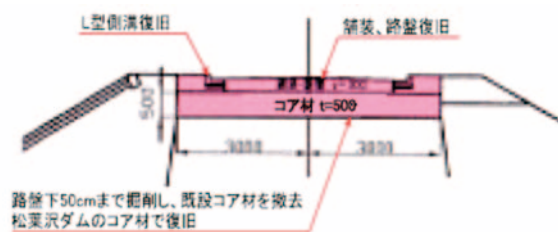
川西ダムは、2004年新潟県中越地震の際に、地震の加速度を、左岸側の地山で最大加速度 545.5gal、天端中央で 582.5gal を計測した。

堤体での被災状況については、天端舗装面の左右岸部に上下流方向に横断する横亀裂が 4 条発生した。上流法面では左岸中位標高から法先にかけて変位（全体として沈下）が見られ、法先部では上流側に水平移動している箇所が見受けられた。特に堤体左岸側の張ブロック部では、30cm 程度の陥没や段差が生じた。下流側では、洪水吐き、放水路末端の側壁が 1 スパン分、打継目で上下の側壁が分離、崩壊した。また、管理棟が被災し、立ち入り出来ない状況となった。漏水量は、地震後に濁りが確認された。その後の調査で、放流水路に沿って設置してある導水管が損傷して、洪水吐きからの漏水が混入したことが判明したことから、地震後の正確な漏水量のデータは地震後には得られなかった。

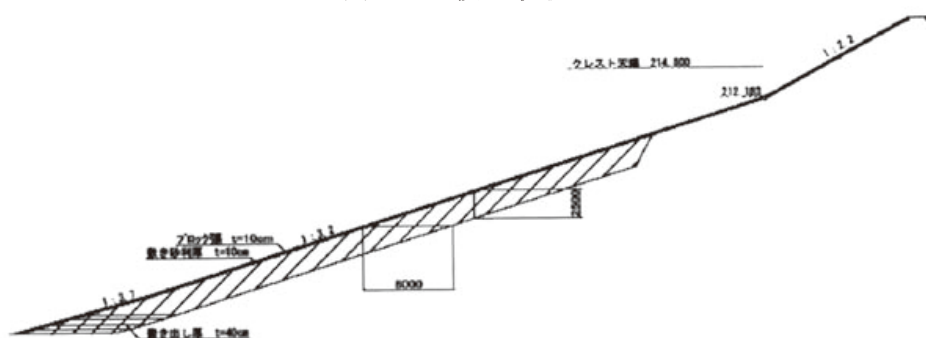
川西ダムの復旧は、以下のように行われた。

復旧状況を図-6.37 に示す。天端標高の不足している堤頂部は、被災箇所の路盤下 50cm まで既設コア材を撤去、当時、建設中であった松葉沢ダムのコア材で盛土し、舗装復旧した。堤体上流面の盛土材は、川西ダムの堤体材料と購入碎石を混合したブレンド材を使用した。締固め仕様は、試験盛土により決定し、使用機種は 11t 級振動ローラ、撒出し厚 40cm、転圧回数 6 回とした。張ブロックはできる限り再利用した。

洪水吐きの導流壁は、倒壊や変位を起こした 1 スパン分を撤去し、新たに作り変えた。観測監視施設について、被災した計器類はすべて修理または新設した。設備配線については、できるだけ再利用し、再利用不可な箇所については新設とした。また、水位計（浸潤線観測、地下水位観測用）の復旧については、新たに観測孔を掘削し、旧観測孔は埋塞した。



(a) 天端復旧状況⁹⁾



(b) 上流法面ブロック復旧断面⁸⁾

図-6.37 川西ダム 2004年中越地震後の復旧状況

2) 今回の地震調査結果

目視観察上では、今回の地震による堤体の外観上には、大きな変状は認められなかった。

(a) 漏水量

川西ダムでは、下流側堤体の堤敷には河床水平ドレーンがあり、法尻に集水された浸透流を下流の漏水量計測地点まで導水管で導水している。漏水量と貯水位の計測結果を図-6.38に示す。地震発生時の水位はEL. 211.73mであった。漏水量の計測値は、地震前（16日10時）に1.7ℓ/min、地震直後（16日11時）に1.7ℓ/min、地震発生半日後（16日18時）には0ℓ/minとなり、余震直後あたりから漏水量の計測値が0になった。地山からの地下水流入量も一緒に計測していることから、浸透流導水管（φ100mm）で異変が起きていると判断し、法尻から洪水吐きの導流壁を貫いて導流部に出てくる導水管の一部を切断し、導流管内部状況を確認した。その結果、導水管の一部に砂と小石が詰まり流れなくなっていた。ドレーン材である砂や小砂利が導水管に入り込んだものと思われる。7月20日に仮設配管を行い、漏水量を計測できる状態になった（写真-6.20、写真-6.21参照）。

浸透流導水管の仮設配管後、地震後の19日18時には、漏水量85.1ℓ/minを記録し、その後、時間経過と貯水位低下に伴って漏水量は徐々に低下した。

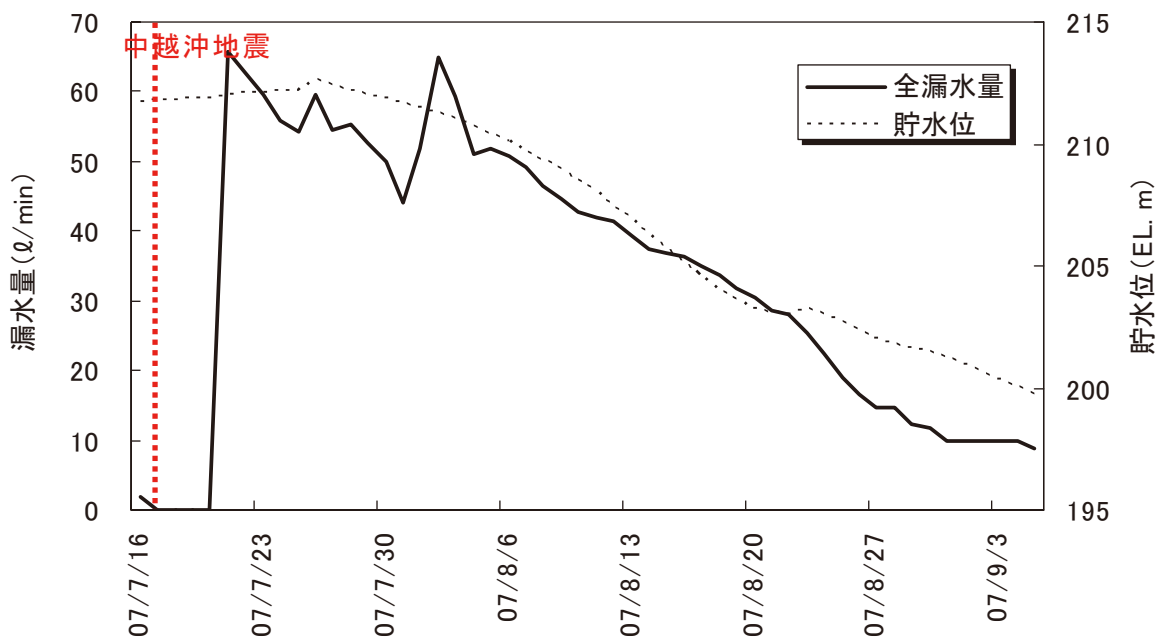


図-6.38 川西ダム漏水量と貯水位の計測結果
(新潟県農地部提供資料を元に作成)



写真-6.20 仮設管による浸透流導水状況
(浸透流導水管が土砂により詰まったため、
導水管を切断し、仮設管による導水を実施)



写真-6.21 導水管切断及び仮設管接続箇所

(b) 堤体変形

川西ダムの堤体変形は、堤体の天端及び上下流法面に設置されている標的測量より計測されている。地震前状態の6月27日の計測結果に対して、地震後の7月16日+を下流方向として、天端は2~8mm、上流法面は-2~5mm、下流法面は-7~2mmの水平変位が計測された。沈下量は、-を鉛直下方向として、天端は-4~4mm、上流側法面は6~11mm、下流法面は-4~1mmの鉛直変位が計測された。

(6) 松葉沢ダム

松葉沢ダムは、信濃川水系小海川に位置する。2006年11月～2007年1月に試験湛水を実施し、2007年に完成した。ダムの目的は、農地防災とかんがい用水である。現在、新潟県農地部が管理している。堤高24.5m、堤頂長78m、堤体積75,000m³、総貯水容量171,000m³のアースダムである。松葉沢ダムの構造を図-6.39に示す。なお、2004年新潟県中越地震時には築堤中であつた。

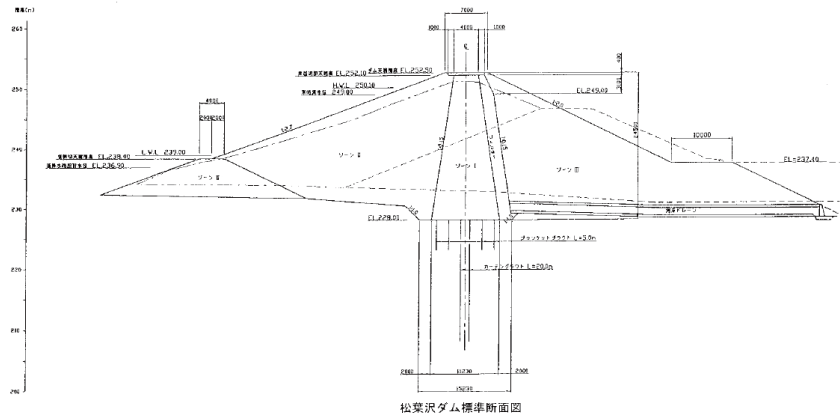
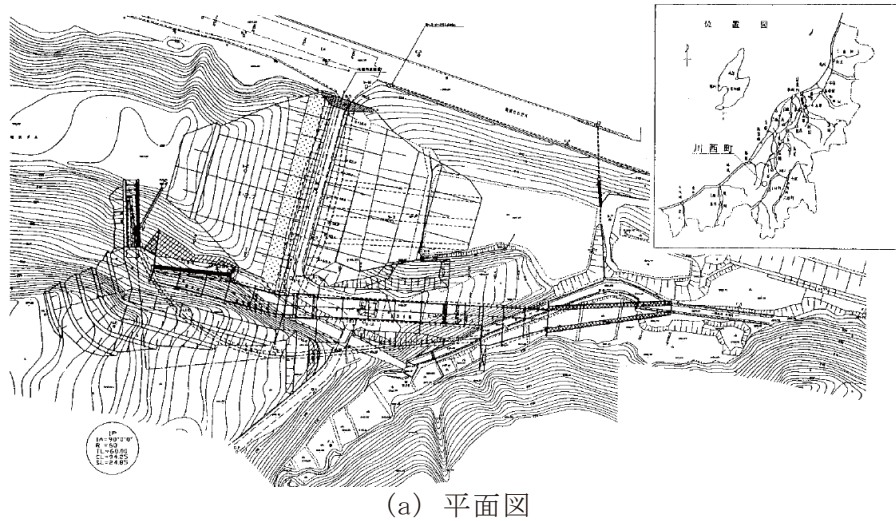


図-6.39 松葉沢ダムの構造¹⁰⁾

1) 今回の地震調査結果

目視観察では、今回の地震による大きな変状は確認できなかった。

(a) 漏水量

松葉沢ダムの漏水量と貯水位の計測結果を図-6.40に示す。当ダムは、下流側堤体河床部の河床ドレーンに集水された堤体漏水量と左右岸からの地下水も含め集水する左右岸漏水量の3系統の漏水量を計測している。地震発生時の貯水位はほぼ常時満水位であつた。3系統の合計漏水量は、地震前に約90ℓ/minであつたのが、地震直後に約120ℓ/minと増加した。その中でも、ダム堤体漏水量が多く、地震前(7月16日10:00)は57.8ℓ/min、地

震直後（16日11:00）に76.3ℓ/minと増加し、地震後（17日9:00）には95.1ℓ/minの最大漏水量を記録した。その後7月下旬以降は、通常のダム運用として貯水位を低下させていったこともあり、漏水量は水位変化に伴って減少した。

前年の2006年に試験湛水を実施し、12月に常時満水位に達しているが、そのときの漏水量（試験湛水中の最大漏水量）は堤体河床漏水量で70ℓ/min、全漏水量で90ℓ/minであった。今回の地震時には、試験湛水時の漏水量を越え、これまでに履歴した最大の漏水量であり、地震後に貯水位が下げられたこともあり、同一貯水位状況下での漏水量の回復過程が確認されたわけではないので、今後水位を上げる際には、漏水量の変化に留意していくことが必要と考える。

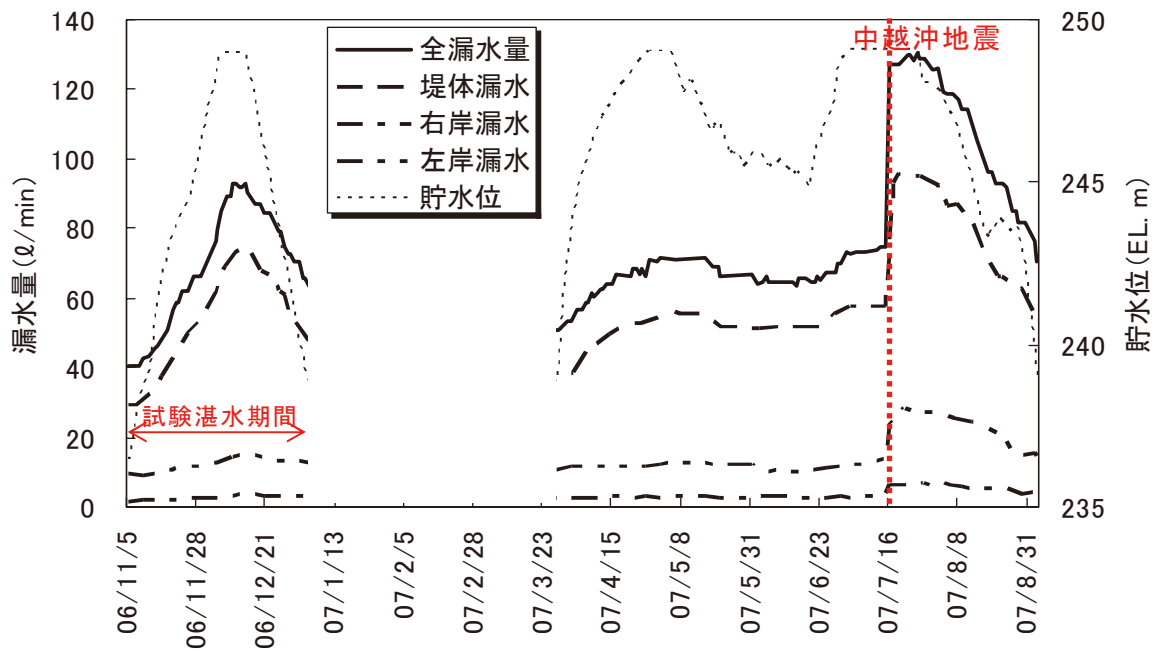


図-6.40 松葉沢ダム漏水量と貯水位の計測結果
 (新潟県農地部提供資料を元に作成)

(b) 間隙水圧

堤体内および基礎に設置されている間隙水圧計の記録では、地震前の7月上旬に観測した計測値と地震直後の計測値を比較すると、コア内 EL. 238m の P-7 は、10kPa 程度の間隙水圧の上昇を計測した。他の計測ポイントではほとんど変化はなかった。P-7 についても、貯水池の水位の低下に伴い、間隙水圧は低下し、安定した。

(c) 堤体変形

水平変位は地震前に計測された7月5日の計測結果に対して、地震当日16日の計測値は、+を下流側方向として、天端は-3~-1mm、下流法面は0~3mmの変位が計測されているが、いずれも計測誤差の範囲と考えられる。

沈下量は、地震前に計測された7月5日の計測結果に対して、地震当日16日の計測値は、-を沈下方向として、天端は-7~-1mm、下流法面は-4~5mmの変位量が計測された。

(7) 坪山ダム

坪山ダムは、信濃川水系曾根川に 1997 年に完成した。ダムの目的は農地防災とかんがい用水で、新潟県農地部が管理している。堤高 20.5m、堤頂長 94m、堤体積 66,500m³、総貯水容量 216,000m³ のアースダムである。坪山ダムの構造を図-6.41 に示す。

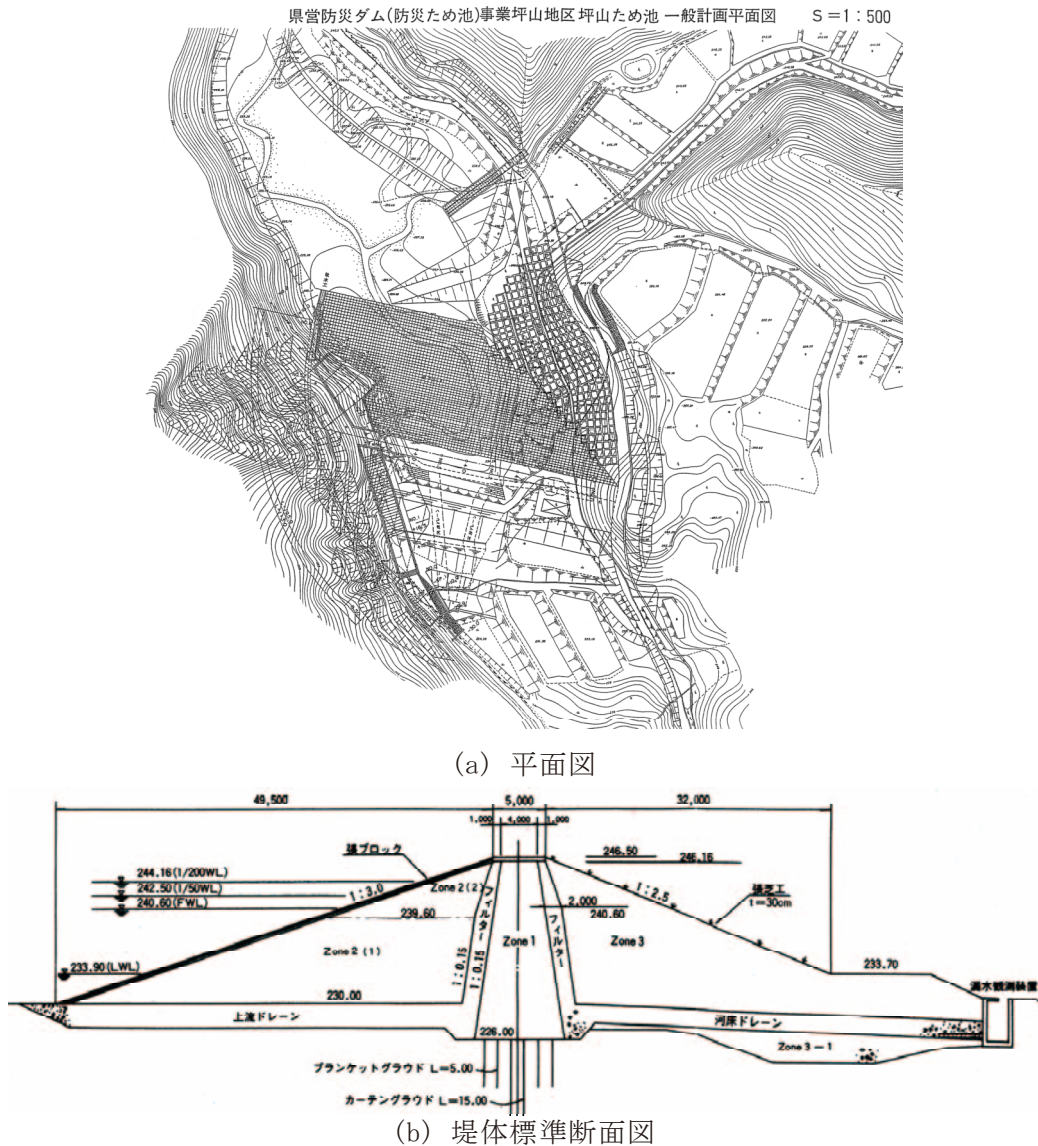


図-6.41

図-6.41 坪山ダムの構造（新潟県農地部提供資料より）

1) 2004 年新潟県中越地震での被災状況⁸⁾

坪山ダムは、2004 年新潟県中越地震の際に被災し、堤体に損傷を生じた。被災状況について、天端の舗装面に上下流方向に横断する亀裂が 5 条程度生じた。また、全体的に沈下しており、一部（堤頂長 94.0m の内 50.8m）で非越流標高が不足する状態となった。

上下流法面では、右岸側の洪水吐きと盛土の取付け部で約 12cm 程度の段差が生じた。下流法面では 3 カ所の変状（すべり、崩壊状の亀裂）が発生した。

本震発生時、貯水池は空虚であった。漏水量は、地震前には堤体部で 24.20/min、地山

部で 0ℓ/min、地震直後（11月23日18時）には堤体部で 21.7ℓ/min、地山部で 0ℓ/min、11月25日12時には堤体部で 32.5ℓ/min、地山部で 0ℓ/min、同月30日9時には堤体部で 25.5ℓ/min、地山部で 0ℓ/minと、地震による変化はほとんどなかった⁷⁾。

坪山ダム復旧断面を図-6.42に示す。非越流部標高が不足している区間は、アスファルト舗装、フィルタ材を一時除去し、不足相当のコア材を撒出し転圧した。下流面については、緩み領域を掘削除去して再盛立を行った。

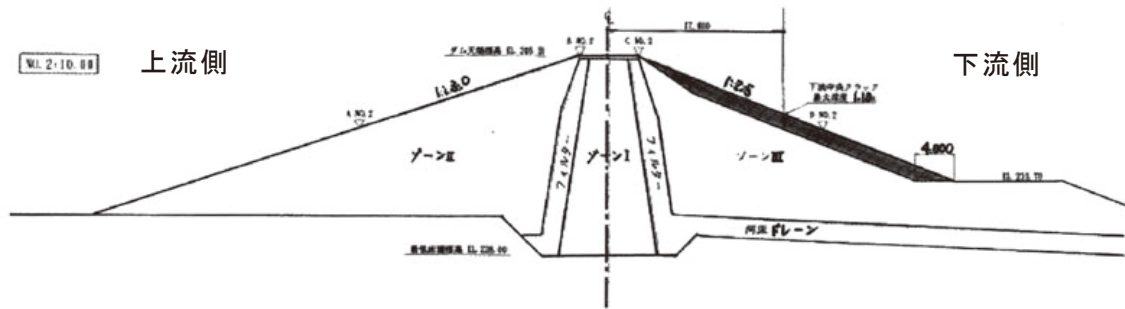


図-6.42 坪山ダム復旧断面⁸⁾

2) 今回の地震調査結果

目視観察では、今回の地震による大きな変状は確認できなかった。

(a) 漏水量

坪山ダムは、下流側堤体河床部の河床ドレーンに集水された堤体漏水量と左岸地山からの地下水も含め集水する左岸漏水量の2系統の漏水量を計測している。坪山ダムの漏水量と貯水位の計測結果を図-6.43に示す。地震発生時の水位はEL.240.70mでほぼ満水位であった。全漏水量の変化は地震前（7月16日10時）に34.0ℓ/min、地震直後（16日13時）には40.5ℓ/minと増加した。その後、23日には、日平均漏水量52.5ℓ/min、26日には約60ℓ/minを計測しているが、降雨の影響もあると考える。その後、時間経過と貯水位低下に伴い、地震前の漏水量レベルに戻った。

今回の地震時には、2004年の新潟県中越地震後の復旧工事後の試験湛水時（2005年7～10月）の常時満水位（FWL）からサーチャージ水位における漏水量レベル40ℓ/min程度を上回る漏水量が計測された。地震後に通常運用として貯水位が下げられたこともあり、同一貯水位状況下での漏水量の回復過程が確認されたわけではないので、今後水位を上げる際には、漏水量の変化に留意していくことが必要と考える。

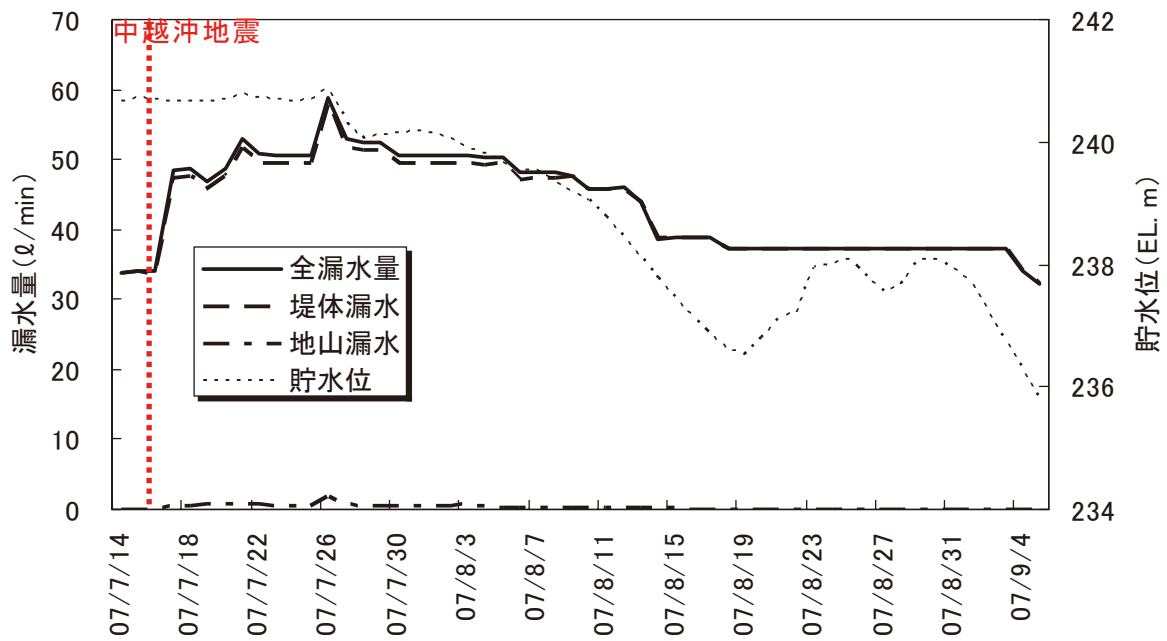


図-6.43 坪山ダム漏水量と貯水位の計測結果
(新潟県農地部提供資料を元に作成)

(b) 堤体変形

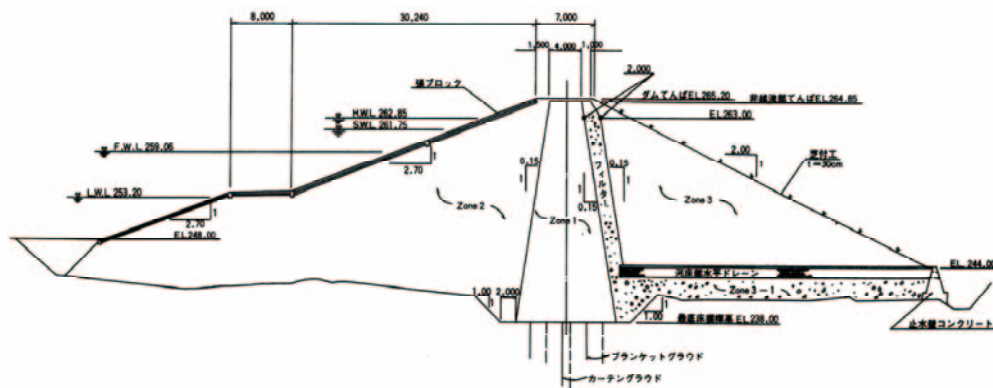
水平変位は地震前の6月27日に測量した計測値に対して、+を下流側方向として、天端は0~2mm、下流法面は0~2mmの変位が計測された。沈下量は、地震前の6月27日に測量した計測値に対して、-を沈下方向として、天端は-4~-3mm、下流法面では-4~-1mmの変位が計測された。

(8) 長福寺ダム

長福寺ダムは、信濃川水系木島川に2000年に完成した。ダム目的は、農地防災とかんがい用水で、新潟県農地部が管理している。堤高27.2m、堤頂長73.2m、堤体積60,000m³、総貯水容量193,000m³のアースダムである。長福寺ダムの構造を図-6.44に示す。



(a) 平面図



(b) 堤体標準断面図

図-6.44 長福寺ダムの構造（新潟県農地部提供資料より）

1) 2004年新潟県中越地震での被災状況^{7),8)}

長福寺ダムは、2004年新潟県中越地震の際に被災し、堤体に損傷を生じた。左右岸の地山取付け境界で上下流方向に横断する亀裂が発生した。亀裂の開口幅は大きいところで5cm程度であった。また、上下流法面では、左岸側の洪水吐きと上流側盛土の取付け部に約6cmの段差が確認された。上流法面は張ブロックが施工されているため、局所的な変状は見えにくく、目視上では大きな変状は認められなかった。

2004年新潟県中越地震の本震発生時、貯水池は10月11日に落水しており、空虚であった。漏水量は、地震前には堤体河床ドレーンからの漏水量が58.0ℓ/min、地山からの漏水量が2.4ℓ/min、地震直後には堤体部で88.0ℓ/min、地山部で2.4ℓ/min、地震発生から2時間後には堤体部で125.9ℓ/min、地山部で3.7ℓ/minを観測した。さらに、地震発生後1ヶ月した11月28日9時には堤体部で109.8ℓ/min、地山部で1.9ℓ/minが観測されているが、それ以降、漏水量は安定した挙動を観測した。

天端の復旧は、クラック周辺の舗装を撤去し、下層路盤を掻き起した後再度転圧を行い、アスファルト舗装した。上流側法面の復旧は、ブロック張りコンクリート等の沈下部をはり取り、新規にコンクリートの打設を行った。

2) 今回の地震調査結果

目視観察では、今回の地震による大きな変状は確認できなかった。

(a) 漏水量

長福寺ダムでは、下流側堤体河床部の河床ドレーンに集水された堤体漏水量と左右岸からの地下水も含め集水する左右岸漏水量の3系統の漏水量を計測している。地震発生時の貯水位はEL. 259.19mでほぼ満水位であった。長福寺ダムの漏水量と貯水位の計測結果を図-6.45に示す。全漏水量の変化は地震前(7月16日10時)に63.4ℓ/min、地震直後(16日11時)に81.4ℓ/minと増加し、地震翌日の17日10時には98.5ℓ/minの最大値を計測した。全漏水量のうち、堤体漏水量が大部分であった。その後、貯水位低下とともに通常の漏水量レベルに戻った。

今回の地震時には、2004年の新潟県中越地震直後に観測された漏水量120ℓ/min超ほどではないが、その後の復旧工事後の試験湛水時(2005年4~6月)の漏水量レベル80ℓ/min程度を上回る漏水量が計測された。地震後に通常運用として貯水位が下げられたこともあり、同一貯水位状況下での漏水量の回復過程が確認されたわけではないので、今後貯水位を上げる際には、漏水量の変化に留意していくことが必要と考える。

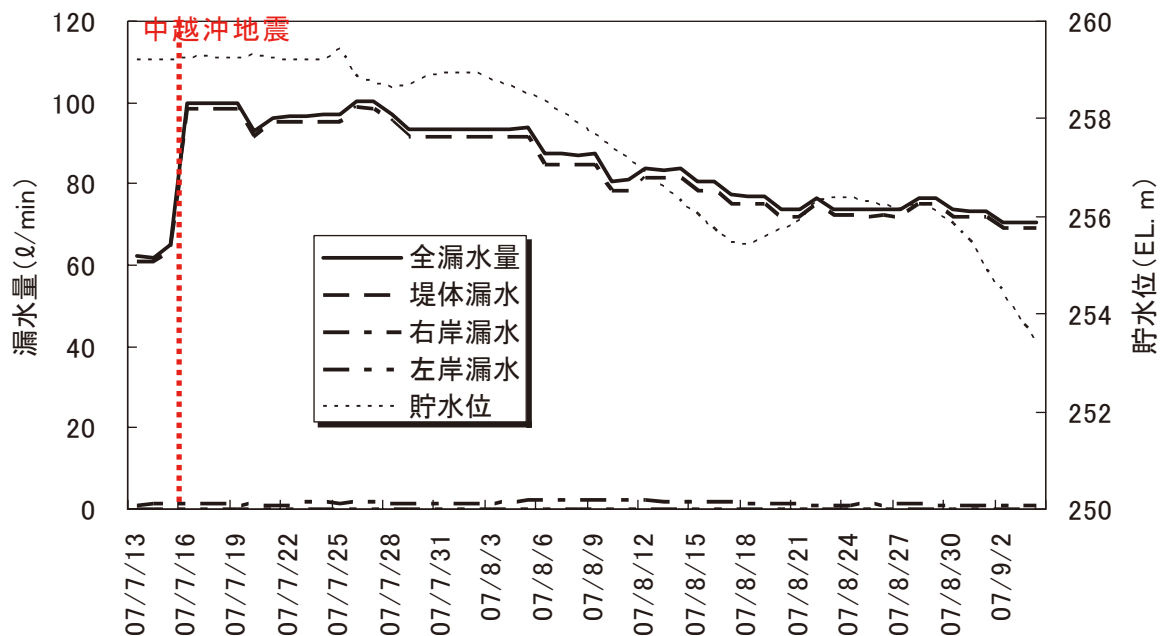


図-6.45 長福寺ダム漏水量と貯水位の計測結果
(新潟県農地部提供資料を元に作成)

(b) 堤体変形

水平変位は地震前の6月26日に計測した結果に対して、+を下流側方向として、天端は-2~0mm、上流法面は変位なし、下流法面は-4~-2mmの変位が計測された。沈下量は、地震前の6月26日に計測した結果に対して、-を沈下方向として、天端は-2~-1mm、上流法面は-1~2mm、下流法面は-3~-2mmの変位が計測された。

6.3 ダムで観測された地震動

6.3.1 最大加速度記録

今回の地震により、ダムの基礎または監査廊の低標高部に設置された地震計で、25gal以上の加速度を記録した国土交通省所管ダムは 11 ダムである。また、これら以外でも 7 つの利水ダムで最大加速度が 25gal を超えた記録を観測した。これらのダムの位置図を図-6.46 に示している。また、その最大加速度記録を表-6.5 に示す。

ダム基礎における最大加速度の断層からの距離による距離減衰の状況を、図-6.47 に示す。ただし、岩盤上に築造されていないアースダムの基礎の記録等は含めていない。「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説」¹¹⁾ に示されているダムの距離減衰式¹²⁾（内陸型地震 M6.8：最短距離式）を図-6.47 に比較のため併記した。図-6.48 は鉛直動の距離減衰の状況である。なお、距離減衰式の距離を算出するために用いた断層モデルは、国土地理院の提案したモデル¹³⁾ を使用した。

また、ダム基礎で 25gal 以上を記録した国土交通省所管のダムの加速度応答倍率（基礎位置と天端位置での最大加速度比）を図-6.48 に示す。



図-6.46 ダム基盤で 25gal 以上を記録したダム

表-6.5 ダム基礎で25gal以上を記録したダムの最大加速度記録一覧

管理者	ダム名	ダム形式	震央距離(km)	地震計設置位置		最大加速度(gal)		
						ダム軸	上下流	鉛直
新潟県	下条川ダム	G	42.9	基礎	監査廊	35	41	29
				天端	天端中央	38	89	35
	鯖石川ダム	G	37.0	基礎	監査廊	93	115	70
				天端	洪水吐き口の張出部	104	129	84
	城川ダム	G	39.4	基礎	監査廊	-66	77	50
				天端	天端右岸寄	-69	82	56
	正善寺ダム	G	55.1	基礎	監査廊	-36	91	30
				天端	天端中央	-40	98	33
	笠堀ダム	G	50.2	基礎	監査廊	23	-26	-24
				天端	天端中央	116	-363	-102
	破間川ダム	G	52.7	基礎	監査廊下部	23	27	21
				天端	天端中央	-108	315	66
	柿崎川ダム	R	31.8	基礎	監査廊	170	143	76
				天端	ダム天端	220	275	114
新潟県(利水)	川西ダム	E	37.0	基礎	左岸地山	218	267	92
				天端	天端中央	315	316	152
柏崎市(利水)	谷根ダム	G	23.9	基礎	監査廊	132	157	87
				天端	天端	204	292	153
富山県	大谷ダム	E	122.9	基礎	漏水量測定室	20	25	16
				天端	ダム天端	48	31	20
福島県	田島ダム	G	104.7	基礎	監査廊	13	35	14
				天端	天端	16	57	19
長野県	金原ダム	R	124.3	基礎	右岸地山(天端標高)	-53	-64	30
				天端	ダム天端	108	141	-23
	裾花ダム	A	103.0	基礎	監査廊	25	19	20
				天端	天端左岸ピア	40	95	21
JR東日本(利水)	浅河原調整池	E	42.8	基礎	下流法尻	-180	144	-72
				天端	天端	327	-242	-144
	山本調整池	E	29.3	基礎	下流法尻基礎	-97	154	-67
				天端	天端	-91	245	100
新山本調整池	R	30.0	基礎	下流法尻	-248	-127	-87	
			天端	天端	-301	-289	137	
電源開発(利水)	只見ダム	R	64.0	基礎		44	42	29
				天端		36	58	33

注1:型式 G:重力式コンクリートダム、R:ロックフィルダム、A:アーチ式コンクリートダム、E:アースダム

注2:臨時点検結果報告より整理。ただし、谷根ダム、川内ダムは別途収集。いずれも速報値。

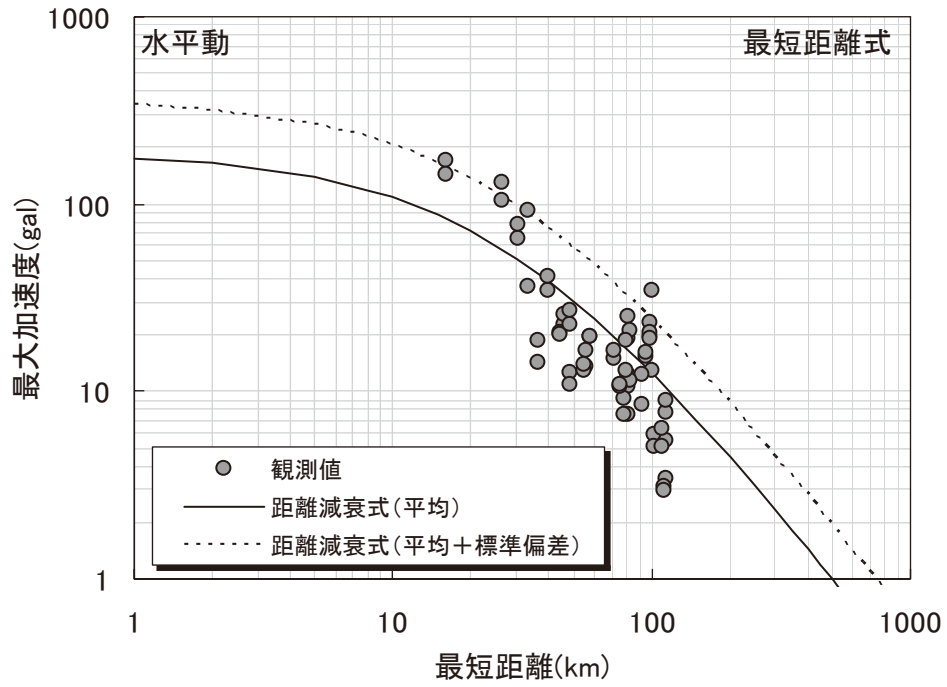


図-6.47 ダム基礎最大加速度(水平動)の距離減衰分布
とダム距離減衰式(最短距離式、内陸型地震・M6.8)

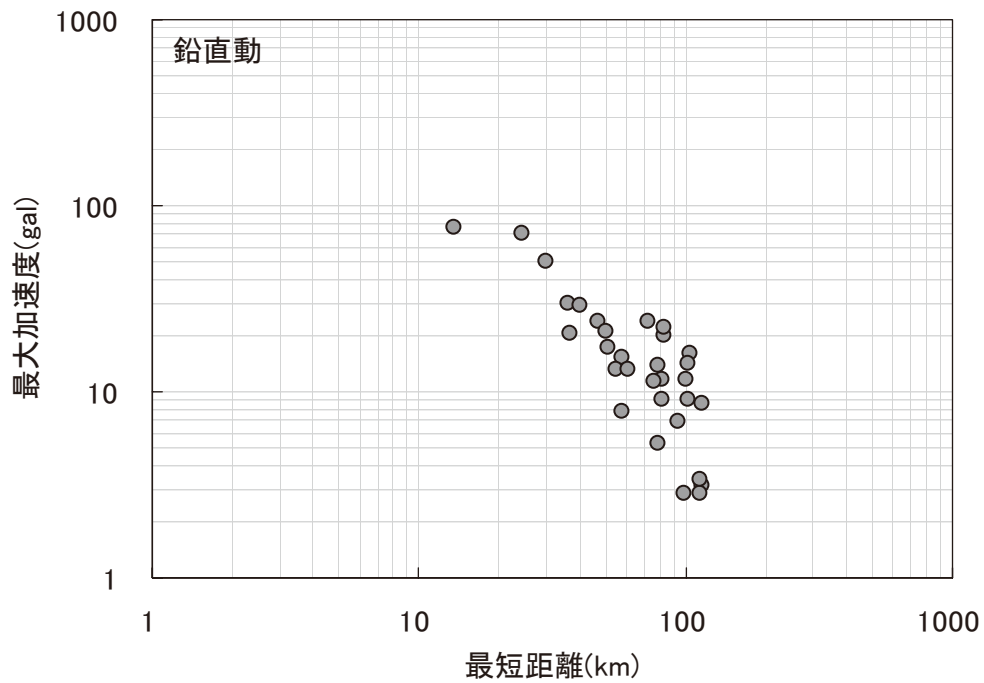


図-6.48 ダム基礎最大加速度(鉛直動)の距離減衰分布

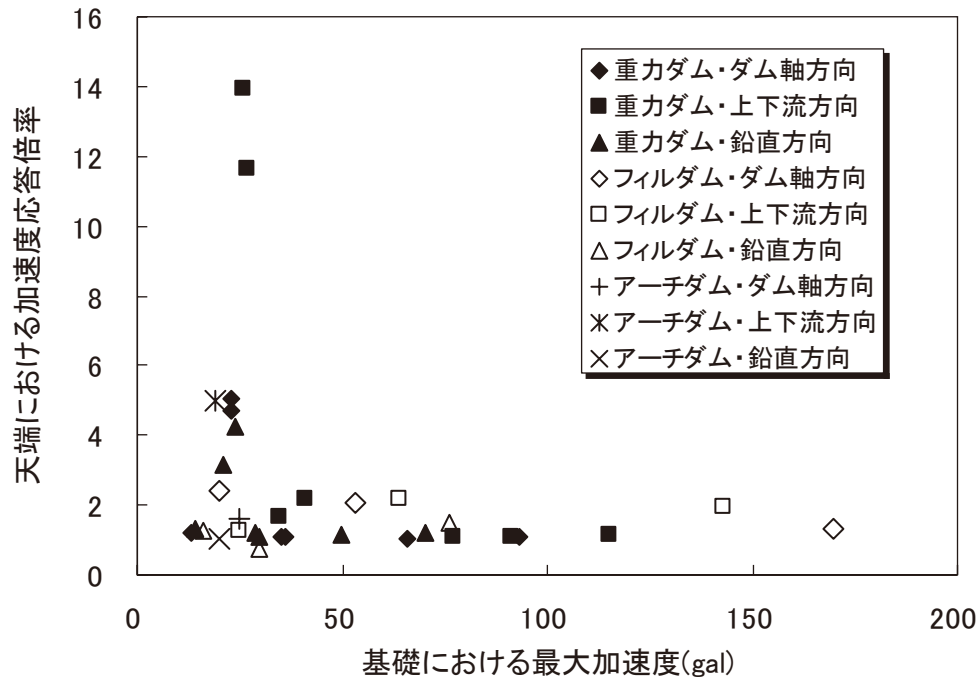


図-6.49 天端における最大加速度の応答倍率

6.3.2 柿崎川ダムにおける加速度記録

柿崎川ダムは、今回の地震において国土交通省所管ダムの中で最も震源近傍であったダムで、震央距離では、約 32km に位置していた。地震の加速度記録としては、ダム基礎（監査廊底部）の地震計で、上下流方向 143gal、ダム軸方向 170gal、鉛直方向 76gal の最大加速度を記録し、天端位置での地震計では、上下流方向 275gal、ダム軸方向 220gal、鉛直方向で 114gal の最大加速度を記録している。この記録の加速度時刻歴を図-6.50 に、ダム基礎の加速度応答スペクトルを図-6.51 に示す。

図-6.51 をみてわかるように、柿崎川ダムのダム基礎で記録された水平方向の加速度波形の加速度応答スペクトルは、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」¹¹⁾ に示されている、ダム地点の水平動について規定された「照査用下限加速度応答スペクトル」に比べるとおおむね小さい記録であった。

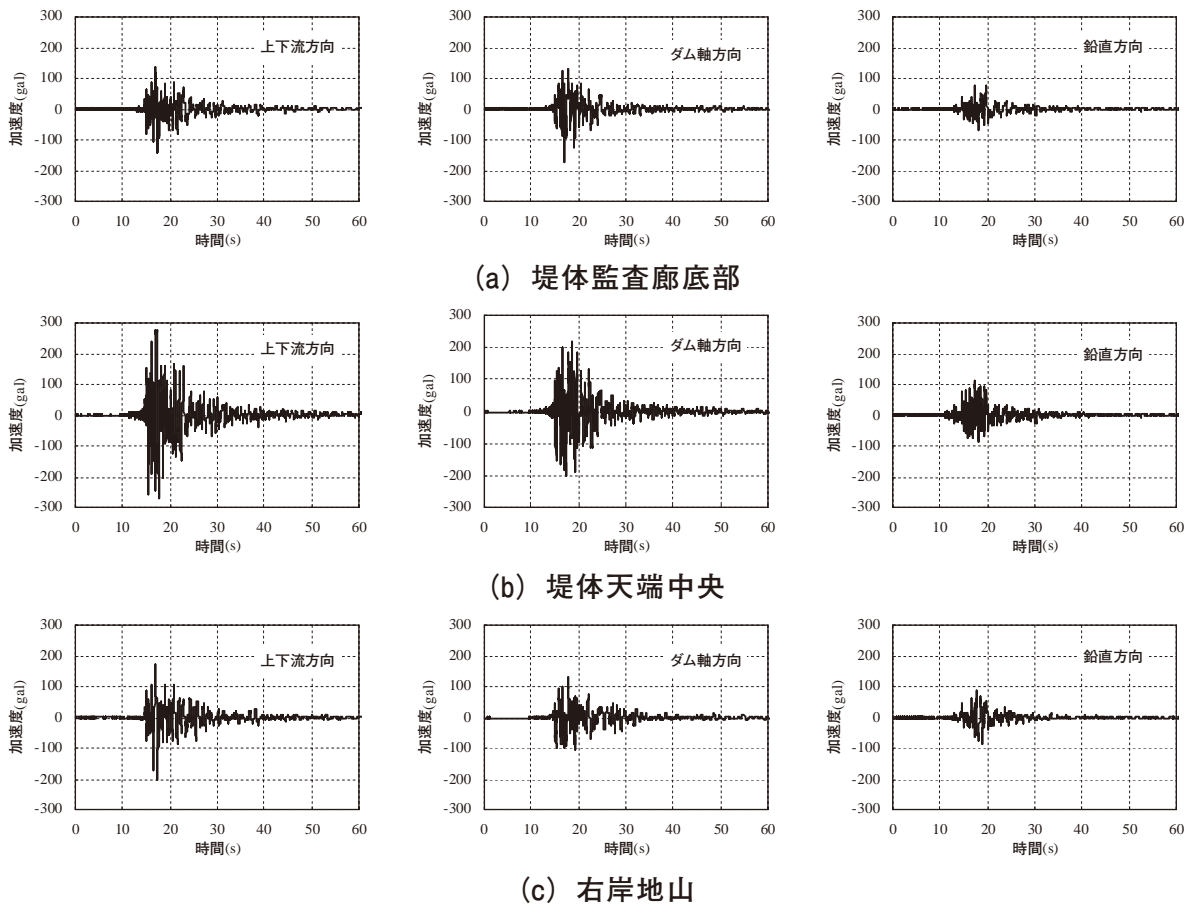


図-6.50 柿崎川ダム加速度時刻歴波形（ダム基礎、天端、右岸地山内）

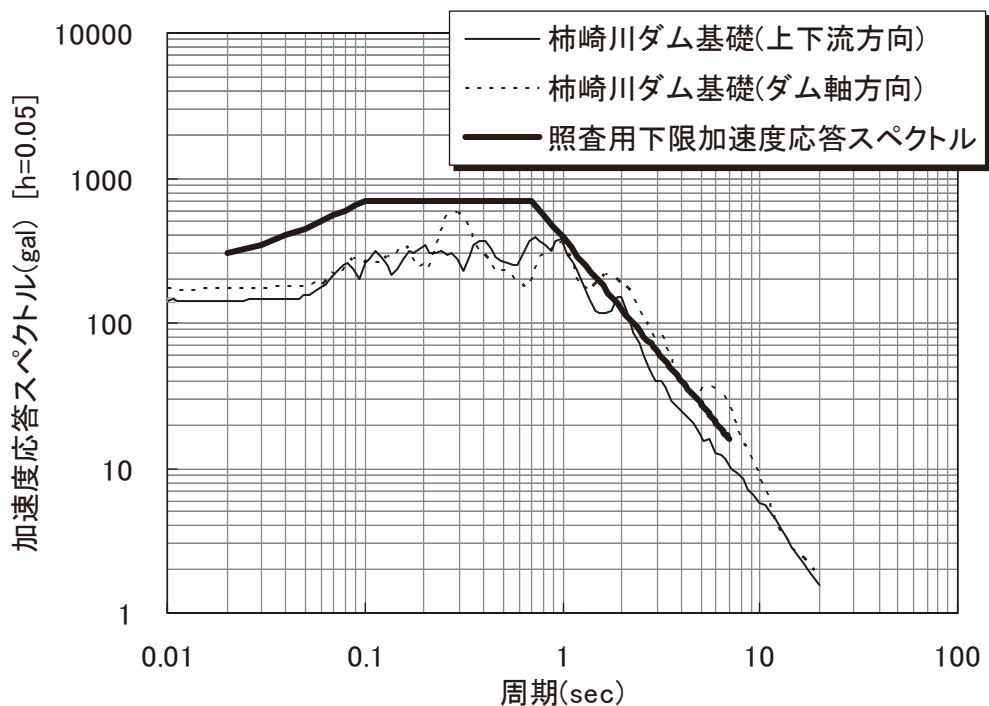


図-6.51 柿崎川ダムのダム基礎における加速度応答スペクトル

6.4 まとめ

2007年新潟県中越沖地震において、震源近傍に位置する管理中のダムを中心に、現地調査を実施した。川内ダムを除き、ダムの安全管理に関わるような変状が生じていないことを現地目視および堤体観測記録から確認した。また、その観測記録の整理・分析結果から、比較的大規模な地震によるダムの挙動についてまとめた。

なお、川内ダムについては、地震直後に緊急応急対策が図られ、2008年1月現在、復旧に向けた調査・実施計画が検討されており、今後復旧工事が行われる予定である。

謝 辞

2007年新潟県中越沖地震後のダムの調査に当たっては、国土交通本省、同北陸地方整備局河川部、同北陸地方整備局信濃川河川事務所、新潟県土木部河川管理課、新潟県柏崎地域振興局および十日町地域振興局、柏崎市ガス水道局、川西土地改良区、ならびに東日本旅客鉄道株式会社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、現地調査に多大な協力をいただくとともに、観測データ等の多数の資料を提供して頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 新潟県柏崎市ガス水道局：パンフレット「柏崎の水道」
- 2) 国土交通省国土地理院：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震 緊急撮影空中写真画像 平成19年7月19日撮影 縮尺約1/10,000写真番号C1A_1648
http://www1.gsi.go.jp/topographic/bousai/photo_h19-chuetsuoki/photo/300/C1A_1648.html
- 3) 岩下友也：フィルダムの耐震設計法の高度化に関する研究、平成10年度科学技術庁長期在外研究員報告書、1999.8
- 4) 新潟県柏崎市ガス水道局：赤岩ダム工事誌、1989.12
- 5) 東日本旅客鉄道株式会社：信濃川発電所復旧工事技術専門委員会委員会報告書、2006.5
- 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：平成16年（2004年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告、国土技術政策総合研究所報告第27号／土木研究所報告第203号、pp.133～156、2006.1
- 7) 東日本旅客鉄道株式会社信濃川発電所：パンフレット「新潟県中越地震発生から完全復旧までの508日間の記録」
- 8) 池田邦彦、黒木博、太田宏道、佐藤裕三：2004年新潟県中越地震によるフィルダムの被害とその復旧工事、ダム日本、No.758、pp.9～28、2007.12
- 9) 新潟県農地部・新潟県農村振興技術連名：新潟県中越大震災～農地・農業施設の復旧記録～（技術資料編）、pp.32～37、2007.3
- 10) 新潟県農地部HP：<http://www.pref.niigata.jp/nochi/denen/index.html>
- 11) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説、2005.3
- 12) 松本徳久、吉田等、佐々木隆、安中正：ダムサイトでの地震動の応答スペクトル、大ダム、No.186、pp.69～76、2004.1
- 13) 国土交通省国土地理院：2008年1月11日報道記者発表「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデル
<http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/index.html>

7. 道路橋

7.1. 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、7月19日、20日、8月1日において、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。調査対象橋梁の位置を図-7.1に、諸元、竣工年、構造、被害状況を表-7.1に示す。



図-7.1 調査橋梁位置

表-7.1 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(ヒナメ)橋	1974年	鋼ラーメン(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, 斜トアロツクの損傷 固定支承のモットボルトの破断 下弦材下フランジのウレド変形 上横構:座屈変形, 橋脚構:隅角部の座屈変形, 割れ 下横構:破断箇所(腐食あり) 橋台取り付け部段差あり
2	"	上輪(ウガリ)橋	1965年	鋼桁(合成), アーチ橋	A1:控え壁式橋台, A2:半重力式橋台, P1, P2:アーチ扶台	親柱損傷, ショウ部の衝突損傷, 橋台取り付け部段差あり, 下横構ガゼットの变形
3	"	米山(コヤマ)大橋	1967年	鋼箱桁(鋼床版), I桁(合成)	A1, A2:控え壁式橋台, 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(ヒカク)跨線橋	1963年	鋼I桁(合成)	A1, A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり(1m)
5	"	栢崎(カシマキ)高架橋	2002年	鋼I桁(非合成)	P15~P21:ラーメン橋脚(RC), A2:逆T式橋台	支承サイドブロックの变形
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型橋脚柱小判型(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(アラヤ)高架橋	1984年	ボステンT桁	A1, A2:逆T式橋台	橋台取り付け部段差あり
8	"	水神(スミガミ)橋		鋼I桁		橋台取り付け部段差あり
9	"	藤掛川(フジカガリ)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(タザカガリ)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	一般県道黒部栢崎線	なごみ橋	2005年	鋼I桁		橋台の残留変位, 橋台取り付け部段差あり
13	主要地方道栢崎高浜堀之内線	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(ベヤマ)大橋	2004年9月	鋼I桁		(支承部:こすれ跡, 高欄:こすれ跡)
16	市道栢崎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I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I桁(非合成)	A1, A2:逆T式橋台, P1, P2:壁式橋脚	橋台の残留変位, 橋台パテパット:ひび割れ
20	"	上原(カミハラ)二の橋	2005年3月	鋼I桁(非合成)	A1, A2:逆T式橋台, P1:壁式橋脚	橋台の残留変位, 橋台パテパット: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, 橋梁のひび割れ

7.2. 主な橋梁の被害状況

7.2.1 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-7.1、写真-7.1）。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。



写真-7.1 胞姫橋

図-7.2 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（写真-7.2）、橋門構隅角部の座屈変形、割れ（写真-7.3）、下横構連結板の破断1箇所（写真-7.4）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（写真-7.5）、サイドブロックの損傷（写真-7.6）が確認された。また、上越側の固定支承で

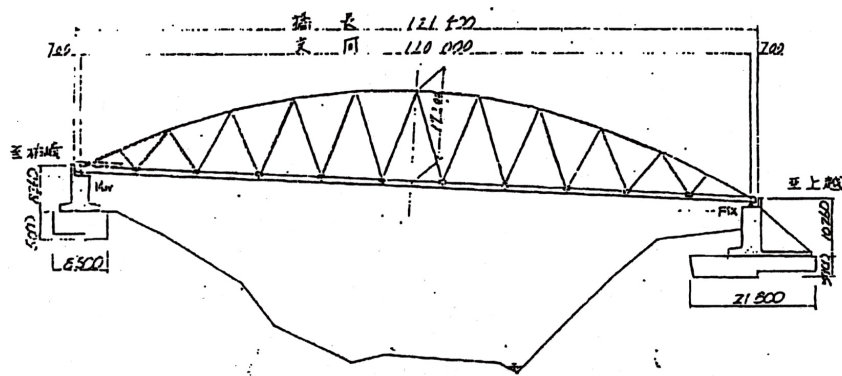


図-7.1 胞姫橋一般図

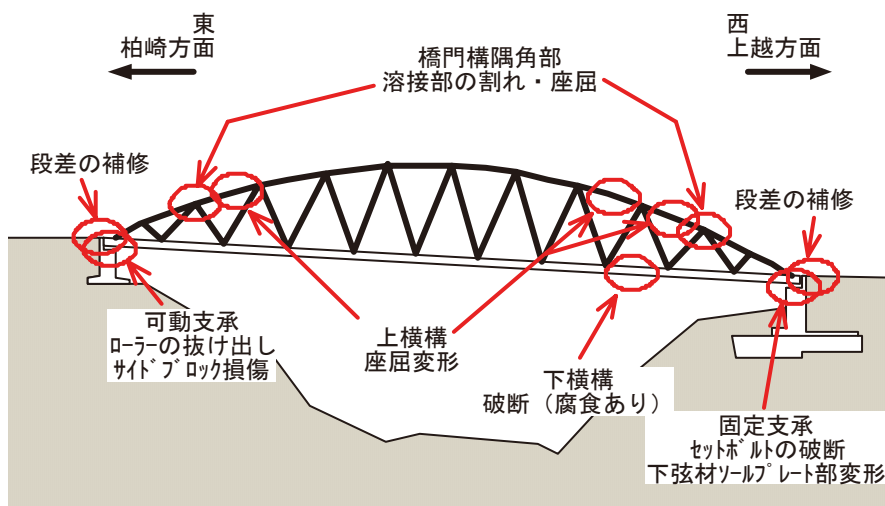


図-7.2 胞姫橋の被災概要



写真-7.2 上横構の座屈変形



写真-7.3 橋門構隅角部の溶接部の座屈変形、割れ



写真-7.4 下横構連結板の破断



写真-7.5 可動支承のローラーの抜け出し



写真-7.6 固定支承のセットボルトの破断



写真-7.7 橋台背面土の沈下による段差補修

はセットボルトの破断、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が、調査時にはすでに補修されていた（写真-7.7）。

本橋では、地震力が集中する支承部周辺に損傷が生じるとともに、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。

7.2.2 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-7.2、写真-7.8）。7.2.1の胞姫橋の約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。



写真-7.8 上輪橋

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-7.3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-7.3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。また、橋台背面土には沈下による段差が生じていたが、調査時にはすでに補修されていた。

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、今後詳細な検討が必要とされるが、耐震補強が効果を発揮したものと推定される。

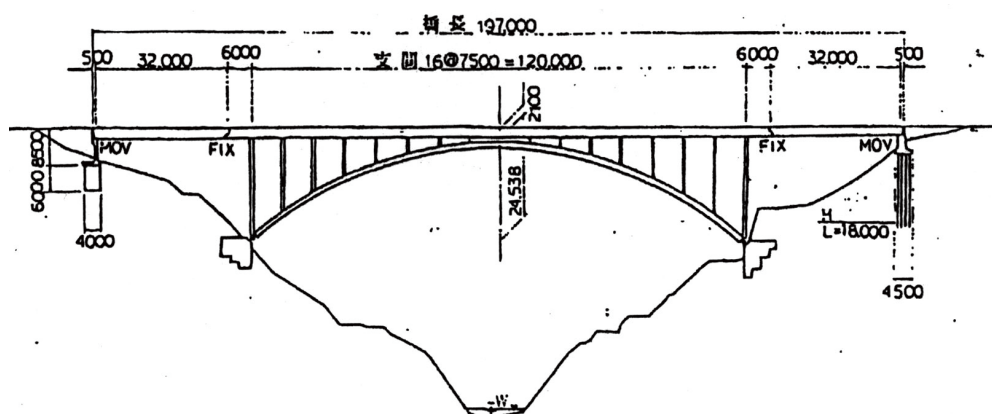


図-7.2 上輪橋一般図

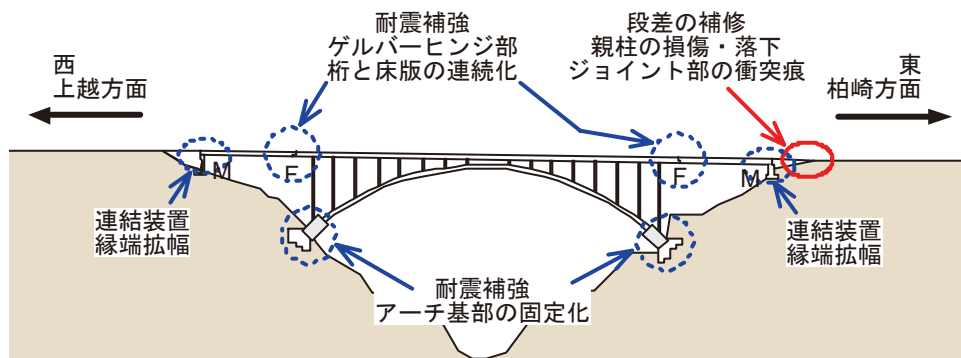


図-7.3 上輪橋の被災概要（実線）と耐震補強（破線）

7.2.3 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-7.4、写真-7.9）。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



写真-7.9 米山大橋

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-7.5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（写真-7.10）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（写真-7.11）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（写真-7.12）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（写真-7.13）、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が、調査時にはすでに補修されていた。

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、今後詳細な検討が必要とされるが、耐震補強が効果を発揮したものと推定される。

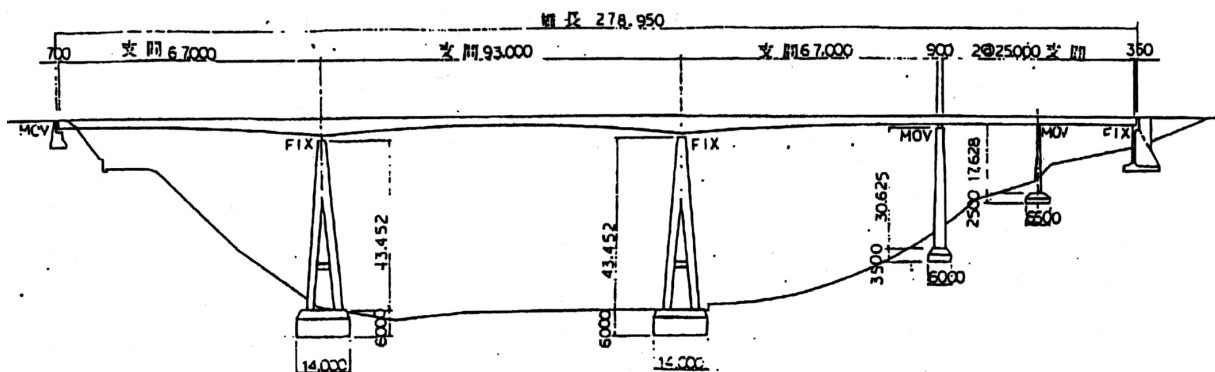


図-7.4 米山大橋一般図

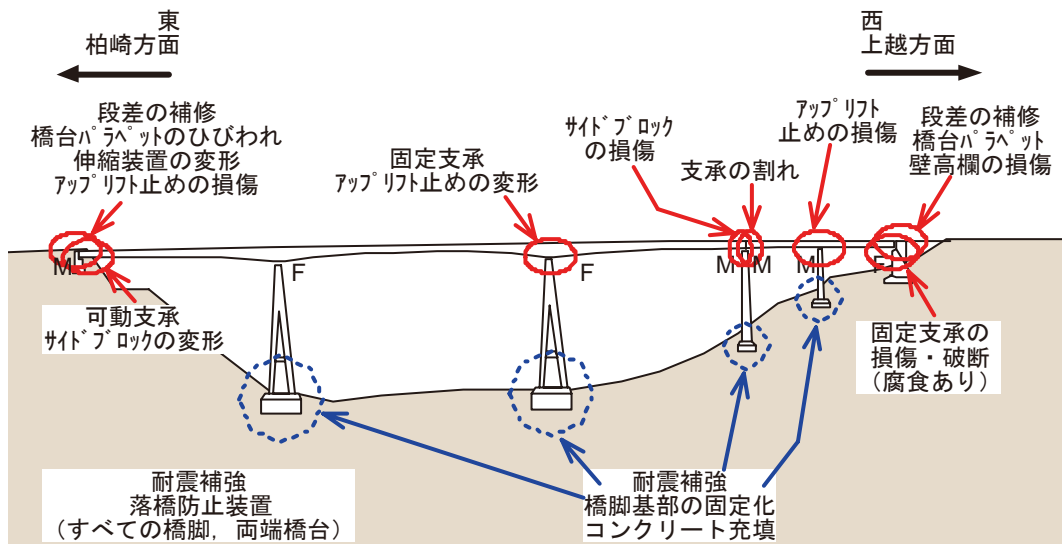


図-7.5 米山大橋の被災概要



(a) アップリフト止めの損傷



(b) サイドブロックの変形

写真-7.10 3径間部の端部支承の損傷



写真-7.11 3径間部の中間固定支承の
アップリフト止めの変形



写真-7.12 2径間部の固定支承における
固定突起の損傷



(a) パラペットのひびわれ



(b) 伸縮装置の変形

写真-7.13 3径間部端部橋台のパラペットのひびわれ、伸縮装置の変形

7.2.4 鉢崎橋（下り線）

鉢崎橋は北陸自動車道柿崎IC～米山IC間に位置する橋梁（写真-7.14）で、上部構造はPC橋である。

地震により、PC桁端部下面固定支承部周辺においてせん断破壊が生じた（写真-7.15）。



写真-7.14 鉢崎橋



写真-7.15 桁端部下面のせん断破壊
(NEXCOホームページより引用)

7.2.5 橋台背面地盤の変位と橋台及びゴム支承の残留変位

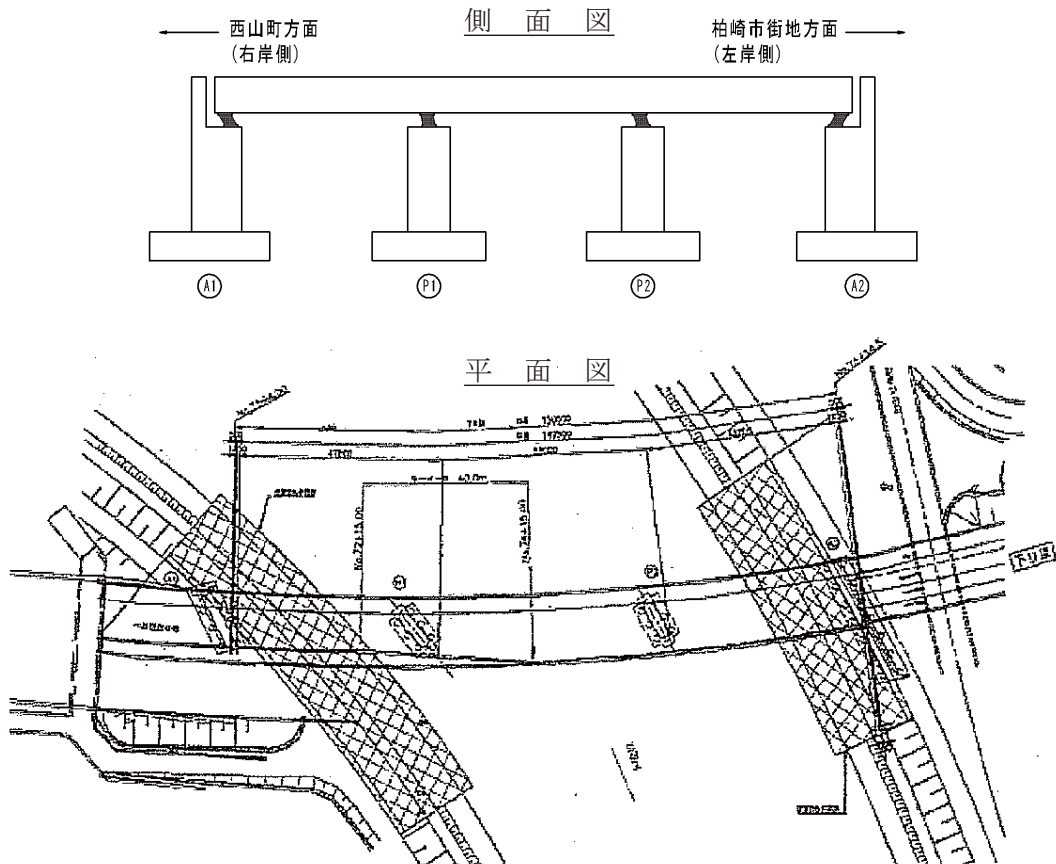
(1) 豊田橋

豊田橋は、2004年に竣工した鯖石川を渡河する国道8号線の橋である（写真-7.16）。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（写真-7.17）。

地震により、ゴム支承部に橋台の移動に伴う残留変形が生じた（図-7.6、写真-7.18）。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（写真-7.19）。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（写真-7.20）。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（写真-7.21）。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。

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、支承部に変位が残留、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、橋台や支承部の残留変形は、支承本体や本橋の安定性に影響を及ぼすまでは至っていないと考えられる。



[ゴム支承変形量] (単位: cm)

		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。

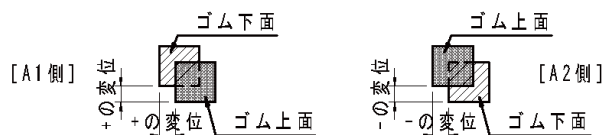


図-7.6 豊田橋のゴム支承の変形量（北陸地方整備局による現地計測の結果）



写真-7.16 豊田橋



写真-7.17 隣接するボックスカルバート



写真-7.18 支承の残留変形



写真-7.19 伸縮装置の遊間のつまりと
背面土の沈下による段差補修



写真-7.20 橋とボックスカルバート間の盛土の沈下



写真-7.21 高欄の座屈変形

(2) なごみ橋

なごみ橋は、2004年に竣工した鯖石川を渡河する一般県道黒部柏崎線の橋である（図-7.7、写真-7.22）。上部構造は3径間連続鋼鈹桁、下部構造は逆T式橋台、T型小判断面RC橋脚で杭基礎（摩擦杭）により支持されており、支承はゴム支承である。本橋梁は、国道8号線に位置する豊田橋に隣接する橋梁である。

地震により、ゴム支承部に橋台の移動に伴う残留変形が生じた（図-7.8、写真-7.23）。また、P1橋脚上では対傾構の座屈、対傾構固定位置での床版部下面かぶりコンクリートの剥離が確認された（図-7.9、写真-7.24、7.25）。下部構造では、上部構造との接触に伴い、橋台のパラペット基部にひびわれが生じていた。さらに、橋台背面地盤の沈下により傾斜が生じたが踏掛版が設置されていたことからその傾斜勾配は緩やかであった。傾斜の先端には、路面のすりつけ補修が実施されていた（写真-7.26）。



写真-7.22 なごみ橋

本橋では、地震力の作用による周辺地盤の変位、変状に伴い、橋台が河心方向に変位し、橋台部のゴム支承に橋軸方向の変形が残留した。また、ジョイント部の遊間がなくなり、これによりパラペット天端が背面側に押されることにより、パラペット基部にひびわれが生じたと考えられる。

P1橋脚上のみで対傾構が座屈したが、これは橋軸直角方向の地震力によるものと考えられる。なお、P2橋脚部も同様の条件であるが、P2橋脚では同様の損傷は生じていない。

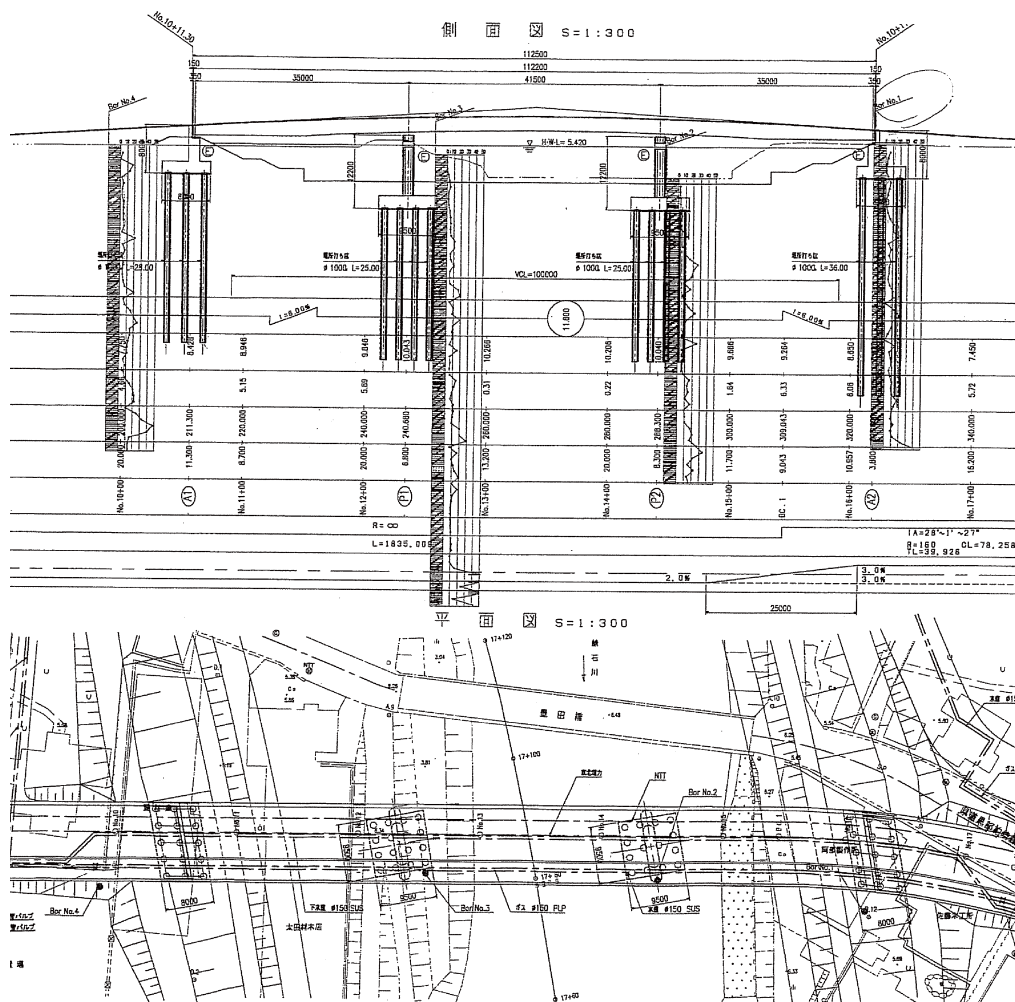


図-7.7 なごみ橋一般図

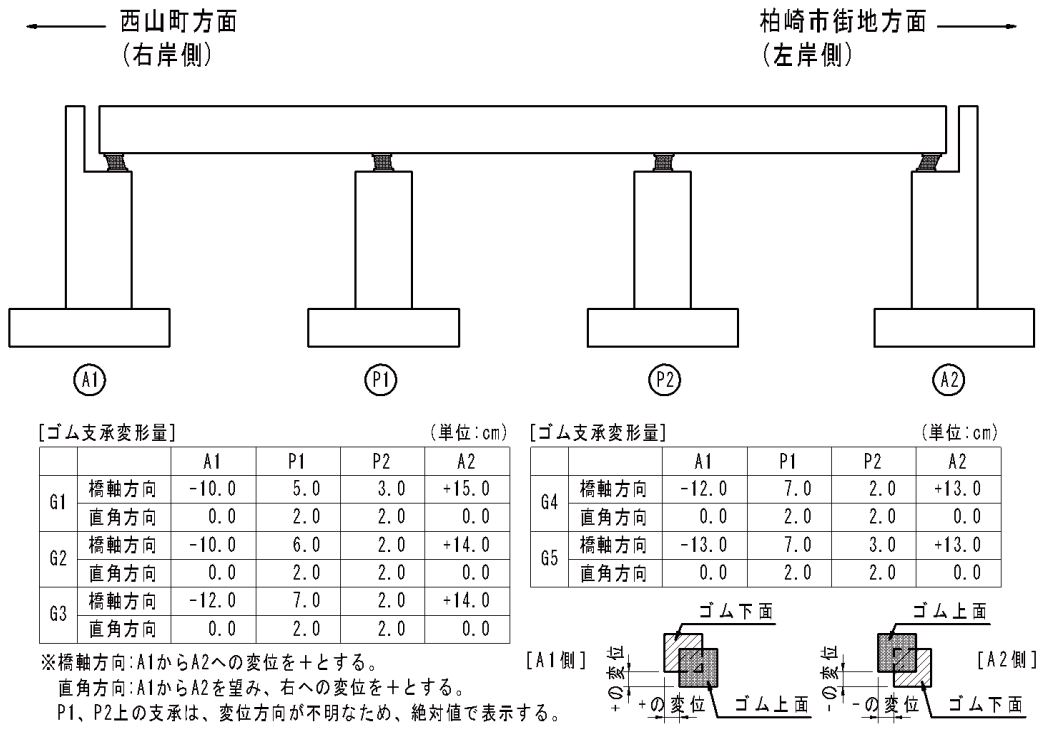


図-7.8 なごみ橋のゴム支承の変形量（北陸地方整備局による現地計測の結果）

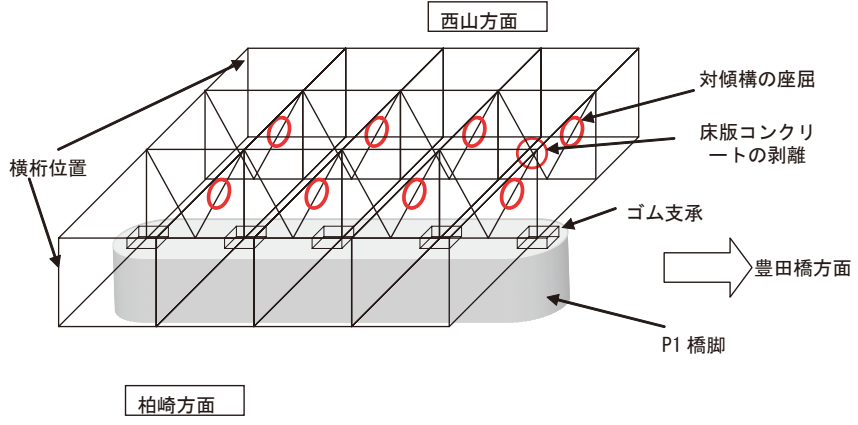


図-7.9 P1橋脚上の損傷詳細図（対傾構以外の横構等は省略した図）



写真-7.23 支承の残留変位と橋台
パラペット基部のひびわれ

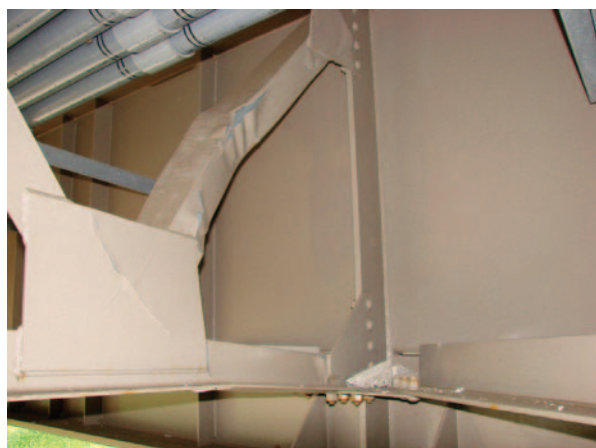


写真-7.24 P1橋脚対傾構の座屈



写真-7.25 床版コンクリートの剥離



写真-7.26 背面土沈下による段差の補修

(3) 上原一の橋・二の橋

上原一の橋は、2005年に竣工した鯖石川を渡河する市道柏崎11・5号線の橋である。上部構造は3径間連続非合成鈹桁、下部構造は逆T式橋台、RC橋脚で鋼管杭により支持されており、支承はゴム支承である。上原二の橋は、2005年に竣工した別山川を渡河する市道柏崎11・5号線の橋梁である。上部構造は2径間連続非合成鈹桁、下部構造は逆T式橋台、RC橋脚で鋼管杭により支持されており、支承はゴム支承である。

損傷状況は前述の豊田橋、なごみ橋と同様に①ゴム支承の残留変形、②パラペット基部のひびわれ、③橋台背面盛土の沈下による傾斜（踏掛版あり）であった。

(4) 平成大橋

平成大橋は市道柏崎11-130号線に位置し2000年3月に竣工した橋（写真-7.27）であり、上部構造は2径間連続コンクリート箱桁、橋脚は小判型RC橋脚である。隣接する鯖石川改修記念公園の公園駐車場においては、液状化によるものとみられる路面のうねりが発生していた（写真-7.28）。



写真-7.27 平成大橋



写真-7.28 隣接する公園駐車場の液状化による路面のうねり

地震による平成大橋の被害状況は図-7.10に示すとおりである。橋台には、たて壁前面にひび割れが生じるとともに（写真-7.29）、周辺地盤の沈下により橋台背面土に傾斜が生じた（写真-7.30）。その他に、高欄の座屈変形（写真-7.31）、親柱の損傷（写真-7.32）などの被害が生じた。

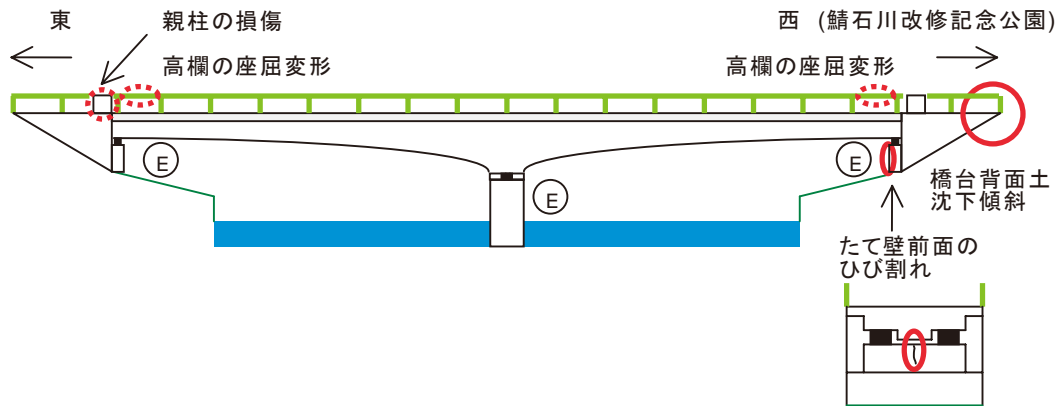


図-7.10 平成大橋の被災概要



写真-7.29 たて壁前面のひびわれ



写真-7.30 橋台背面土の沈下



写真-7.31 高欄の座屈



写真-7.32 親柱の損傷

(5) 平成橋

平成橋は市道柏崎11-130号線に位置し、鯖石川改修記念公園の北側で鯖石川の旧河川を渡河する2002年竣工の単純橋である。上部構造はPC桁、支承はパッド支承と推察される。橋梁自体には損傷がみられず、地震により橋台の背面土に沈下が生じたが傾斜は緩やかで、路面に段差は生じていなかった。

7.2.6 橋台背面の段差

(1) 比角跨線橋

比角跨線橋は1963年に竣工したJR信越本線を跨ぐ国道8号の橋である。上部構造は鋼単純橋（リベット橋）で、橋長は16mである。両端橋台の逆T式橋台で杭基礎により支持されており、支承はBP支承である。橋台部はボックスとなっており、通路となっている。また、橋台裏込め土には軽量盛土が用いられている。なお、本橋に隣接して、道路を横断するように、ボックスカルバートが設けられている。

図-7.11に被災の概要を示す。支承部には移動した形跡が有り、沓座モルタルのわれが生じた（写真-7.33）。また、橋台背面土（写真-7.34）及びボックスカルバート背面土（写真-7.35）の沈下により、交通規制が行われたが、アスファルト敷設等により当日中に応急復旧は完了し通行止めは解除されていた。

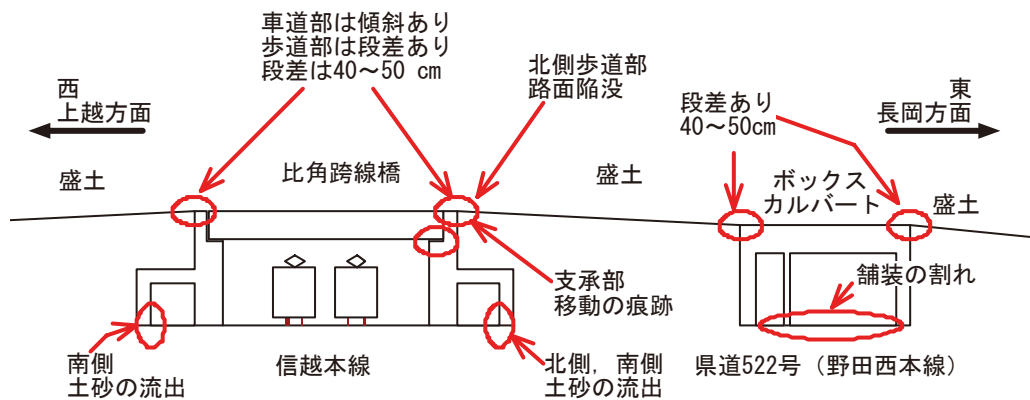


図-7.11 比角跨線橋の被災概要



写真-7.33 沓座モルタルの破損



写真-7.34 跨線橋橋台背面土の沈下



写真-7.35 ボックスカルバート背面土の沈下（北陸地方整備局ホームページより引用）

(2) 水神橋

水神橋は国道116号の鋼単純橋で、橋長は18mである。両端橋台の逆T式橋台で杭基礎により支持されており、支承はBP支承である。支承部には移動した痕跡（写真-7.36）があり、橋台背面土の沈下により段差が生じていたが、アスファルト敷設等により補修されていた（写真-7.37）。



写真-7.36 支承部の振動の痕跡



写真-7.37 橋台背面土の沈下（補修後）

(3) 藤掛川橋

藤掛川橋は1981年に竣工した国道116号の橋である。上部構造は単純PC橋で、橋長は16mである。両端橋台の逆T式橋台で杭基礎により支持されており、支承はBP支承である。橋台背面土の沈下により段差が生じており、交通規制が行われたが、アスファルト敷設等により当日中に応急復旧は完了し通行止めは解除されていた。

(4) 和田橋

和田橋は1978年に竣工した国道116号の橋である。上部構造は単純PC橋で、橋長は21mである。両端橋台の逆T式橋台で杭基礎により支持されており、支承はゴムパッド沓である。なお、本橋に隣接して、道路横断方向にボックスカルバートが設置されている。橋台背面土の沈下により段差が生じており（写真-7.38）、上り（柏崎方面）は交通規制が行

われたが、アスファルト敷設等により当日中に応急復旧は完了し通行止めは解除されていた。

(5) 田沢川橋

田沢川橋は1981年に竣工した国道116号の橋である。上部構造は単純PC橋で、橋長は15mである。両端橋台の逆T式橋台で杭基礎により支持されている。橋台背面土の沈下により50cmの段差が生じており（写真-7.39）、交通規制が行われたが、アスファルト敷設等により当日中に応急復旧は完了し通行止めは解除されていた。

(6) 藤掛川橋近傍の跨道橋

本橋は藤掛川橋北側に位置する国道116号を跨ぐ橋である。上部構造は鋼桁単純橋で、支承はBP支承である。地震時の振動により固定支承の固定用の爪が破断した（写真-7.40）。また、橋台背面土の沈下により60cm程度の段差が生じていた（写真-7.41）。



写真-7.38 和田橋の橋台背面土の沈下
(北陸地方整備局のホームページより引用)



写真-7.39 田沢川橋台背面土の沈下



写真-7.40 固定支承の損傷



写真-7.41 橋台背面土の沈下

7.2.7 橋台背面土の沈下による段差と踏掛版の関係

表-7.2は今回調査した北陸自動車道の鉢崎橋以外の21橋梁について橋台背面土の沈下による段差被害と踏掛版の有無について整理したものである。ここで、橋梁台帳から踏掛版

の有無を確認できた橋についてはその情報を、橋梁台帳等で確認できなかった橋については、竣工年次が古い橋の場合は踏掛版無し、新しい橋で適用示方書が平成8年以降の場合は踏掛版が設置されているものとして整理した。

これを段差の有無・踏掛版の有無によって整理し直した結果が表-7.3 である。これによれば、21 橋梁中、踏掛版が設置されていない橋梁が 13 橋、設置されていると推定される橋は 8 橋となる。通行規制を伴う沈下があった橋は全て踏掛版が無く、踏掛版があった橋では傾斜のすりつけのため補修された橋もあったが、橋台背面土が沈下しても段差となりにくかったことがわかる。今回の調査結果をまとめると以下の通りとなる。

(1)踏掛版のない場合は垂直状の段差になる可能性あり、段差量が大きくなると通行止め・段差補修が必要とされることが考えられる。

(2)踏掛版がある場合には、隣接部の盛土に沈下が生じた場合でも傾斜となり、急激な段差とはなりにくいため、通行止めまでには至っていない傾向となっている。なお、傾斜の場合は、徐行通行は可能と考えられるが、傾斜がある程度以上に大きくなると自動車の腹部の接触への影響や、通行速度への影響が出てくることが考えられる。

したがって、本調査結果によれば、踏掛版があると垂直の段差が生じにくい傾向が確認された。なお、本整理では、踏掛版の有無についての推定も含んでおり、再度のデータの精査が必要とされることに注意する必要がある。

表-7.2 調査対象橋梁の踏掛版の有無と被害

番号	路線	橋梁名	竣工年	長岡国道事務所による情報		橋台の状況 踏掛版の有無	備考
				地震後の通行規制	規制原因等		
1	国道8号線	胞姫(おほひ)橋	1974年	通行止め	段差30cm	無し	段差補修あり
2	"	上輪(ウヅリ)橋	1965年	通行止め	段差5cm	無し	段差補修あり
3	"	米山(こむら)大橋	1967年		段差あり	無し	段差補修あり
4	"	比角(ひかく)跨線橋	1963年	通行止め(ボックスカルバート境界部の沈下)、橋台部は小	カルバート部：段差50m 橋台部は沈下・傾斜あり	無し(なお、中越地震で被災して撤去したとのこと) 隣接のボックスカルバートはなし	橋台部は傾斜・補修なし カルバート部は段差補修あり
5	"	柏崎(かしらぎ)高架橋	2002年		変状なし(若干の沈下・傾斜の可能性)	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	
6	"	豊田(トヨタ)橋	2004年		橋台部：沈下・傾斜あり カルバート部：段差あり	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	段差補修あり
7	国道116号線	荒谷(アライ)高架橋OFFランプ	1984年	通行止め	段差1m 橋台部の段差あり(小)	無し	本線橋台部で段差補修あり
8	"	水神(ミヅノ)橋	未確認(1980年 始め頃と推定)		段差補修あり	無し	段差補修あり
9	"	藤掛川(フヅカガリ)橋	1981年	通行止め	段差20cm	無し	段差補修あり
10	"	田沢川(タザカガリ)橋	1981年	通行止め	段差60cm	無し	段差補修あり
11	"	和田(ワタ)橋	1978年	通行止め(上り柏崎方面)	段差40cm	無し	段差補修あり
12	国道352号線	石地(イシジ)橋	未確認(古い)	通行止め	段差あり	無しと推定	段差補修あり
13	"	安政橋	工事中		迂回仮設橋で段差あり	無しと推定	段差補修あり
14	一般県道黒部柏崎線	なごみ橋	2005年	通行止め	沈下・傾斜あり	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	段差というよりは傾斜、一方のみの橋台部の踏掛板端部ですりつけ補修あり
15	主要地方道柏崎高浜堀之内線	栄橋	1964年6月	通行止め	段差あり	無しと推定	段差補修あり
16	主要地方道長岡西山線	別山(べつやま)大橋	2004年9月		変状なし	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	
17	市道11-53号線	上原(カミハラ)一の橋	2005年3月		沈下・傾斜あり	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	
18	"	上原(カミハラ)二の橋	2005年3月		沈下・傾斜あり	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	
19	市道柏崎11-130号線	平成大橋	2000年3月		沈下・傾斜あり	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	
20	"	平成橋	2002年2月		沈下・傾斜あり	有り(要確認、HS道示以降のためありと推定)	
21	市道	藤掛川橋北側の国道116号を跨ぐ橋	未確認(古い)	通行止め	段差50cm	無しと推定	段差応急復旧(碎石のみ)あり

注1) 段差：鉛直に近い急激な段差(段差量が10cm程度を超えると通行は困難と推定)

表-7.3 踏掛版の設置と段差被害の関係

1) 踏掛版が無く沈下が生じた橋・段差補修がなされた橋	12	13
2) 踏掛版が無く影響のある沈下が生じていない橋・段差補修がなされていない橋	1	
3) 踏掛版があり段差補修がなされた橋 (但し、橋台背面ではなく踏掛版先端部での傾斜のすりつけのための補修)	2	8
4) 踏掛版があり影響のある沈下が生じていない橋・段差補修がなされていない橋	6	

7.3 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。段差が生じた箇所では、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、橋台に残留変位が生じた橋が見られた。豊田橋、なごみ橋等のゴム支承が用いられた橋梁では、ゴム支承にも残留変形が生じた。

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。なお、耐震補強の具体的な効果に関しては、今後詳細な検討が必要と考えられる。

8. 道路土工・斜面

8.1 概要

今回の地震により、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。表-8.1.1、表-8.1.2 に直轄国道、県管理道路（補助国道・県道）の被災箇所一覧を示す。

道路土工・斜面の被害では、道路上方斜面の表層崩壊、地すべり、岩盤崩壊、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、橋梁取付部やカルバート上部での横断亀裂・段差、盛土のり面崩落等が発生した。特に、国道 8 号長岡市大積地区では、国道 8 号に沿った緩斜面で地すべりが発生し、道路路面は路肩とともに斜面方向に約 17m 崩落した。当該国道は激甚な地震災害を被った柏崎市周辺への緊急及び復旧のための車両ばかりでなく、広域ネットワーク上、最も重要な幹線であり、一刻も早い交通確保が求められていた。また国道 352 号柏崎市椎谷～大崎地区（新潟県所管）では大規模な斜面崩壊が多数発生し、通行が不能となった。

土木研究所は北陸地方整備局および新潟県の要請により、発災翌日 7 月 17 日に国道 8 号大積地区および国道 352 号大崎地区の復旧対策のため現地調査し、前者に対しては応急復旧工事の方針に対する技術的な助言と、後者に対しては調査手法と対策工法に関する指導を行った。

大積地区におけるボーリング調査などが終了した7月19日に再度現地調査し、地すべり機構を確認し、排土による斜面の安定計画と対策工法に対する技術的な助言を行った。その後、長岡国道事務所による24時間体制により排土及び路面形成の応急復旧工事が行われ、1週間後の23日午前9時には開通した。また、大崎地区は調査結果に基づき抜本的な復旧対策計画が策定され、後日、復旧対策計画に対し技術的な助言を行なった。

また、大積地区の地すべり機構は重点研究「地震時における地すべり土塊の再滑動に関する研究」で検討している典型的な事例であり、自主研究としてレーザープロファイラー計測を実施し、地形解析による地震時に再滑動する地すべり土塊の要因の解明を行っている。

また、7 月 19 日～20 日に、直轄国道の道路盛土の被災状況を把握するため、国道 8 号(長岡市～柏崎市)及び国道 116 号(燕市～柏崎市)の盛土区間について自主調査を実施した。

さらに、7 月 19 日～21 日に、道路斜面災害の状況および既設対策工の効果の確認を目的に、国道 8 号（長岡市～上越市）、国道 352 号（観音岬周辺）の道路斜面について自主調査を実施した。

ここでは、道路土工・斜面の代表的な被害状況について報告する。

表-8.1.1 直轄国道の被災箇所及び交通規制状況一覧（北陸地方整備局より 平成19年8月29日現在）

箇所番号	路線名	場所・区間	交通規制状況			被害状況等
			日	時刻	規制内容	
1	8	長岡市大積千本町地先	7/16	10:13	全面通行止め	斜面崩落
			7/23	9:00	規制解除	
2	8	刈羽郡刈羽村大字赤田北方字滝ノ平～字早道場				赤田大橋損傷、橋台前陥没
3	8	柏崎市大字曾地新田字北田				舗装段差・亀裂、歩道陥没 ブロック積損傷
4	8	柏崎市大字長崎新田字川東				新田橋支承損傷、伸縮装置損傷
5	8	柏崎市大字土合字割～大字土合字前田				舗装段差、舗装亀裂、歩道陥没 排水構造物損傷、擁壁変状 路側防護柵変状
6	8	柏崎市山本～豊田	7/16	10:13	全面通行止め	豊田橋損傷、舗装沈下・亀裂 擁壁変状
			7/17	0:50	規制解除	
7	8	柏崎市北半田一丁目～岩上	7/16	10:13	全面通行止め	歩車道沈下、擁壁変状 横断BOX変状
			7/16	19:58	規制解除	
8	8	柏崎市大字地蔵ヶ沢～大字鯨波字東ノ輪				路肩部崩壊
9	8	柏崎市大字鯨波字鴨～字馬場	7/16	10:13	片側交互通行	路肩・歩道崩壊、車道亀裂
			7/17	5:40	規制解除	
10	8	柏崎市大字青海川字向田				米山大橋 橋梁支承損傷、橋梁伸縮装置損傷 橋詰法面崩落、舗装の空洞化
11	8	柏崎市大字上輪新田字下中道～大字上輪字宮ノ平	7/16	10:13	片側交互通行	舗装段差、ガセットプレート座屈 伸縮装置異常、支承損傷
			7/16	20:40	規制解除	
12	8	柏崎市米山町字名号沢				歩道沈下、法面変状
13	8BP	柏崎市茨目一丁目字西田～半田三丁目字捨枚				柏崎高架橋、支承サイドブロック 変形、中間対傾構座屈、擁壁開き
14	8	上越市柿崎区柿崎	7/17	12:00	片側交互通行	歩道段差、車道亀裂、車道沈下
			7/19	21:00	規制解除	
15	8	上越市長浜	7/16	10:43	全面通行止め	法面崩壊
			7/17	20:30	片側交互通行	
16	116	刈羽郡刈羽村大字正明寺字南向～字北向				舗装段差、支承損傷 伸縮装置損傷、ブロック積開口
17	116	刈羽郡刈羽村大字下高町				舗装段差
18	116	柏崎市西山町坂田字膝付	7/16	10:30	全面通行止め	舗装亀裂、陥没、歩道陥没
			7/17	6:06	片側交互通行	
			7/17	14:45	規制解除	
19	116	柏崎市西山町藤掛字前田	7/16	10:13	全面通行止め	舗装亀裂、陥没、歩道陥没
			7/17	7:25	規制解除	
20	116	柏崎市西山町田沢字三十刈～西山町田沢字ソリ町	7/16	10:13	全面通行止め	舗装亀裂、段差、歩道陥没
			7/17	7:25	片側交互通行	
21	116	柏崎市西山町田沢字谷池	7/16	10:13	全面通行止め	舗装亀裂、段差 歩道陥没、法面崩壊
			7/17	7:25	片側交互通行	
			7/17	18:30	規制解除	
22	116	柏崎市西山町尾野内字向山～西山町尾野内字観音堂	7/16	10:13	全面通行止め	舗装亀裂、段差、歩道陥没
			7/17	7:25	規制解除	
23	116	柏崎市西山町上山田字向山～別山字塚ヶ崎	7/16	10:13	全面通行止め	舗装段差、舗装亀裂、擁壁破損 法面変状、路側防護柵変状
			7/17	7:25	本線規制解除	
			7/17	21:00	下りオフランプ 規制解除	
24	116	柏崎市西山町別山字尾頃部～字清水尻	7/16	10:13	片側交互通行	舗装段差、舗装亀裂、舗装沈下 路側防護柵変状、横断BOX変状
			7/17	20:00	規制解除	

表-8.1.2 県管理道路の被災箇所及び交通規制状況一覧（北陸地方整備局より 平成19年8月10日現在）

路線名	場所・区間	交通規制状況			被害状況等
		日	時刻	規制内容	
国道402号	西蒲区 白石TN新潟側坑口付近	7/16	17:00	通行可	
国道352号	柏崎市椎谷～大崎	7/16	17:00	通行止め	崩壊
国道352号	柏崎市石地	7/16	21:00	通行止め	路面陥没
		7/17	8:00	通行可	
国道352号	刈羽村刈羽	7/19	8:30	通行止め	擁壁倒壊の恐れ
		7/22	15:00	通行可	
国道352号	柏崎市大湊	7/19	17:00	通行止め	路面陥没
		8/10	17:00	通行可	
(主) 柿崎小国線	柏崎市小村峠	7/16	17:00	通行止め	土砂崩れ
		7/19	17:00	通行可	
(一) 黒部柏崎線	柏崎市原町（なごみ橋）	7/16	17:00	通行止め	路面陥没
		7/17	8:00	通行可	
(一) 黒部柏崎線	柏崎市番神	7/17	13:00	通行止め	路面陥没
		7/26	16:00	通行可	
(一) 黒部柏崎線	柏崎市長崎～山本	7/17	13:00	通行止め	土砂崩れ
		7/22	15:00	通行可(大型車は不可)	
(主) 燕分水線	燕市中島	7/16	17:00	通行止め	路面亀裂
		7/17	8:00	通行可	
(主) 上越安塚柏崎線	上越市北本町	7/16	17:00	通行止め	障害物のため 踏切内電車停車
		7/16	21:00	通行可	
(一) 原之町上下浜停車場線	上越市大潟区長峰	7/16	17:00	応急復旧完了	路面陥没
		7/17	8:00	通行可	
(主) 小千谷大沢線	柏崎市大沢	7/16	17:00	通行止め	土砂崩れ
(主) 上越安塚柏崎線	柏崎市阿相島	7/16	17:00	通行止め	土砂崩れ
		7/19	17:00	通行可	
(一) 三条下田線	三条市一の門	7/16	21:00	通行止め	事前通行規制
		7/17	20:30	通行可	
(主) 鯨波宮川線	刈羽村赤田町方	7/16	21:00	通行止め	路面陥没
		7/17	17:00	通行可	
(一) 刈羽停車場線	刈羽村刈羽	7/16	21:00	通行止め	路面陥没
		7/17	8:00	通行可	
(一) 東柏崎停車場線	柏崎市東本町	7/16	21:00	通行止め	家屋倒壊
		8/15	17:00	通行可	
(一) 荒浜中田線	柏崎市荒浜～刈羽村正明寺	7/16	21:00	通行止め	路面陥没
		7/22	15:00	通行可	
(一) 荒浜中田線	柏崎市長崎	7/16	21:00	通行止め	路面陥没
		7/26	16:00	通行可	
(一) 礼拝長岡線	柏崎市西山町妙法寺～ 刈羽村油田	7/16	21:00	通行止め	路面陥没
		7/22	15:00	通行可	
(一) 野田高柳線	柏崎市高柳町白倉	7/16	21:00	通行止め	土砂崩れ
		7/26	16:00	通行可	
(一) 東長鳥五十土線	柏崎市成沢	7/16	21:00	通行止め	路面亀裂
		7/17	20:30	通行可	
(主) 鯨波宮川線	柏崎市吉井	7/17	8:00	通行止め	路面陥没
		7/17	17:00	通行可	
(主) 柏崎高浜堀之内線	柏崎市西山町西山（栄橋）	7/17	8:00	通行止め	路面陥没
		7/17	13:00	通行可	
(一) 礼拝長岡線	柏崎市西山町二田 ～西山町坂田	7/17	8:00	通行止め	土砂崩れ
		7/24	16:00	通行可	
(一) 礼拝長岡線	柏崎市西山町和田 ～西山町内方	7/20	8:30	通行止め	擁壁倒壊の恐れ
		8/10	17:00	通行可	
(主) 柏崎高浜堀之内線	刈羽村滝谷新田	7/17	20:30	通行止め	土砂崩れ
		7/21	15:00	通行可	
(主) 鯨波宮川線	刈羽村赤田町方	7/17	20:30	通行止め	家屋倒壊の恐れ による事前通行
		7/23	9:00	通行可	
(主) 大潟高柳線	柏崎市高柳町高尾	7/18	5:00	通行止め	土砂崩れ
		7/24	16:00	通行可	

8.2 道路土工の被害

8.2.1 概要

土木研究所では、地震発生後2日後の7月19日～20日に、直轄国道の道路盛土の被災状況を把握するため、国道8号(長岡市～柏崎市)及び国道116号(燕市～柏崎市)の盛土区間について自主調査を実施した。調査は、新潟県中越沖地震による道路盛土の被害の有無とその状況について調査し、道路盛土の被害の特徴を整理した上で、今後の道路盛土の耐震設計法及び耐震対策法の向上に資することを目的に実施した。

調査対象は、国道8号(長岡市～柏崎市)、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とした。また、上記の道路盛土以外に、また、県道、市町村道についても道路盛土の特徴的な被害がみられた箇所について調査を行った。なお、今回の調査においては橋梁への取付盛土の被害は対象としていない。表-8.2.1、図-8.2.1に調査箇所を示す。

表-8.2.1 道路土工調査の調査対象

No.	路線	箇所	盛土形式	盛土高 H(m)×延長 L(m) ※概略
1	国道 8 号	柏崎市曾地地先	片切片盛土	H=15m L=60m
2		柏崎市曾地地先	沢埋め盛土	H=25m L=60m
3		柏崎市曾地地先	片切片盛土	H=20m L=180m
4		柏崎市曾地地先	平地盛土	H=5m L=30m
5		柏崎市鯨波地先	片盛土	H=10m L=120m
6	国道 116 号	三島郡出雲崎町乙茂地先	沢埋め盛土	H=5m L=120m
7		三島郡出雲崎町乙茂地先	片盛土	H=15m L=340m
8		長岡市村田地先	片切片盛土 +平地盛土	H=10m L=360m
9		長岡市島崎地先	片盛土	H=10m L=300m
10		長岡市島崎地先	沢埋め盛土	H=10m L=140m
11		長岡市島崎地先	沢埋め盛土	H=10m L=80m
12		長岡市島崎地先	沢埋め盛土	H=10m L=70m
13		長岡市島崎地先	沢埋め盛土	H=15m L=280m
14		長岡市寺町有信地先	片盛土	H=15m L=490m
15	国道 8 号	長岡市大積千本町地先	片切片盛土	※高さ 10m 程度の切土区間
16	国道 8 号取付道路	柏崎市笠島地先	片切片盛土	H=20m L=10m
17	県道 73 号	柏崎市堀地先	平地盛土	H=2m L=300m
18	県道 23 号	長岡市大積町地先	片盛土	H=5m L=100m

- ①国道 8号 82.1kp 柏崎市曾地地先
 - ②国道 8号 83.0kp 柏崎市曾地地先
 - ③国道 8号 83.3kp 柏崎市曾地地先
 - ④国道 8号 83.9kp 柏崎市曾地地先
 - ⑤国道 8号 36.9kp 柏崎市鯨波地先
 - ⑥国道 116号 22.5kp 三島郡出雲崎町乙茂地先
 - ⑦国道 116号 22.8kp 三島郡出雲崎町乙茂地先
 - ⑧国道 116号 23.3kp 長岡市村田地先
 - ⑨国道 116号 26.0kp 長岡市島崎地先
 - ⑩国道 116号 26.3kp 長岡市島崎地先
 - ⑪国道 116号 26.6kp 長岡市島崎地先
 - ⑫国道 116号 26.8kp 長岡市島崎地先
 - ⑬国道 116号 27.2kp 長岡市島崎地先
 - ⑭国道 116号 30.3kp 三島郡寺泊有信地先
-
- ⑮国道 8号 74.7kp 長岡市大積千本町地先
 - ⑯国道 8号 取付道路 (R8:102.3kp) 柏崎市笠島地先
 - ⑰県道 73号 柏崎市堀地先
 - ⑱県道 23号 長岡市大積町地先



図-8.2.1 調査箇所位置図

8.2.2 道路盛土の被災状況

ここでは、調査を実施した国道 8号、国道 116号、県道、及び市町村道の主な盛土の被災状況について報告する。

(1) 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。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。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。

応急復旧では、本線を右折レーンにシフトさせて暫定2車線を確保した。本復旧では、すべり影響範囲の盛土材を排除した後、盛土内の排水性を高めるために、底面排水層、盛土内に水平排水層をもうけて、盛土の再構築が行われる予定である。



(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



写真-8.2.1 被災状況（国道8号 柏崎市鯨波地先）

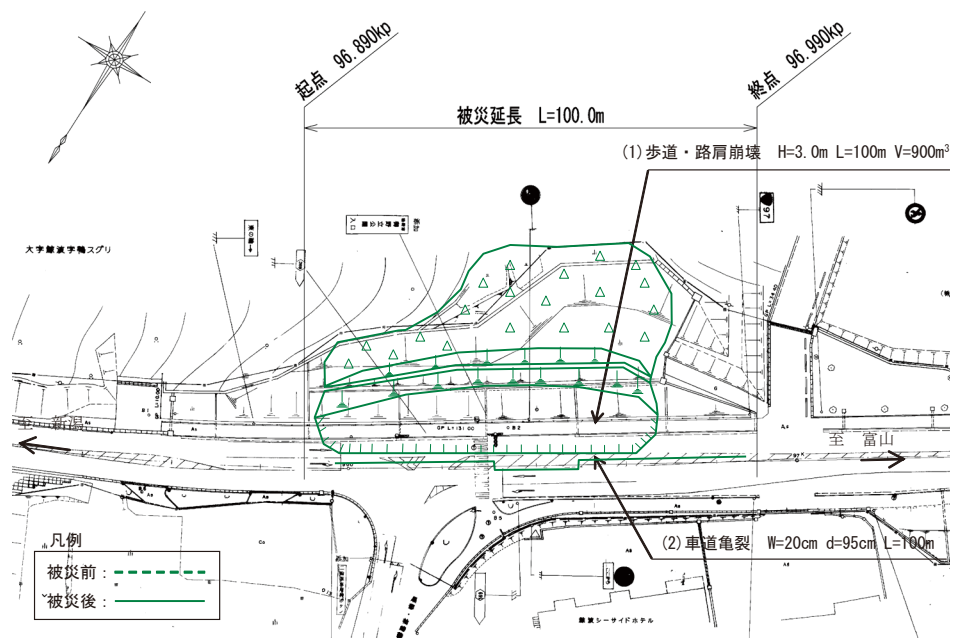


図-8.2.2 被災箇所平面図（国道8号 柏崎市鯨波地先）

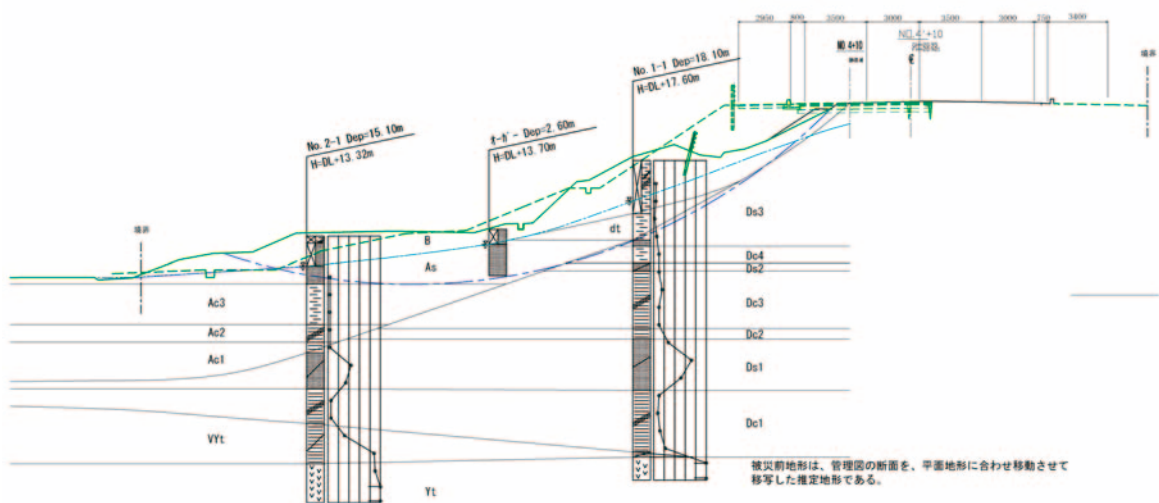
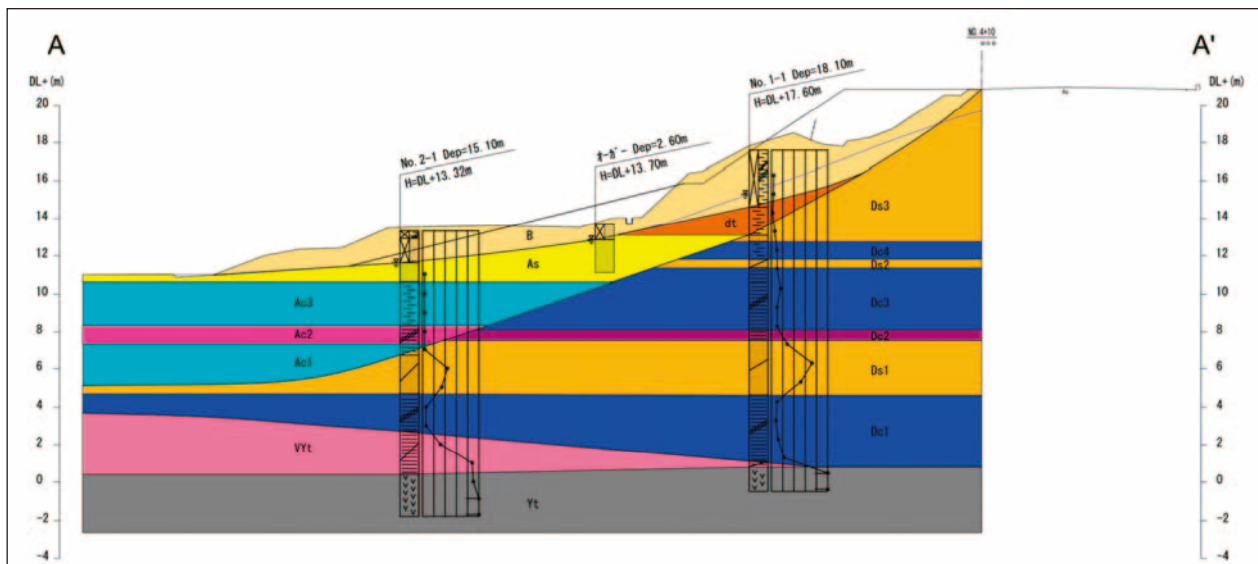


図-8.2.3 被災箇所主断面図（国道8号 柏崎市鯨波地先）



凡 例

地質時代	地層名	主な地質	記号	
現世	盛土	粘性土・砂質土	B	
	崖堆積物	粘性土	dt	
第四紀	完新世	完新統	砂質土	As
		粘性土	Ac3	
		粘性土	Ac2	
		粘性土	Ac1	
		砂質土	Ds3	
	更新世	更新統	粘性土	Dc4
			砂質土	Ds2
			粘性土	Dc3
			粘性土	Dc2
			砂質土	Ds1
粘性土	Dc1			
新第三紀	鮮新世	火山砕屑物	VYt	
	米山層	安山岩	Yt	

縮尺 1 : 400

図-8.2.4 被災箇所断面図（国道8号 柏崎市鯨波地先）

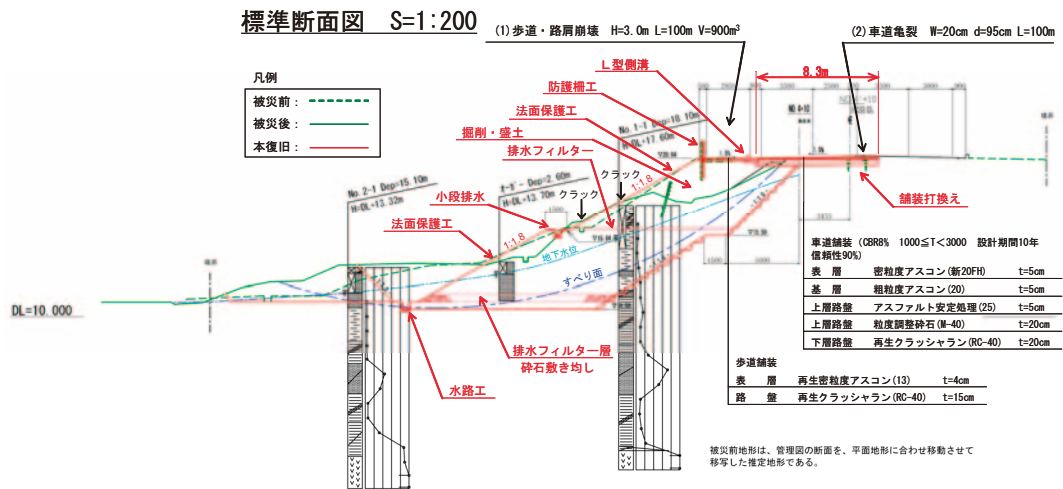


図-8.2.5 復旧断面図 (国道8号 柏崎市鯨波地先)

(2) 国道 116 号 長岡市村田 23.3kp (路面亀裂)

道路延長 360m 程度、最大盛土高 10m 程度の片切片盛土及び両盛土において、切盛境及び横断カルバート上部に横断方向のクラックが生じた。ただし、同クラックは今回新たに発生したものではなく、常時の沈下により生じたクラックの補修跡が再び開いたと考えられる。

常時から盛土部の沈下によりカルバート周辺や切盛境に変状が生じており、地震により変形が助長されたものと考えられる。



(a) 切盛境の横断クラック



(b) カルバート箇所の上の横断クラック



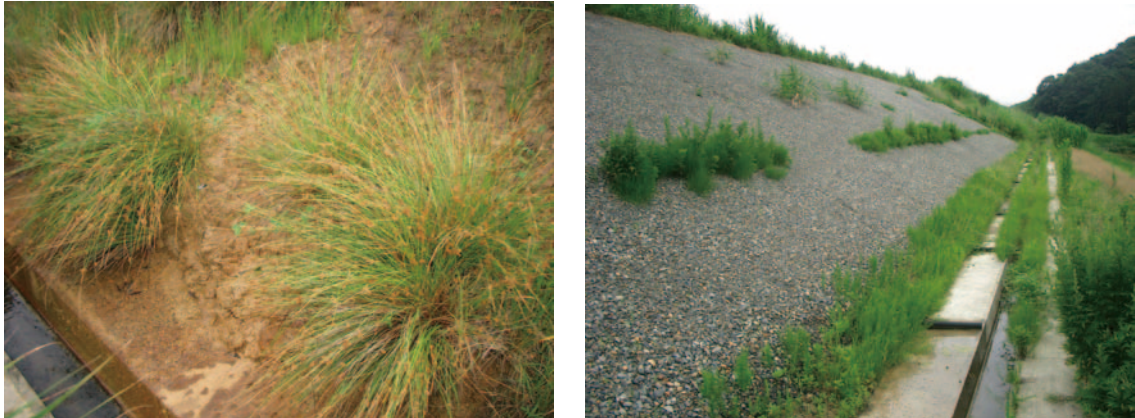
(c) カルバートと擁壁の隙間 (常時での変状跡)

写真-8.2.2 調査箇所状況 (国道 116 号 長岡市村田)

(3) 国道 116 号 長岡市島崎 27.2kp

道路延長 280m 程度、盛土高 15m 程度の沢埋めの両盛土と片切片盛土で、降雨によるのり面の崩壊の補修痕が確認できたが、今回の地震による変状が特に見られなかった事例である。

当地は、柏崎市方面から燕市方向の水田方向への緩い沢地形であり、上流側のり先には背の高い草木が繁茂していた。両側ののり面において湿潤している箇所が見られた。特に下流側ののり面からの湧水が多く、湧水によるのり面の浸食を碎石と排水パイプにより補修している箇所が見られた。



(a) 盛土のり面の降雨による変状痕（左：のり面の変状、右：補修跡）



(b) 路面状況（柏崎市方面）

写真-8.2.3 調査箇所の状況（国道 116 号 長岡市島崎）

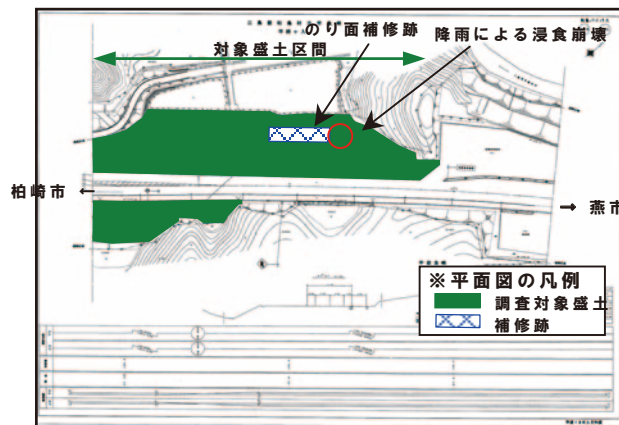


図-8.2.7 調査箇所平面図（国道 116 号 長岡市島崎）

(4) 県道73号 柏崎市堀（路面沈下）

盛土高2m程度の平地部の低盛土において、2車線中1車線及び歩道が数10mにわたり、路面が規則的な波状に変形した事例である。車道脇の側溝は20cm程度沈下していた。また車道脇の平地では、下水道管路の埋戻し部の液状化によると考えられる地表面の沈下が見られた。道路周辺は水田となっており、当地は沈下対策として地盤改良がなされたとの報告もある。

路面の変状は、基礎地盤の液状化によって路面、歩道および側溝が沈下したことにより生じたものと考えられる。調査時点では、路面は舗装打ち換えによる応急復旧がなされていた。



(a) 側溝の沈下



(b) 歩道の変状状況



(c) 車道脇の平地部

写真-8.2.4 調査箇所状況（県道73号 柏崎市堀）

(5) 国道8号沿い市道 柏崎市笠島（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。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。



(a) 路面崩落状況



(b) 盛土のり面変状状況

写真-8.2.5 調査箇所状況

8.2.4 道路土工の被害のまとめ

直轄国道の道路盛土の被災状況を把握するため、国道8号（長岡市～柏崎市）及び国道116号（燕市～柏崎市）について、盛土高10m程度以上の比較的大きな盛土区間を抽出し、合計14箇所について現地踏査を実施した。また、道路盛土の特徴的な被害が報告されていた県道、市町村道についても調査を行った。結果をまとめると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（ただし、今回の調査においては橋梁への取付盛土の被害は対象としていない）。
- ③現地調査を行なった14箇所の盛土のうち8箇所で何等かの被害が認められ、6箇所では何等変状は認められなかった。盛土の形状と被害箇所数を整理すると以下の通りである。
- ・片切片盛土の被害3箇所（縦横断亀裂）
 - ・片盛土の被害2箇所（のり肩の液状化に伴うのり肩の陥没1箇所を含む）
 - ・沢埋め盛土の被害2箇所（縦横断亀裂）
 - ・平地盛土の被害1箇所（縦横断亀裂）
- ④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。
- ⑤2004年新潟県中越地震に比べて道路盛土の被害が大きくなかった背景には、盛土区間に作用した地震動強度の大きさ、事前降雨による盛土の湿潤状況、等が関与していると推測される。ただし、これらの因果関係を明らかにするためには、地震観測記録や降雨データについて今後の分析が必要である。
- ⑥2007年能登半島地震においては、能登有料道路で沢埋め盛土の流動性崩壊が注目された。今回現地調査を行なった沢埋め盛土では、のり尻付近が湿潤して路面に亀裂が見られた箇所が散見された（上記③参照）が、いずれも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。沢埋め盛土については、流動性崩壊を生じる可能性のある箇所を絞り込むための耐震診断法と効果的な対策工について、引続き詳細な検討が必要である。

8.3 道路斜面の被害

8.3.1 概要

中越沖地震によって発生した規模の大きい斜面災害は主に海岸沿いに集中した(図-8.3.1)。内陸部では国道8号を寸断した長岡市大積地すべりが今回の地震によって発生した大規模な地すべりである。この件に関して地すべり発生後、7月17日に国土交通省の要請により土木研究所雪崩・地すべり研究センターから職員を派遣し、技術指導を行った(写真-8.3.1)。一方、海岸沿いでは、柏崎市観音岬の北部の急斜面で発生した一連の崩壊(大崎崩壊)によって、国道352号の数箇所で大量の土砂堆積がみられた。また、上越市長浜では、2箇所で岩盤崩壊が発生し、国道8号を通行止めにした。この他、通行止めには至らなかったものの、小規模な災害はいくつか発生している。

ここでは、長岡市大積千本町地内で発生した大積地すべりおよび柏崎市大崎の急斜面内で発生した一連の斜面崩壊について、そのメカニズムや2004年中越地震時に発生した地すべりとの比較結果を中心に報告するとともに、上越市長



写真-8.3.1 雪崩・地すべり研究センターによる技術指導

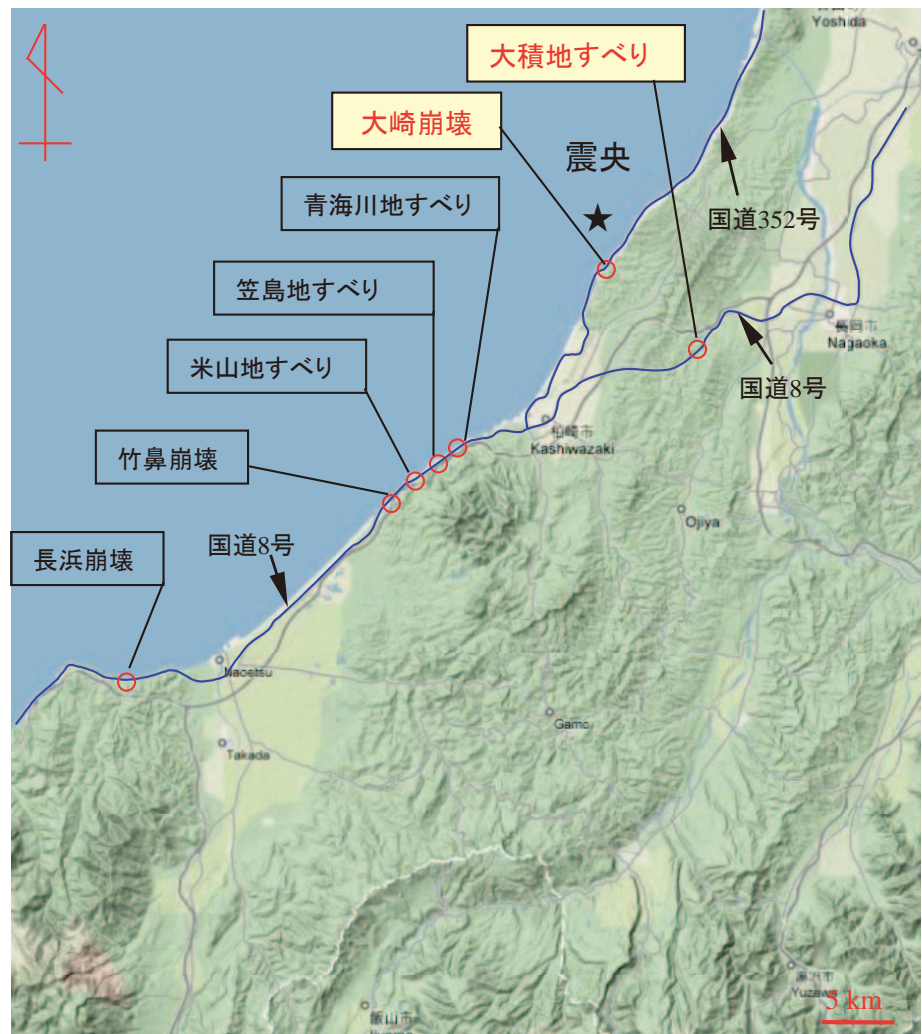


図-8.3.1 中越沖地震によって発生した主な斜面災害

浜で発生した岩盤崩壊、また小規模災害の例として国道8号竹鼻崩壊の概要を報告する。

8.3.2 道路斜面の被害事例

(1) 大積地すべり

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（図-8.3.2）し、中越沖地震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。

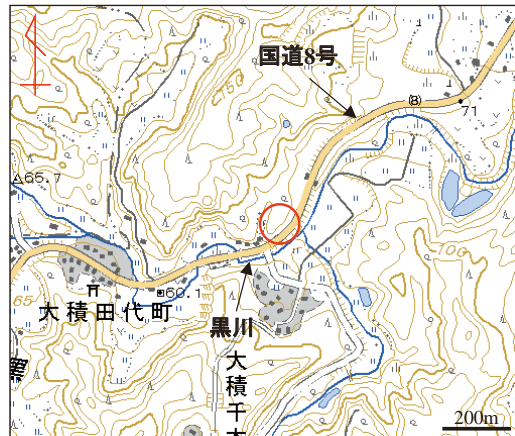


図-8.3.2 大積地すべりの位置
(電子国土より)

1) 被災状況

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、擁壁およ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（写真-8.3.2、8.3.5）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、写真-8.3.3～8.3.8に示した。



写真-8.3.2 被災直後の大積地すべり



写真-8.3.3 東ブロック界



写真-8.3.4 西ブロック界

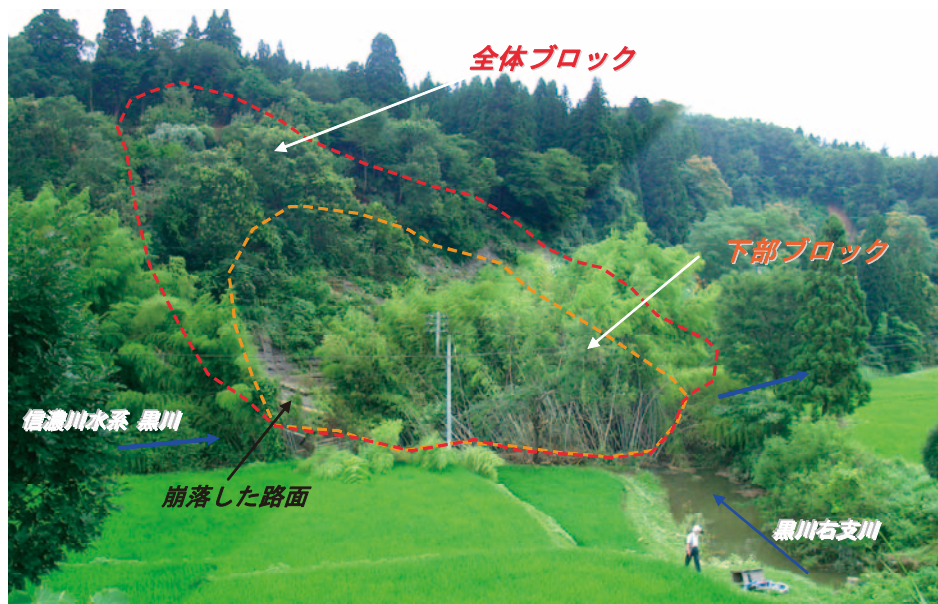


写真-8.3.5 大積地すべりによる河道閉塞状況
(路肩より下部の竹林が滑動した)



写真-8.3.6 黒川の湛水状況



写真-8.3.7 路肩擁壁の変状



写真-8.3.8 大積地すべりの全景：ブロック界と滑動状況

写真に示したとおり、ブロック界付近からブロックの内部にかけて道路が激しく破壊された。また、末端部付近では路肩擁壁が大きく変形した（写真-8.3.7）。

地すべりによるブロック界と滑動状況を写真-8.3.8に示した。なお、地すべり発生前の当地区の空中写真を写真-8.3.9に示した。



写真-8.3.9 地すべり発生前の空中写真（Google より）

2) 斜面周辺の地形・地質

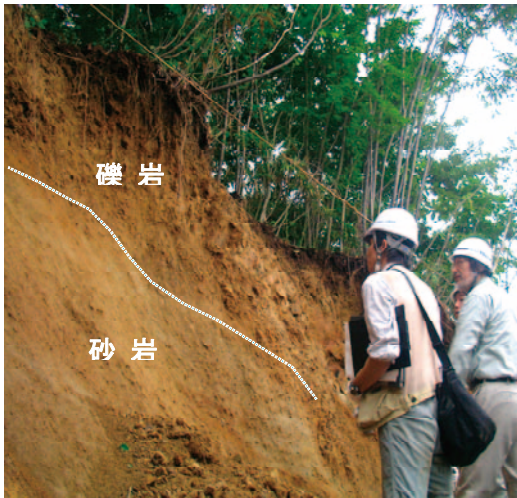


写真-8.3.10 滑落崖の地質状況



写真-8.3.11 地すべり斜面整形後に現れた砂岩・シルト岩の互層



写真-8.3.12 地すべりブロック末端部に観察された未風化シルト岩

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-8.3.5）。

本地域の地質は主に第四紀の灰爪層からなり、その上位には魚沼層が分布する。灰爪層は中越地震で地すべりが多く見られた白岩層に相当し、泥岩優勢の砂岩泥岩互層からなる（写真-8.3.11）。当該箇所周辺の露頭の観察結果を以下のとおりまとめる。

全体および下部ブロック滑落崖：強風化礫岩・砂岩・シルト岩互層（褐色・軟質）、走向・傾斜： $N45E/20^{\circ}S$ （写真-8.3.10）

地すべり末端部：暗灰色を呈す硬質なシルト岩、走向・傾斜： $N10E/5^{\circ}S$ （写真-8.3.12）

道路舗装面下位：風化シルト岩（褐色・軟質）、走向・傾斜（不明）

確認した露頭状況と地質図¹⁾から、基盤地質は第四紀の砂岩・シルト岩の互層と考えられる。地質構造は南東傾斜であり、斜面傾斜の方位と同じ、概ね流れ盤構造である（写真-8.3.11）。なお、末端部で地層の傾斜が緩くなっている。また、末端部の河床付近の岩盤が新鮮で硬質（写真-8.3.12）

であるのに対し、滑落崖で確認される岩盤は風化が進行し、ハンマーの打撃で土砂化する程度に脆弱化している。これらのことから、本地すべりの移動体は強風化により褐色化した砂岩・シルト岩の互層からなると判断され、地すべり発生後のボーリング調査で、これを確認している。

3) 地すべり挙動および機構

今回の地すべりによって上部に明瞭な滑落崖（写真-8.3.8、8.3.10および図-8.3.13）、中腹部では滑落崖やその前面に陥没帯（写真-8.3.14）を形成し、移動土塊によって末端部では黒川をせき止めた



写真-8.3.13 頭部滑落崖の規模は、幅約60m、奥行き約60mで、斜面傾斜は約20°である。

全体ブロックの頭部ブロック界は連続する滑落崖からなり、最大落差は約6mである（写真-8.3.13）。全体ブロックの西側ブロック界は滑落崖の西側端部よりその下方の路面亀裂（段差を伴わない開口亀裂、幅30cm）であり、下部ブロックとブロック界を共有している。全体ブロックの東側ブ

塊によって末端部では黒川をせき止めた（写真-8.3.5、8.3.15）。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（写真-8.3.8、図-8.3.3）。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（写真-8.3.14）。下部ブロッ



写真-8.3.14 地すべりブロック中部の陥没帯（長岡国道事務所（2007）による）



写真-8.3.15 末端部の黒川への押し出し状況（竹木の伐採後）

ロック界は、滑落崖の東側端部から連続する路面亀裂（段差を伴わない開口亀裂、幅20cm）である。全体ブロックの末端は、中心部で下部ブロックの末端部と重なり。傾倒した竹林の状況や、黒川の右岸側に隆起などが認められないことなどから、黒川の左岸河床付近

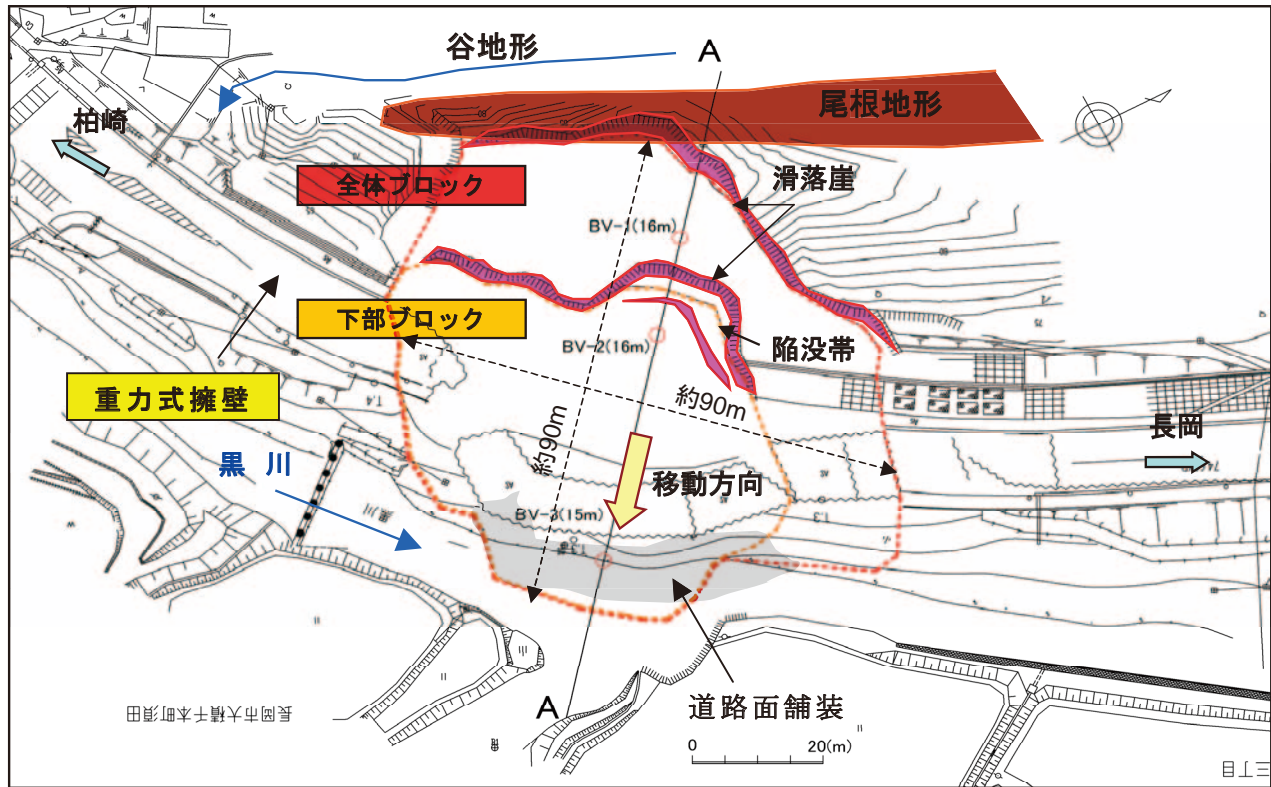


図-8.3.3 大積地すべりの平面図(長岡国道事務所提供図面に加筆)

と考えられる(図-8.3.3)。

全体ブロックの西側部は、移動量が小さく、黒川河床に移動土塊が押し出されていない。この付近は、地すべり末端の地形が凸状で土塊量が多い上に、比較的規模の大きい道路のり面重力式擁壁工が設置されているため、地すべり滑動力の抵抗体となった可能性がある。現地状況から、全体ブロックの滑落崖が道路と概ね平行し(図-8.3.3)、地すべり末端の竹林が国道と直交方向に川側へ傾いていることが確認できる(写真-8.3.15)。これにより、地すべりの移動方向は図-8.3.3に示したとおりと考えられる。被災前後の国道の比較から、地すべりの最大移動量は17mと推定される(図-8.3.4)。

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-8.3.4に示した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。

本地すべりは震源より約20km離れている、灰爪層と魚沼層群の中で発生した代表的な地すべりである。地すべり発生誘因は地震による揺れであるが、大積地すべりは、いくつかの特徴ある地形・地質的な素因が指摘できる。現地調査やボーリング調査から、移動土塊は強風化砂岩シルト岩からなり、その厚さは10m程度である。これらの構成物は強風化により極めて脆弱化していたと推定できる。また、斜面は概ね流れ盤構造を呈し、すべりはほぼ層理面沿いに発生した。また、地形的に地すべり発生

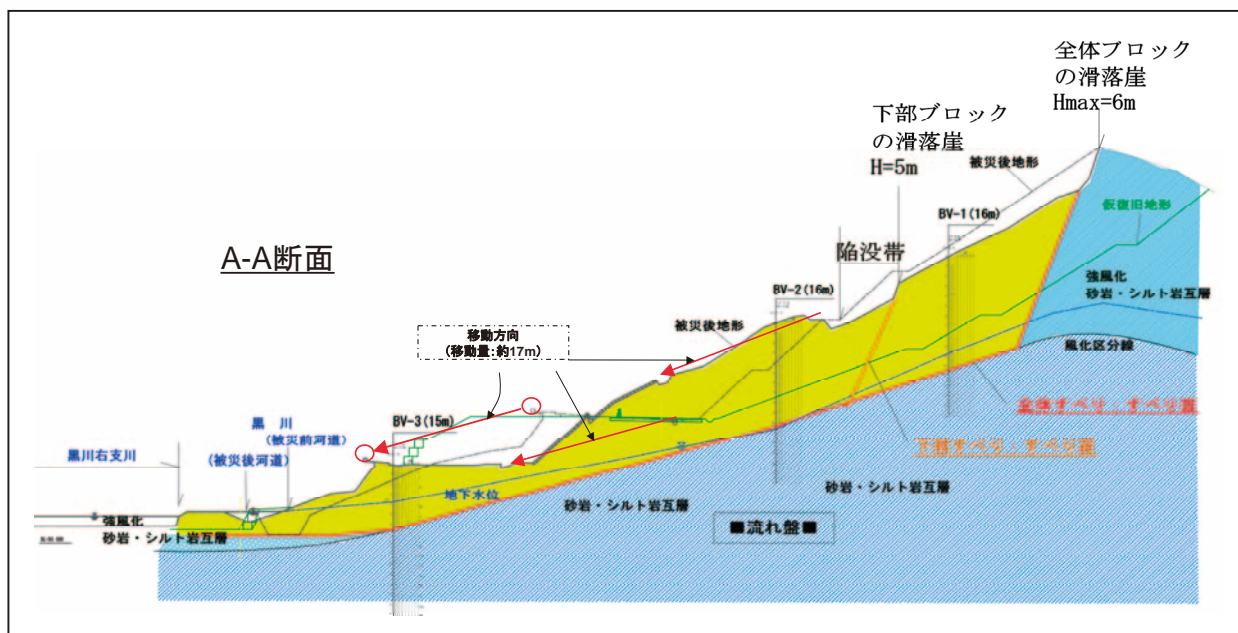


図-8.3.4 大積地すべりの A-A' 断面図(長岡国道事務所提供図面に加筆)

前の斜面は凸型を呈し、外力に対し開放しやすい形態であった。黒川によって侵食され地すべり斜面の末端部は開放されていた。これらの地形・地質的な条件は、中越地震によって発生した代表的な地すべりと共通するものである。

4) 応急対策

地すべり発生後、長岡国道事務所は応急対策として①地すべり土塊で閉塞された黒川の開削、②地すべり斜面の緊急現地調査並びに調査ボーリングの着手（1 測線 3 地点）、③それらにもとづく応急復旧計画の策定を行い、④崩土頭部の排土工及び路肩の盛土工による応急復旧道路の建設を提案した。

一方、土木研究所雪崩・地すべり研究センターでは、地すべり発生直後の現場調査時に、以下の技術助言を行った。

- ①地表面現象や露頭観察だけでは、すべり面の位置・形状、発生機構等が確認できないため、早急に地形測量、ボーリングの結果をとりまとめ、機構解析をすべき。
- ②排土工を基本とする対策計画は、概ね以下の点を考慮し妥当な対策と考える。
 - 1)斜面規模が大きくなり、地すべり頭部が稜線付近に達しているため、排土により新たに地すべりを誘発する可能性が低い。
 - 2)頭部排土工により十分な抑制効果が期待できる。
 - 3)過剰な地下水が存在している可能性が低いいため、地下水排除工の必要性は少ない。
 - 4)崩落した路肩の復旧に排土工の残土を活用できる。
 - 5)現場条件において排土作業は施工性が良く、対策の緊急性に適合している。
- ③ただし、排土工はすべり面形状によって規模、形状等が変化するので、前述のとおりボーリング調査等による機構解析を行うことを条件に、復旧案を了承する。

これを受け長岡国道事務所により、ボーリング調査が完了した 7 月 19 日に再度現地調査し、地すべり機構と排土による斜面对策工法を確認した。その後、24 時間体

制により排土工及び路面形成の応急復旧工事が行われ、一週間後の7月23日9時に2車線が開通した。

5) 地震時に再滑動した地すべりのメカニズム

今回の地震によって発生した道路斜面災害は主に海岸沿いに集中し、緩傾斜地における地すべりよりも急傾斜地における崩壊が多数発生した。比較的内陸部で発生した大積地すべりは数少ない再滑動型地すべりのなかで規模が最も大きく、代表的なものである。今回の地震の震源は大崎沖の海底にあり、その深さは10km程度である。今回

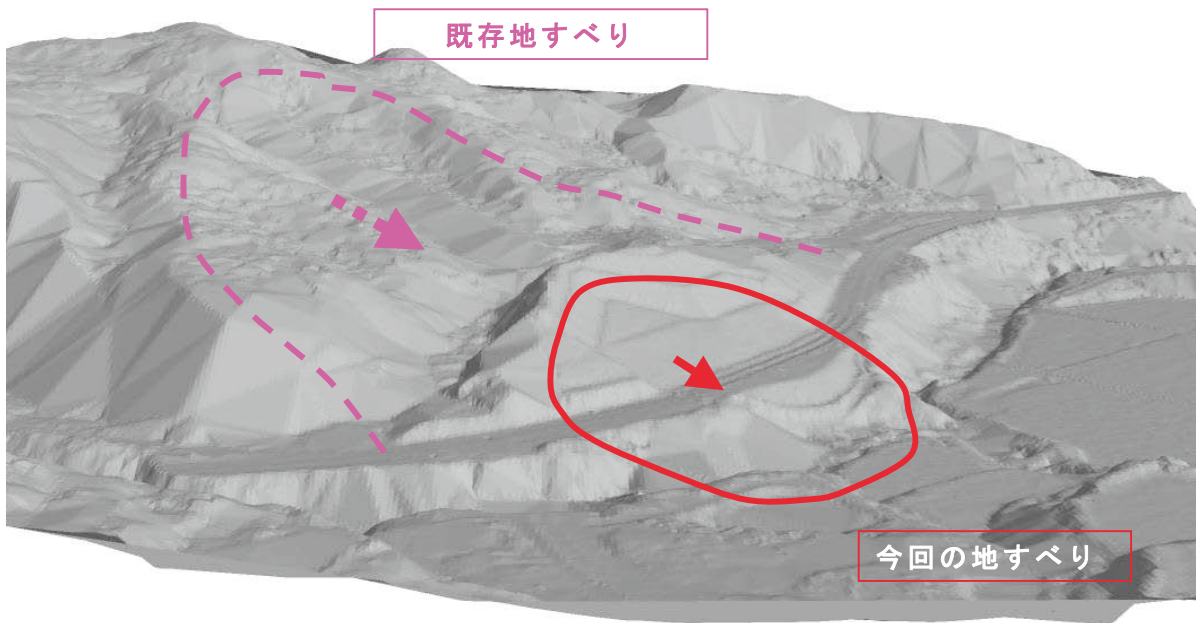


図-8.3.5 大積地すべり地及びその背後斜面の鳥瞰図（7月24日計測 DEM データによる）

の地震を起こした活断層は北東方向に伸び、陸側に傾斜することや、海岸沿いに海岸段丘や急斜面が多く分布することから、斜面災害は海岸沿いに集中したと考えられる。

また、大積地すべりは、雪崩・地すべり研究センターの重点研究「地震時における地すべり土塊の再滑動に関する研究」で検討している典型的な事例であり、自主研究としてレーザープロファイラー計測による高密度な地形情報を用い地形解析を実施した（図-8.3.5）。今

今回滑った斜面の背後は、勾配が緩やかで、両サイドに沢地形が存在し、上部には滑落崖や平坦地があり、既存の大規模な地すべり地形と判読される。

今回の地震によっ

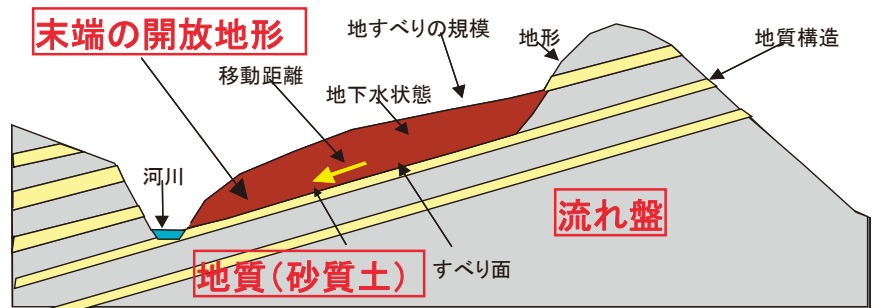


図-8.3.6 中越地震によって発生した芋川流域の地すべりの模式図（大積地すべりもこのモデルに当てはまる）

て発生した大積地すべりの特徴は、①流れ盤構造で、②砂岩シルト岩互層の風化岩からなる地質構成であり、③地形的に凸型斜面の末端部の開放などが指摘できる。これは、中越地震によって発生した規模の大きな再滑動した既存地すべり（図-8.3.6）と地形・地質的な特徴がよく一致している。

今回の地震の規模、深度及び発生機構は2004年に発生した中越地震に非常に類似している。また、既存地すべり地が集中する地域で地震による斜面崩壊や地すべりの発生機構も似ている。しかし、中越地震によって発生した地すべりの箇所数及び規模は今回の地震によるものよりはるかに多い。また、地すべりの規模も今回の地震によるものより格段に大きいという特徴がある（表-8.3.1）。これは、震源からの距離、地震動、地震発生前の降雨量などによる可能性があると考えられる。

表-8.3.1 中越地震による代表的な地すべりと大積地すべり

名称	土砂量 (万m ³)	長(m)	幅(m)	最大厚 (m)	移動 距離 (m)	斜面 勾配 (度)	地質構成	地質構造	既存すべり面 との関係
塩谷神沢川	750	650	450	80	100	15~20	砂岩泥岩互層	流れ盤	深い
田麦山小高	180	350	270	20	50	15~20	砂質泥岩	流れ盤	浅い
小栗山	150	400	170	22	30	15~20	砂岩泥岩互層	流れ盤	浅い
東竹沢	130	350	250	30	60	18~22	砂質泥岩及び 砂岩泥岩互層	流れ盤	同じ
寺野	100	360	170	25	50	18~22	砂岩泥岩互層	流れ盤	同じ
峠塩谷川	90	250	190	18	30	25~30	砂質泥岩	受け盤	浅い
芋川沢	43	180	150	16	40	15~18	砂岩	流れ盤	浅い
峠南	40	200	100	20	40	15~20	泥岩	流れ盤	浅い
尼谷地	35	250	150	18	40	15~20	塊状泥岩	流れ盤	同じ
塩谷南	23	150	100	15	30	15~20	シルト・砂及び礫	流れ盤	同じ
大積	4	90	90	10	17	10~20	砂岩・泥岩互層	流れ盤	浅い

今後は、これらの地震によって発生した地すべり、特に既存地すべり内で発生した再滑動型地すべりに対し、地震動、地形、地質の詳細な検討を行い、地震による地すべり発生危険度評価の手法を提案したい。

(2) 国道352号大崎崩壊

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-8.3.7）。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



図-8.3.7 被災位置図

災した。

1) 被災状況

該当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。写真-8.3.16に示したように、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箇所で国道が埋塞された（写真-8.3.17）。

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（写真-8.3.19）。

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。被災状況を写真-8.3.16～8.3.22に示す。

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。

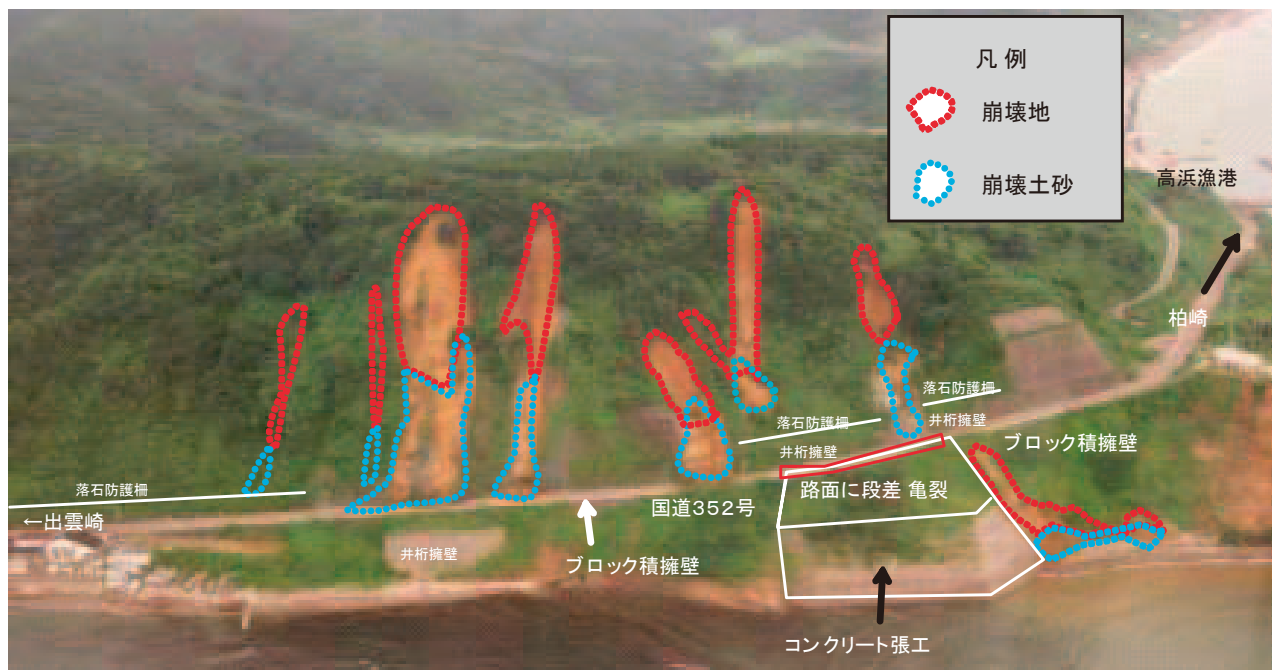


写真-8.3.16 大崎崩壊の斜面全景



写真-8.3.17 崩壊による国道の被災状況



写真-8.3.18 斜面崩壊頭部付近（柏崎地域振興局（2007）による）



写真-8.3.19 斜面崩壊と国道に到達した巨石（ $\phi=3\text{m}$ ）



写真-8.3.20 道路に堆積した土砂



写真-8.3.21 国道路面の段差亀裂



写真-8.3.22 国道に堆積した崩積土

2) 地形特性

当地区は観音岬から椎谷観音堂までの延長約 500m にあり、小規模な凹凸があるものの大局的には凸状尾根地形である。崩壊が集中する国道より上方の斜面は、比高差 50～100m、斜面勾配 45° ～ 60° の急崖地形で、日本海に面した海食崖である。これよりの上部の標高 100m 付近には平坦地形が広がっている（図-8.3.8）。一方、国道より下方の斜面は、海水面までの比高差が 20～40m、斜面勾配 45° ～ 50° の急崖地形で、同じく海食性の地形である。地形及び植生状況から、本地区における国道沿いの急斜面ではたびたび表層崩壊があったと推定される。

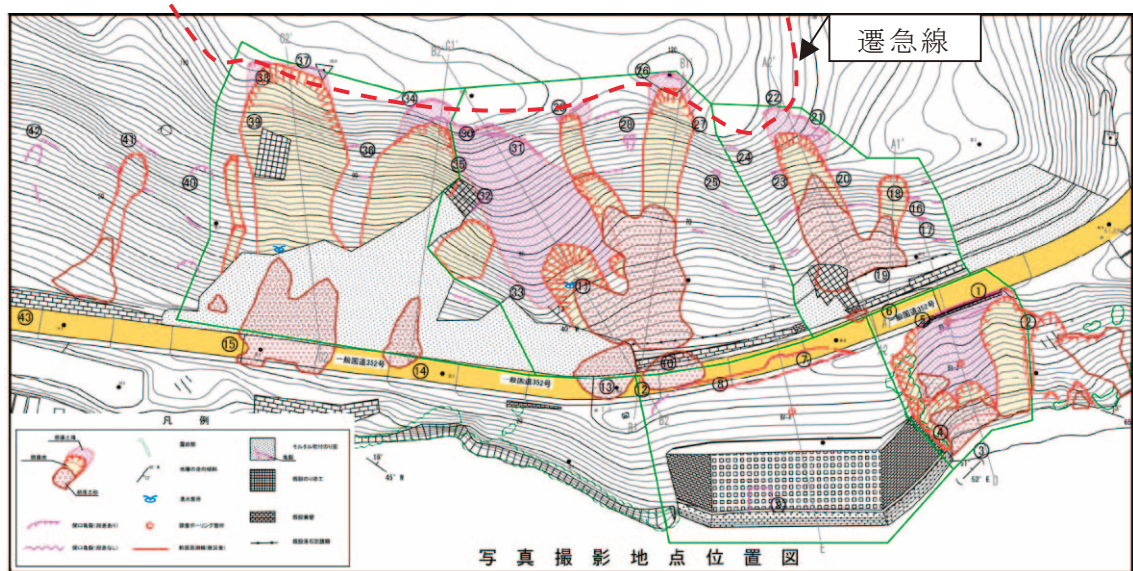


図-8.3.8 被災位置周辺の地形（柏崎地域振興局（2007）に加筆）

3) 地質特性

当地区の基盤地質は新第三紀中新統の椎谷層を主体として構成されている。崩壊面や崖面に露出する岩相は、砂岩優勢の凝灰質砂岩・凝灰質泥岩の互層である（写真-8.3.23）。物性は風化度によってかなり異なるが、国道より上方斜面で崩壊した箇所では褐色状に風化し、脆弱化が進んでいる（写真-8.3.24）。地質構造的には南に緩く傾斜しており、崩壊した斜面に対して受け盤構造をなす。被覆層としては、小規模な段丘堆積物と崖錐堆積物であるが、今回の崩落した崩積土もこれらに含まれる。



写真-8.3.23 観音岬の砂岩・泥岩互層



写真-8.3.24 崩壊斜面の凝灰質砂岩の露頭

4) 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-8.3.8）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-8.3.9）。

5) 技術指導

現地調査の結果を受け、調査手法と対策工法に関する技術的な助言を行った。

- ①現地調査中にも落石があり、今後の余震、降雨等により崩壊の拡大が予想される。また、崩壊箇所には大きな岩塊が不安定に残存しているが、一般の方が立ち入っていた。このため、通行止め等の安全管理を徹底する。現地調査において安全に十分留意し、余震の危険があるうちは崩壊箇所周辺への立ち入りは規制すること。
- ②早急に現地調査を実施し、特に崩壊地の上部及び斜面頭部の亀裂の有無などを調査し、崩壊の拡大の可能性を確認すべきである。
- ③安全かつ正確に地形形状を早急に把握するために、レーザープロファイラーを用いた計測も効果的である。
- ④対策は崩壊箇所の整形工、法面保護工が主体となると考えられるが、大規模な工事となる可能性があるためトンネル工やロックシェッド工等も比較検討する必要がある。

これを受けて、大崎地区は新潟県による調査結果に基づき抜本的な復旧対策計画が策定され、後日、復旧対策計画を確認した。

(3) 長浜岩盤崩壊（国道8号、上越市長浜）

上越市長浜の国道8号斜面において泥岩の岩盤が層理面に沿って2箇所では崩壊し、落石防護擁壁が倒壊した（図-8.3.10、写真-8.3.25、写真-8.3.26）。崩壊土量は、斜面A（新潟側）が約500m³、斜面B（富山側）が約2000m³である。調査時は片側交互通行に規制されていた。斜面には泥岩が露出し、流れ盤となっている（図-8.3.11）。地質は第三紀中新世の能生谷層である。

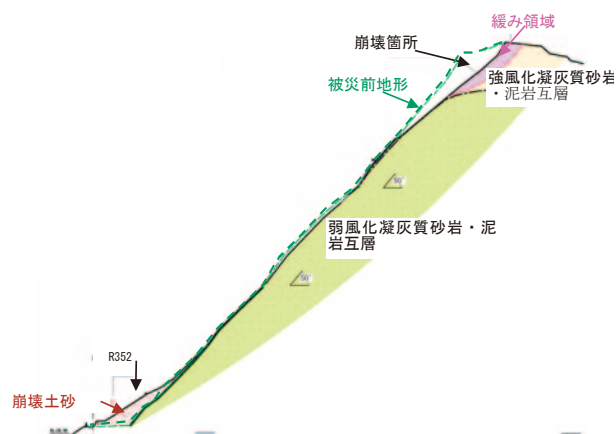


図-8.3.9 崩壊機構の模式図

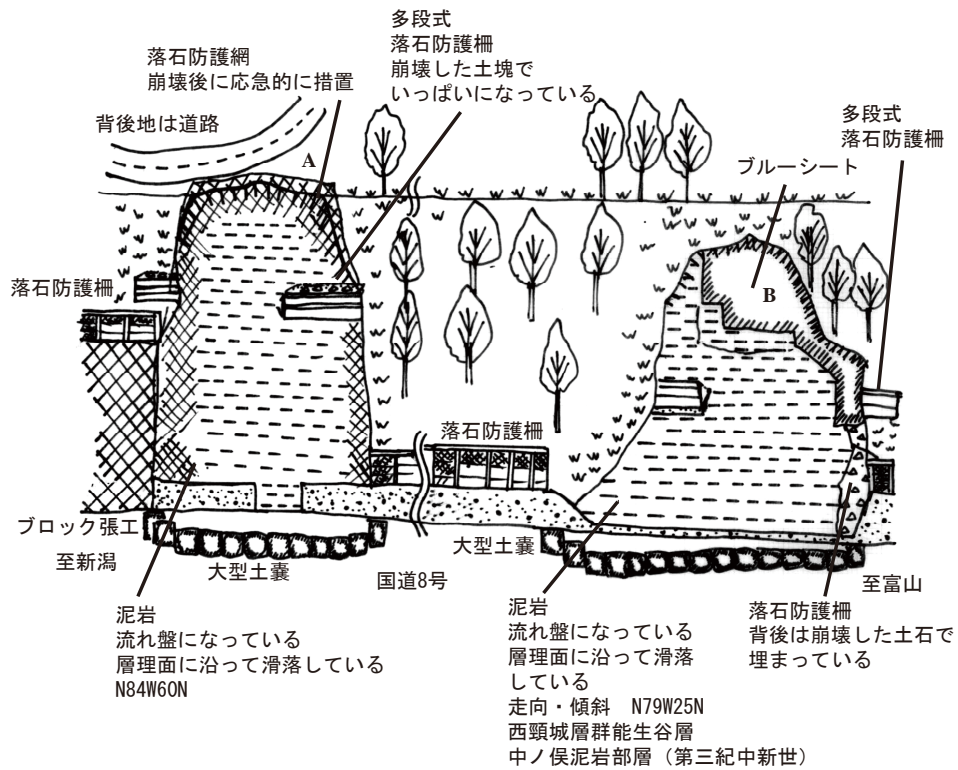


図-8.3.10 上越市長浜（国道8号）の岩盤崩壊のスケッチ図
左側が斜面A、右側が斜面B



写真-8.3.25 上越市長浜（国道8号）の岩盤崩壊（斜面B）の全景



写真-8.3.26 岩盤崩壊箇所（斜面 B）末端部の状況

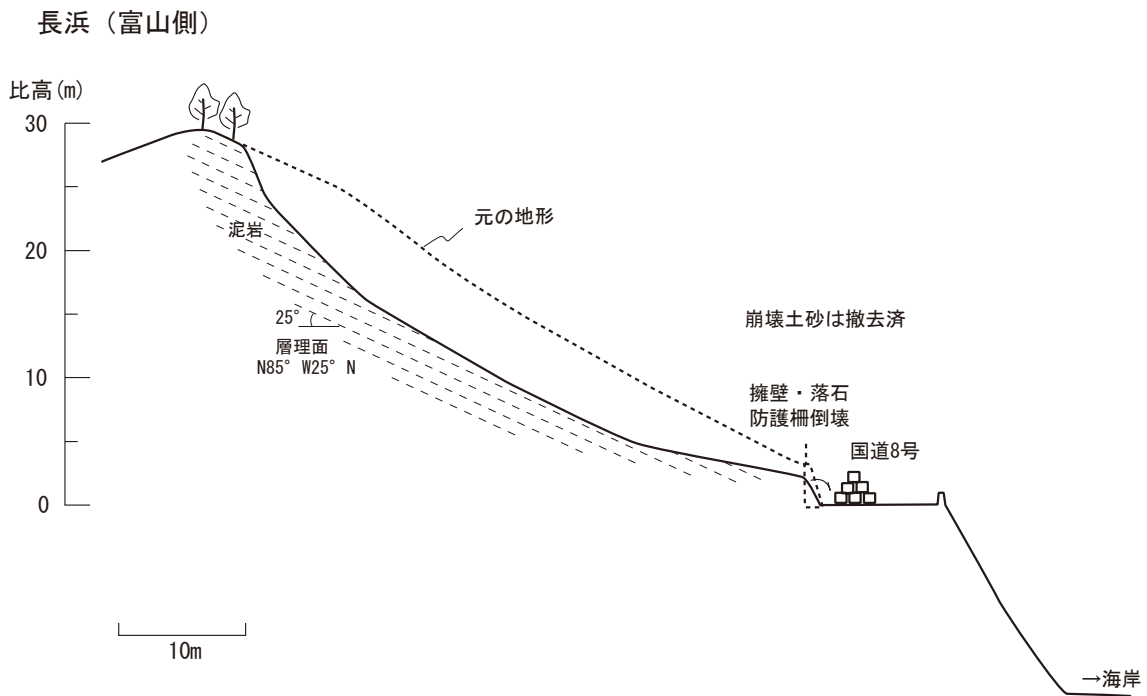


図-8.3.11 岩盤崩壊箇所（斜面 B）断面図

(4) 表層崩壊による被災を免れた事例（国道 8 号、上越市柿崎区竹鼻）

上越市柿崎区の国道 8 号沿いの斜面で発生した小規模な表層崩壊である。落石防護柵と斜面との間には擁壁等によるポケットは無いものの、斜面と柵との間に崩壊土砂が貯まり道路への流出を免れた。また一時的にベニヤ板を柵内に挟み、崩土道路への二次流出を抑えていた(図-8.3.12、図-8.3.13)。地質は第三紀鮮新世前期の西山層と対比される竹ヶ鼻層である。

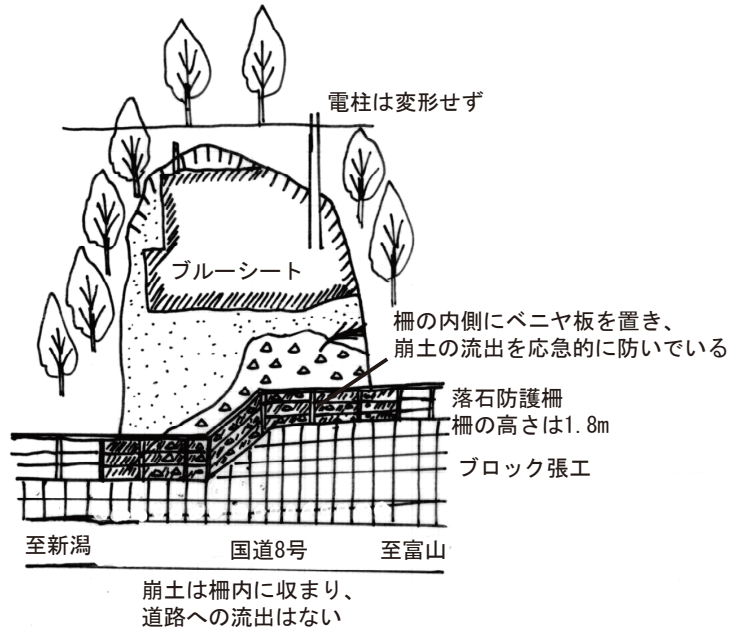


図-8.3.12 上越市竹鼻（国道 8 号）の表層崩壊の写真およびスケッチ図

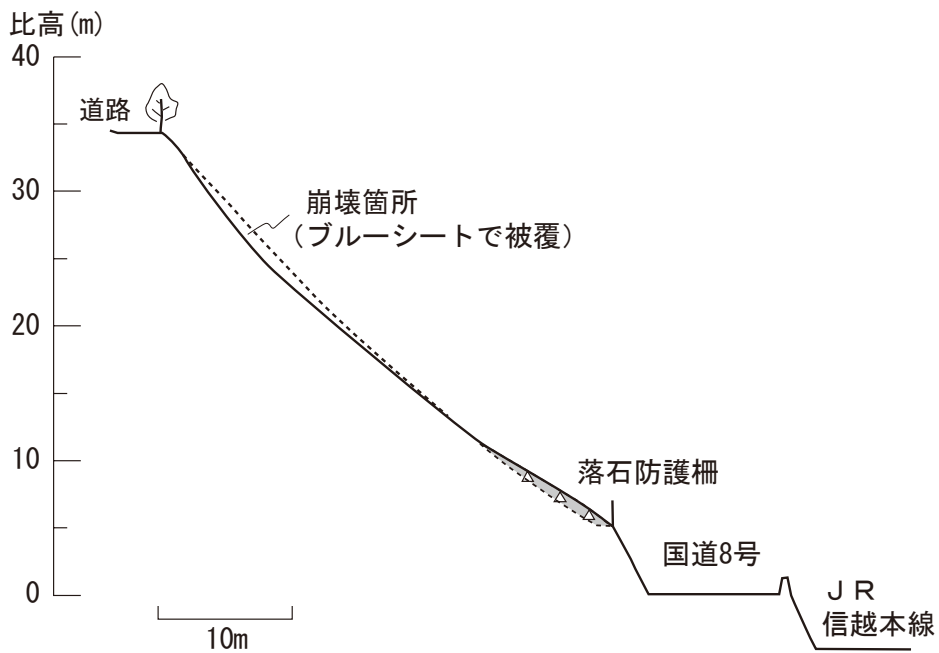


図-8.3.13 上越市竹鼻（国道 8 号）の表層崩壊の断面図

8.3.3 道路斜面災害のまとめ

地震発生後、土木研究所雪崩・地すべり研究センターは国土交通省北陸地方整備局および新潟県の要請により、7月17日から大積地すべり及び大崎崩壊の復旧対策のため現地調査を実施し、前者に対し応急復旧工事の方針に対する助言と、後者に対しては調査手法と対策工法に関する指示を行った。さらに、地震時の地すべり土塊の再滑動したメカニズムを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ものと考えられ、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。

また、土木研究所地質チームは7月19日から21日にかけて、上記の災害箇所に加え、上越市長浜の岩盤崩壊をはじめとする国道斜面災害箇所について自主調査を実施した。その結果、斜面災害はいずれも新第三紀～第四紀更新統の丘陵で発生していること、長浜の岩盤崩壊は層理面に沿った流れ盤で発生していたことを確認した。

8.4 まとめ

土木研究所では、北陸地方整備局の要請により7月17日に国道8号長岡市大積地区、国道352号柏崎市椎谷～大崎地区の現地調査を行った。また、7月19日～20日に、直轄国道の道路盛土の被災状況を把握するため国道8号（長岡市～柏崎市）及び国道116号（燕市～柏崎市）の盛土区間について自主調査を実施した。さらに、7月19日～21日に、道路斜面災害の状況および既設対策工の効果の確認を目的に、国道8号（長岡市～上越市）、国道352号（観音岬周辺）の道路斜面について自主調査を実施した。

今回の地震による道路土工・斜面の被災状況を整理すると以下のとおりである。

(1) 道路土工

直轄国道の道路盛土の被災状況を把握するため、国道8号（長岡市～柏崎市）及び国道116号（燕市～柏崎市）について、盛土高10m程度以上の比較的大きな盛土区間を抽出し、合計14箇所について現地踏査を実施した。また、県道、市町村道についても道路盛土の特徴的な被害がみられた箇所の調査を行った。結果をまとめると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、盛土のり尻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（ただし、今回の調査においては橋梁への取付盛土の被害は対象としていない）。
- 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 2004年新潟県中越地震に比べて道路盛土の被害が大きくなかった背景には、盛土区間に作用した地震動強度の大きさ、事前降雨による盛土の湿潤状況、等が関与していると推測される。ただし、これらの因果関係を明らかにするためには、地震観測記録や降雨データについて今後の分析が必要である。
- ⑤ 2007年能登半島地震においては、能登有料道路で沢埋め盛土の流動性崩壊が注目された。今回現地調査を行なった沢埋め盛土では、のり尻付近が湿潤して路面に亀裂が見られた箇所が散見された（上記③参照）が、いずれも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。沢埋め盛土については、流動性崩壊を生じる可能性のある箇所を絞り込むための耐震診断法と効果的な対策工について、引続き詳細な検討が必要である。

(2) 道路斜面

地震発生後、土木研究所雪崩・地すべり研究センターは国土交通省北陸地方整備局および新潟県の要請により、7月17日から大積地すべり及び大崎崩壊の復旧対策のため現地調査を実施し、前者に対し応急復旧工事の方針に対する助言と、後者に対しては調査手法と対策工法に関する指示を行った。さらに、地震時の地すべり土塊の再滑動したメカニズムを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ものと考えられ、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。

また、土木研究所地質チームは7月19日から21日にかけて、上記の災害箇所に加え、上越市長浜の岩盤崩壊をはじめとする国道斜面災害箇所について自主調査を実施した。その結果、斜面災害はいずれも新第三紀～第四紀更新統の丘陵で発生していること、長浜の岩盤崩壊は層理面に沿った流れ盤で発生していたことを確認した。

参考文献

- 1) 新潟県柏崎地域振興局：平成19年度道維管第1301-00-60-05号一般国道352号道路災害復旧工法検討業務委託（震災その1）報告書、2007.9
- 2) 長岡国道事務所：平成19年度一般国道8号大積千本震災復旧対策調査 その1作業報告書、2007.10
- 3) 新潟県：新潟県地質図（改訂版）20万分の1、1989

9. 建築物

9.1 概要

建築物を中心とした被害から今後の地震対策に生かすべき教訓を得るべく国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所が連携して、新潟県柏崎市、刈羽村、長岡市、小千谷市、上越市などにおいて、建築物の余震観測の他、木造建築物、鉄骨造建築物、搭状工作物（鉄筋コンクリート造）、非構造部材、及び宅地地盤・基礎の各被害調査を、地震発生当日（平成19年7月16日）から10月9日までの間、延べ98名の職員を順次現地に派遣して、実施した¹⁾。

本章では、別途まとめた報告¹⁾より、被害一般、地震及び地震動の特徴（主に、余震観測）、木造建築物の被害、搭状工作物（鉄筋コンクリート造）の被害、及び宅地地盤・基礎の被害、の概要を報告する。

9.2 被害一般

9.2.1 各種災害対策法令等の適用

(1) 災害救助法等の適用²⁾

厚生労働省から、7月16日から新潟県長岡市、柏崎市、小千谷市、上越市、三島郡出雲崎町、刈羽郡刈羽村の4市1町1村に対し、災害救助法（昭和22年法律第118号）による救助を実施することが公示された。また、7月25日には、三条市、十日町市、燕市、南魚沼市の4市が同法適用対象市町村として追加された。

(2) 被災者生活再建支援法の対象³⁾

内閣府より、平成19年新潟県中越沖地震による災害に被災者生活再建支援法（平成10年法律第66号）を適用し、対象地域として新潟県全域とすることが公示された。

(3) 激甚災害の指定⁴⁾

「平成19年新潟県中越沖地震による新潟県長岡市等の区域に係る災害」は激甚災害に指定され、新潟県長岡市、柏崎市、出雲崎町の2市1町について、公共土木施設災害復旧事業等に関する特別の財政援助、農地等の災害復旧事業等に係る補助の特別措置、中小企業関係の特例措置等を適用（8月7日閣議決定、8月10日公布）した。

9.2.2 人的被害

(1) 死傷者

新潟県を中心に多数の死傷者（合計2,360人：富山県、長野県の重軽傷者計30人を含む）が発生した。自治体ごとの内訳は表-9.2.1の通りであるが、いずれのデータも気象庁発表（12/4現在）⁵⁾である。

表-9.2.1 平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震による死傷者数

県	市町村	人的被害			
		死者	重傷	軽傷	計
新潟県	新潟市		2	7	9
	長岡市		65	178	243
	三条市		4	28	32
	柏崎市	14	54	1,610	1,678
	小千谷市		1	39	40
	十日町市			8	8
	見附市			14	14
	燕市		3	7	10
	糸魚川市			1	1
	上越市		21	136	157
	魚沼市		2	4	6
	南魚沼市			4	4
	出雲崎町		2	8	10
	湯沢町		1		1
	刈羽村	1	31	85	117
		計	15	186	2,129
長野県	長野市		1	2	3
	中野市		1	3	4
	飯山市		2	17	19
	飯綱町		2	1	3
		計		6	23
富山県	高岡市			1	1
総 計		15	192	2,153	2,360

注、気象庁発表 12/4 現在

(2) 避難者

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震により、柏崎市、長岡市、出雲崎町において避難者が地震当日から発生した。避難指示は 7 月 16 日～21 日にわたって柏崎市の 62 世帯、172 人に対して発令され、避難勧告は 7 月 16 日～8 月 1 日にかけて柏崎市、長岡市、出雲崎町で 725 世帯、1,838 人に対して出された。避難指示、勧告の発令状況を表-9.2.2⁵⁾に示す。全ての避難指示と避難勧告の一部は 12/4 現在解除されていないが、避難所と避難者数はいずれの市町村においても 0 となっている。

表-9.2.2 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による避難指示・勧告発令状況

	市町村	対象世帯数	対象人数	指示／勧告日時	解除日時
避難指示	柏崎市	8	38	7月16日18:30	
		1	2	7月17日13:15	
		10	23	7月17日20:30	
		42	107	7月18日16:30	
		1	2	7月21日13:00	
	合計	62	172		
避難勧告	柏崎市	20	60	7月16日14:10	
		4	18	7月19日22:40	
		34	81	7月21日13:30	
		1	6	7月22日10:30	
		2	6	7月22日18:30	
		3	9	7月24日15:00	一部9月25日10:00
		23	66	7月25日15:00	
		2	2	7月27日15:00	
		1	1	8月1日18:00	
	長岡市	2	7	7月17日18:00	7月23日16:00
	出雲崎町	633	1,582	7月16日10:21	7月16日11:37
	合計	725	1,838		

注、消防庁発表(12/4現在)⁵⁾

9.2.3 建築・住宅に係る被害

平成19年新潟県中越沖地震による住家の被害の状況は表-9.2.3の通りである。表中の数値は消防庁発表12/4現在⁵⁾である。柏崎市の被害件数が圧倒的に多い。なお、地震による火災は、柏崎市において建築物の火災が1件、その他の火災が1件、長岡市におけるその他の火災が1件発生し、火災件数としては計3件である⁵⁾。その他、柏崎刈羽原子力発電所で3号機の変圧器が延焼したことが判明している。なお、各市町村の規模を把握する際の参考のため、各市町村の世帯数(新潟県庁⁶⁾、11/1現在)を併記した。

9.2.4 危険度判定の状況

(1) 被災建築物の応急危険度判定の状況

新潟県は、北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、富山県、石川県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県、長野県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、鳥取県、大阪府、京都府、兵庫県、

奈良県、和歌山県、徳島県に対して、被災建築物の応急危険度判定の広域応援を要請した。7月23日をもって34,048棟の応急危険度判定を終了した。判定結果は表-9.2.4⁷⁾に示す。なお、各市町村の規模を把握する際の参考のため、各市町村の世帯数（新潟県庁⁶⁾、11/1現在）を併記した。

表-9.2.3 平成19年（2007年）新潟県中越沖地震による建築・住宅の被害

県	市町村	世帯数	住家被害		
			全壊	半壊	一部損壊
新潟県	新潟市	303,139		1	60
	長岡市	96,864	10	450	5,522
	三条市	33,658		1	95
	柏崎市	33,898	1,049	4,372	22,052
	小千谷市	12,360			235
	十日町市	19,934	1	14	181
	見附市	13,366			458
	燕市	26,713	2	13	814
	糸魚川市	17,618			6
	妙高市	12,242		2	33
	上越市	71,194	14	62	2,621
	阿賀野市	13,573			1
	魚沼市	13,491			6
	南魚沼市	18,841			6
	出雲崎町	1,832	17	130	1,381
	刈羽村	3,245	166	441	650
	川口町	1,519		1	8
	計	695,007	1,259	5,487	34,129
長野県	長野市				15
	上田市				1
	中野市				75
	飯山市				102
	東御市				3
	小布施町				18
	飯綱町				142
	計		0	0	356
総計			1,259	5,487	34,485

注、被害棟数は消防庁発表（12/4現在）⁵⁾

世帯数は新潟県庁ホームページ⁵⁾より

表-9.2.4 平成19年新潟県中越沖地震による被災建築物の応急危険度判定実施結果

市町村名	世帯数	判定棟数	危険（赤）	要注意（黄）	調査済（緑）
柏崎市	33,898	32,090	4,616	8,295	19,179
刈羽村	1,519	1,474	291	497	686
出雲崎町	1,832	484	48	151	285
計		34,048	4,955	8,943	20,150

注、世帯数は新潟県庁ホームページ⁶⁾より

(2) 宅地の危険度判定⁷⁾

国土交通省は、7月20日に本省職員1名と（独）都市再生機構職員2名を被災状況調査を目的として現地に派遣した。新潟市、長岡市、燕市、妙高市、見附市、十日町市、五泉市、新発田市、加茂市、魚沼市、三条市、糸魚川市は職員を、柏崎市、出雲崎町における宅地の危険度判定に対して応援派遣した。7月25日をもって2,082件の宅地の危険度判定を終了した。

表-9.2.5 平成19年新潟県中越沖地震による被災宅地の危険度判定実施結果

市町村名	判定宅地	危険（赤）	要注意（黄）	調査済（青）	実施期間	備考
柏崎市	1,398	344	198	856	7/17～7/25	県に派遣要請
刈羽村	93	27	21	45	7/17～7/25	県に派遣要請
出雲崎町	489	22	51	416	7/19～7/25	県に派遣要請
上越市	102	26	37	39	7/19～7/25	市職員で対応
計	2,082	419	307	1,356		

9.3 余震観測

2007年新潟県中越沖地震発生の翌々日の7月18日より8月9日までの間、柏崎市役所及び柏崎市西山町事務所を対象に余震観測を行った。以下に余震観測調査の概要を報告する。

9.3.1 柏崎市役所の観測概要

中越沖地震の公表されている強震記録のうち、最も大きな計測震度の記録を観測したK-NET柏崎観測地点(NIG018)⁸⁾は、柏崎市役所の敷地内にある。このため、K-NETの記録と比較することにより、建物への入力地震動に関する知見を得ることができると考え、柏崎市役所を余震観測の対象とした。

柏崎市役所の敷地には、市役所本館や分館、市民会館が建てられており、K-NET柏崎観測地点は敷地の北西の端に位置する。市役所本館は鉄筋コンクリート(RC)造地上5階地下1階の建物で、塔屋2階が展望室となっている。竣工年は未確認だが、後述の市民ホールと同時期と思われる。強震計はKinematics社Etnaを用い、本館建物の地下1階(B1F)及び塔屋2階展望室(7F)に設置した。

加えて、市役所本館とK-NET観測地点の間に立地する市民会館大ホールの1階に強震計を設置した。強震計はAkashi社のSMAR-6A3Pを用い、大ホールの建物規模を考慮に入れ、西側通路の北側(1FN)と南側(1FS)に各1台設置した。市民会館大ホールは1,113席の客席を有するRC造の建物で、1968年(昭和43年)に竣工している。

強震計の設置位置を図-9.3.1に、市役所本館及び市民会館大ホールの外観を写真-9.3.1と写真-9.3.2に、各強震計の設置状況を写真-9.3.3から写真-9.3.6に示す。

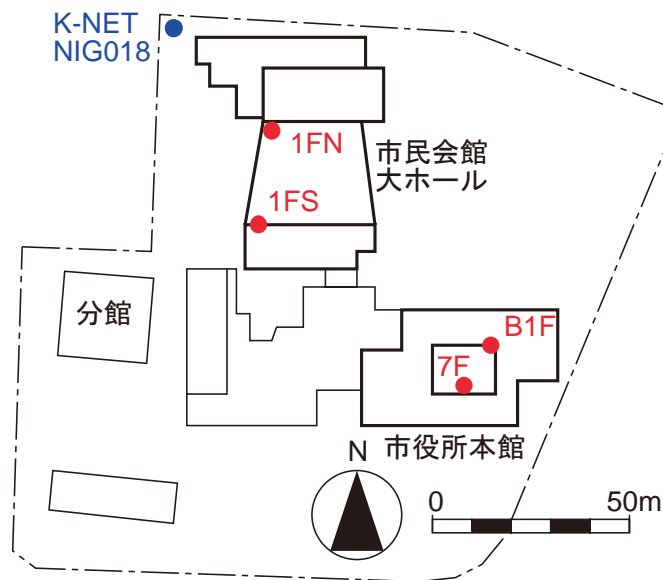


図-9.3.1 柏崎市役所の強震計設置位置(1FN、1FS、B1F及び7F)



写真-9.3.1 柏崎市役所本館外観(南から)



写真-9.3.2 柏崎市民会館大ホール外観(市役所屋上から)



写真-9.3.3 柏崎市役所本館 B1F 設置状況



写真-9.3.4 柏崎市役所本館 7F 設置状況



写真-9.3.5 柏崎市民会館大ホール 1FN 設置状況



写真-9.3.6 柏崎市民会館大ホール 1FS 設置状況

9.3.2 柏崎市西山町事務所の観測概要

柏崎市西山町事務所は、2005年5月に柏崎市へ編入された西山町地域を管轄する市の事務所で、旧西山町役場が使用されている。西山町事務所は鉄筋コンクリート造3階建ての建物で、1981年(昭和56年)に竣工している。新潟県の震度計が事務所脇に設置され

ており、本震の震度は6強と発表されている。

西山事務所は比較的整形な建物であるが、東西方向に長い平面形を有することを考慮し、建物1階(1F)に1台、建物3階の東西の端に1台ずつ計3台の強震計を設置した。強震計はアカシ社のSMAR-6A3Pを用いている。強震計の設置位置を図-9.3.2に、建物の外観を写真-9.3.7に、各強震計の設置状況を写真-9.3.8から写真-9.3.10に示す。



図-9.3.2 柏崎市西山町事務所の強震計設置位置(1F、3FE 及び 2FW)



写真-9.3.7 西山町事務所外観(西から)



写真-9.3.8 西山町事務所 1F 設置状況



写真-9.3.9 西山町事務所 3FE 設置状況



写真-9.3.10 西山町事務所 3FW 設置状況

9.3.3 余震記録

調査期間中にもいくつかの余震が発生し、多くの記録を収集することができた。このうち最も大きな震度を観測した2007年7月25日6時52分の地震(深さ24km、M4.8)⁹⁾の記録を分析する。各地点での観測記録の計測震度と最大加速度(3成分合成)を表-9.3.1に示す。表中には、K-NET柏崎(NIG018)の記録⁸⁾も参考として示している。

表-9.3.1 2007年7月25日6時52分の余震で得られた記録の計測震度と最大加速度

記号	観測地点	Δ (km)	設置位置	I_{JMA}	PGA (cm/s^2)	観測機器
KSW	柏崎市役所本館	23	B1F	2.7	21.1	Etna
			7F	3.6	58.7	Etna
KSW2	柏崎市民会館大ホール	23	1FN	3.0	32.6	SMAR-6A3P
			1FS	3.0	32.8	SMAR-6A3P
NIG018	K-NET 柏崎	23	GL	3.2	43.8	K-NET02
NSY	柏崎市西山町事務所	10	1F	3.1	38.3	SMAR-6A3P
			3FE	3.3	58.5	SMAR-6A3P
			3FW	3.3	64.2	SMAR-6A3P

Δ : 震央距離、 I_{JMA} : 計測震度、 PGA : 3成分合成最大加速度

9.3.4 柏崎市役所本館の余震記録

柏崎市役所本館で観測された余震記録を図-9.3.3に示す。上から地下1階(B1F)の短辺方向(NS)成分、長辺方向(EW)成分、上下(UD)成分、塔屋2階(7F)の短辺、長辺、上下成分と並んでいる。建物の地下1階で $11cm/s^2$ から $20cm/s^2$ であった最大加速度は建物頂部で $19cm/s^2$ から $58cm/s^2$ と、2倍から3倍程度に増幅している。図-9.3.4は、B1Fの記録のフーリエスペクトル(解析時間は40秒間、幅0.2HzのParzen Windowで平滑化)である。実線(赤)が建物の短辺方向に、破線(青)が長辺方向に、点線が上下方向に対応する。水平成分のスペクトルを見ると1Hzから2Hzの振動数成分を中心として、比較的広い振動数成分が含まれている。

図-9.3.5は7F/B1Fのフーリエスペクトル比を表す。水平成分のフーリエスペクトル比には2Hzから3Hz辺りにピークが現れ、建物の1次固有振動数と考えられる。また8Hz付近の高次成分の鋭い増幅も観察される。

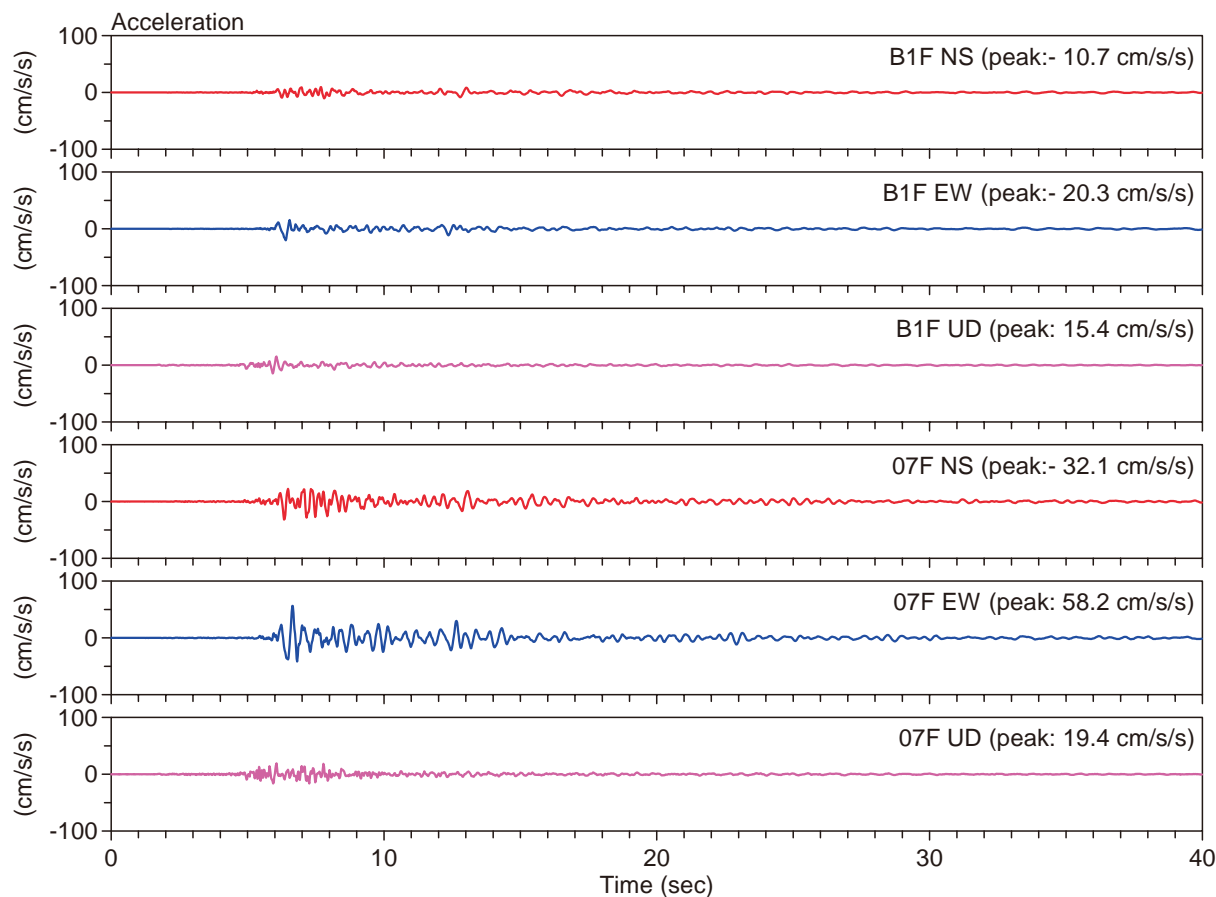


図-9.3.3 柏崎市役所本館で観測された加速度記録(2007/07/25 06:52、h=24 km、M4.8)

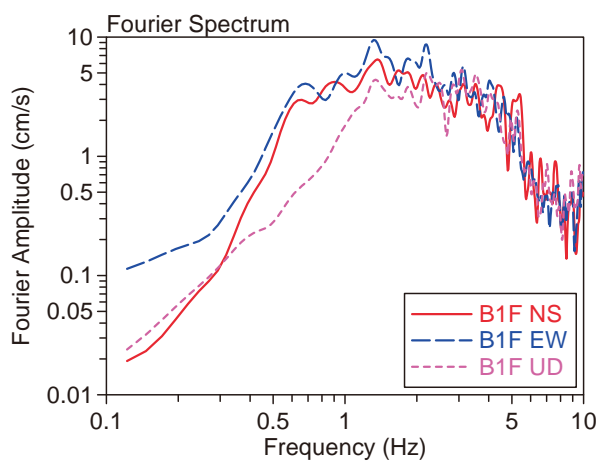


図-9.3.4 柏崎市役所本館 B1F の記録のフーリエスペクトル

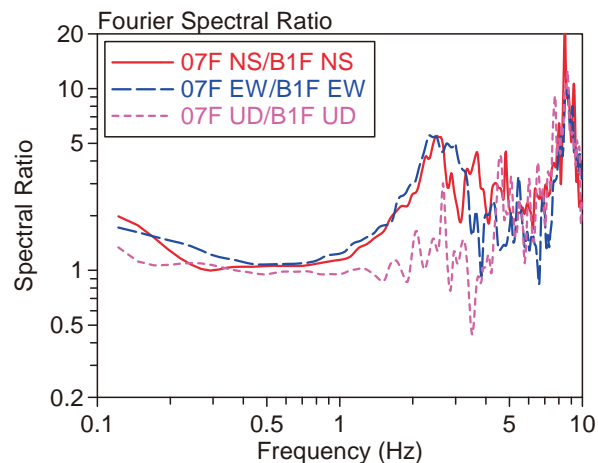


図-9.3.5 柏崎市役所本館 7F/B1F のフーリエスペクトル比

9.3.5 柏崎市民会館大ホールの記録

同じく7月25日の余震について、柏崎市民会館大ホールで得られた加速度記録を図-9.3.6に示す。上の3波が大ホール北側に設置した強震計(1FN)の、下の3波が南側に設置した強震計(1FS)の加速度記録で、それぞれNS成分、EW成分、UD成分の順に並んでいる。1FNと1FSの最大加速度に若干差があるが、その差は1割未満である。

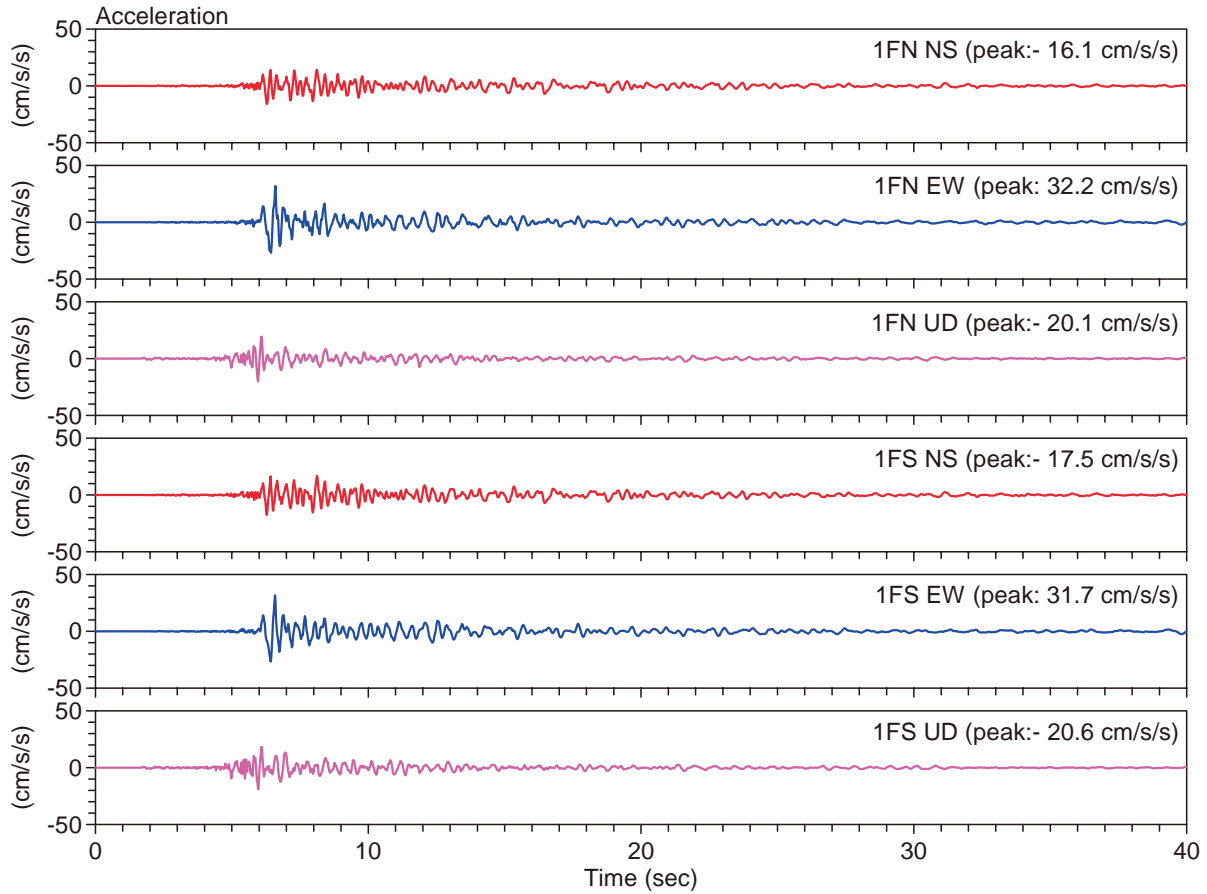


図-9.3.6 柏崎市民会館大ホールで観測された加速度記録(2007/07/25 06:52、h=24km、M4.8)

9.3.6 西山町事務所の余震記録

西山町事務所で観測された記録を図-9.3.7に示す。観測機器の記憶容量の制約から、一部の記録時間長が短いため、全ての成分をその時間長に合わせてある。図-9.3.8は、1Fの記録のフーリエスペクトルである。実線(赤)が建物の短辺方向(N162° E)に、破線(青)が長辺方向(N252° E)に、点線が上下方向に対応する。水平成分のスペクトルを見ると3Hz付近の振動数成分が優勢となっている。

図-9.3.9及び図-9.3.10は3FE/1F及び3FW/1Fのフーリエスペクトル比を示している。いずれのフーリエスペクトル比にも4Hzから5Hz辺りにピークが現れ、建物の1次固有振動数と考えられる。フーリエスペクトル比における3FE/1Fと3FW/1Fの差は、顕著ではない。

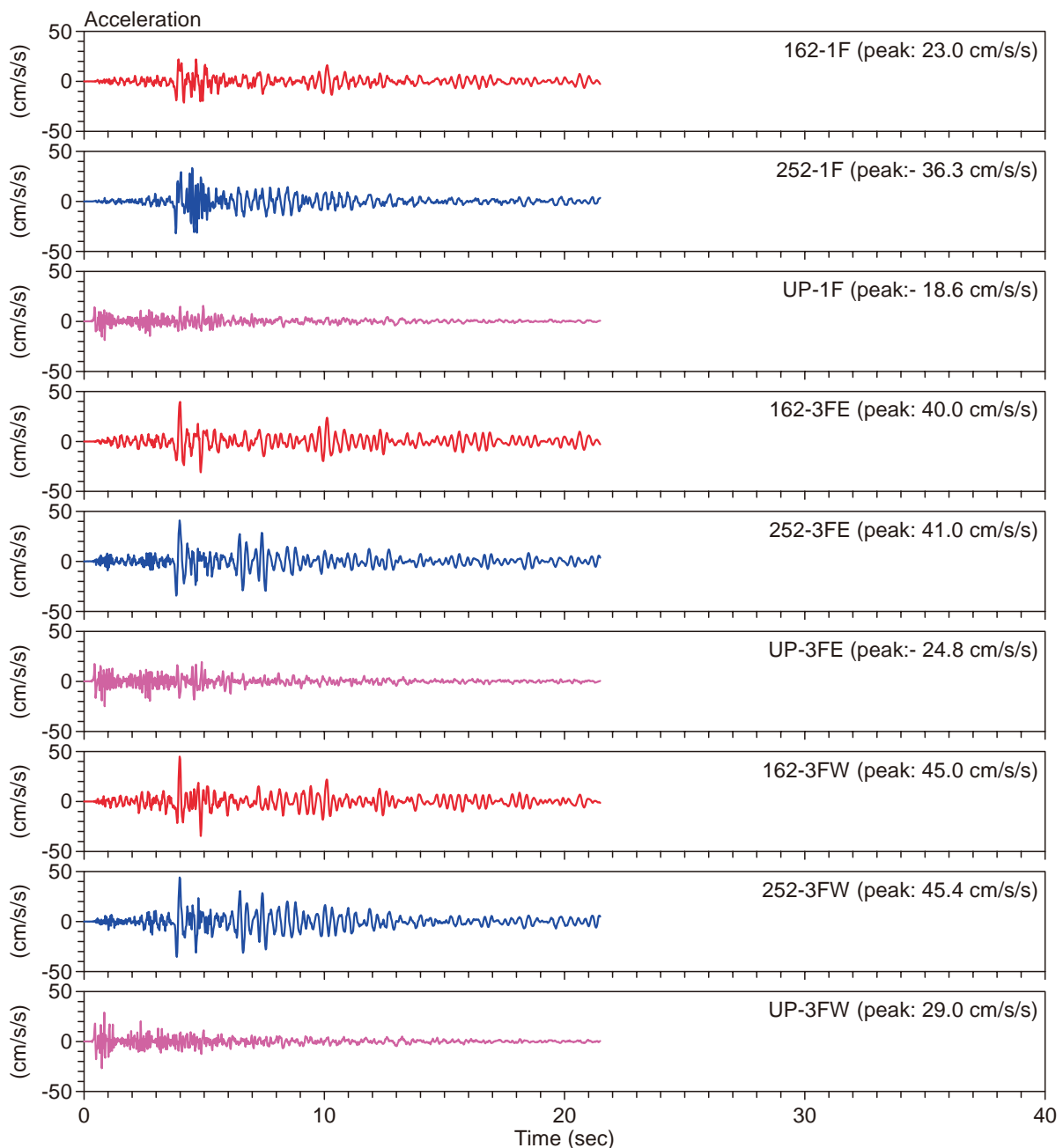


図-9.3.7 西山町事務所で観測された加速度記録(2007/07/25 05:52、h=24km、M4.8)

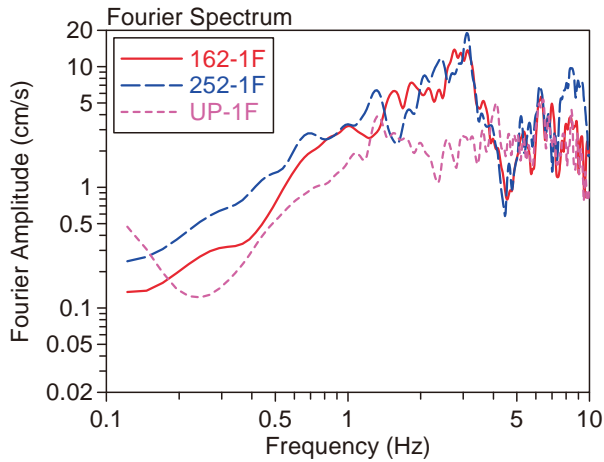


図-9.3.8 西山町事務所 1F の記録のフーリエスペクトル

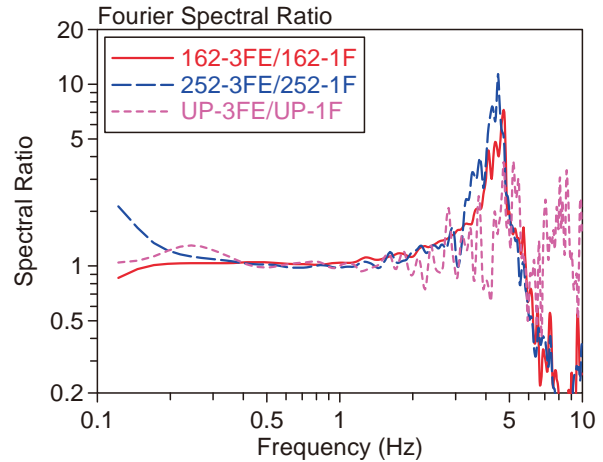


図-9.3.9 西山町事務所 3FE/1F のフーリエスペクトル比

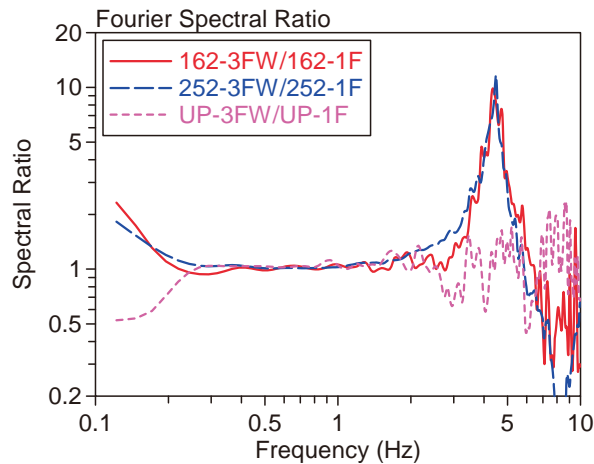


図-9.3.10 西山町事務所 3FW/1F のフーリエスペクトル比

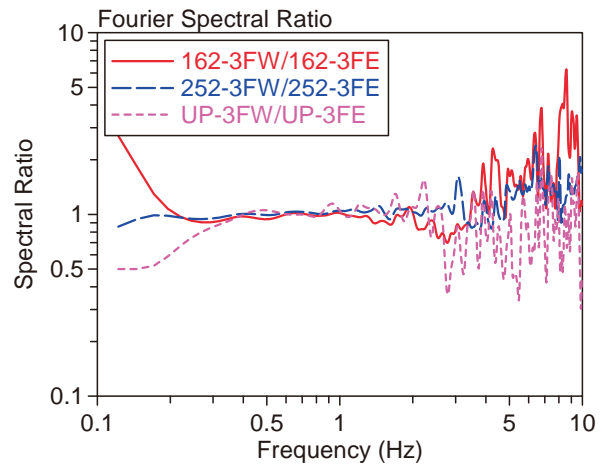


図-9.3.11 西山町事務所 3FW/3FE のフーリエスペクトル比

9.3.7 柏崎市役所における入力地震動に関する考察

2007年7月25日6時52分の地震(深さ24km、M4.8)⁹⁾による余震記録を用いて、柏崎市民会館大ホール及び柏崎市役所本館の入力地震動の特性について考察する。

柏崎市役所の敷地内には、防災科学技術研究所のK-NETの観測地点(NIG018)と新潟県震度情報ネットワークの柏崎と2つの観測装置が設置されている。余震観測期間中は4台の強震計を加え、計6点での観測が実施されていたことになる。各観測装置の位置を図-9.3.12に示す。このうちK-NETと県の震度計は地盤上の観測地点であり、1FNと1FSは柏崎市民会館大ホール1階に、B1Fは柏崎市役所本館の地下1階に設置されており、これらの記録を比較することにより、これらの建物への入力地震動を検討することができる。

図-9.3.13に、柏崎市民会館大ホール1階北側(1FN)、同南側(1FS)、柏崎市役所本館の地下1階(B1F)、及びK-NET柏崎(K-NET)で得られた加速度記録のNS成分を並べて示す。最大加速度はK-NETが 39cm/s^2 と最も大きく、1FNと1FSがK-NETの半分弱の値、B1FはK-NETの1/3以下の値となっている。加速度波形に着目すると、特にK-NETの波形に重畳した高振動数成分が特徴的である。

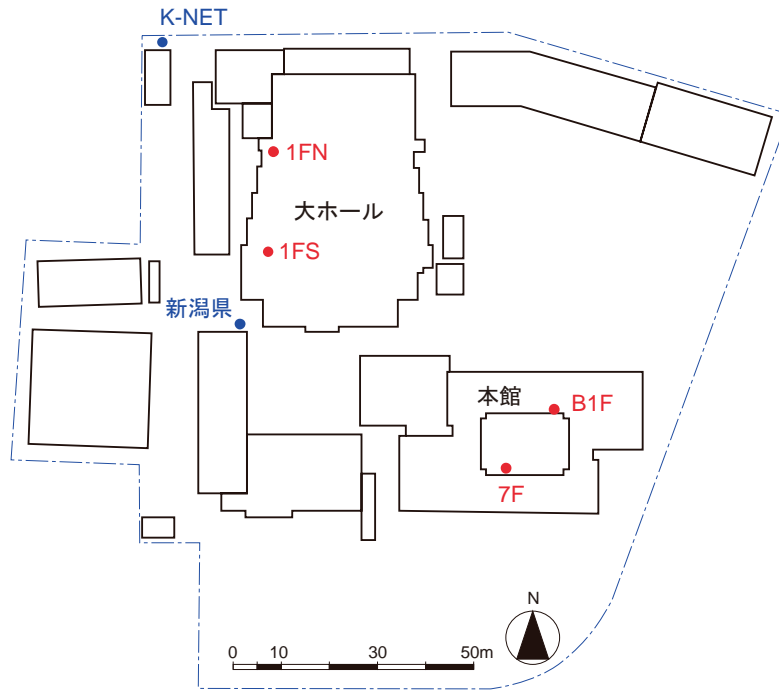


図-9.3.12 柏崎市役所敷地内の強震観測地点(K-NET及び新潟県の震度計)と余震観測位置(1FN、1FS、B1F及び7F)

図-9.3.14は同様に、EW成分の加速度記録を並べたものである。最大加速度の差はNS成分より小さくなり、K-NETに対する1FNとB1Fの最大加速度の比率は9割強、5割強となっている。加速度波形を見ると、NS成分の場合と同様に、K-NETの記録には高振動数成分が優勢である。

各加速度記録のフーリエスペクトルとK-NETを基準としたフーリエスペクトル比を、NS成分について図-9.3.15に、EW成分について図-9.3.16に示す。フーリエスペクトルを見ると、NS成分、EW成分とも、建物の中の記録(1FN、1FS及びB1F)は2Hz以下の低振動数領域でほぼ一致している。3Hz辺りでB1Fは1FN及び1FSを下回っており、1FNと1FSは全般に良く一致している。

フーリエスペクトル比に着目すると、両方向成分とも、建物の中の記録(1FN、1FS及びB1F)は地盤上の記録(K-NET)に比べて4Hz以上の高振動数領域で振幅が著しく低下している。特に市役所本館地下1階(B1F)の場合、3Hz前後の振動数でもスペクトル比の落ち込みが確認できる。ただし、2Hz付近ではスペクトル比が1を上回っており、建物の中の記録が地盤上の記録より大きい現象が現れており、注意が必要である。地盤の非線形効果も考慮した検討が更に必要であるが、余震記録から判断すれば、前述のように市役所本館建物の1次固有振動数は3Hz前後と推察され、この振動数領域ではある程度の入力低減も想定することができる。

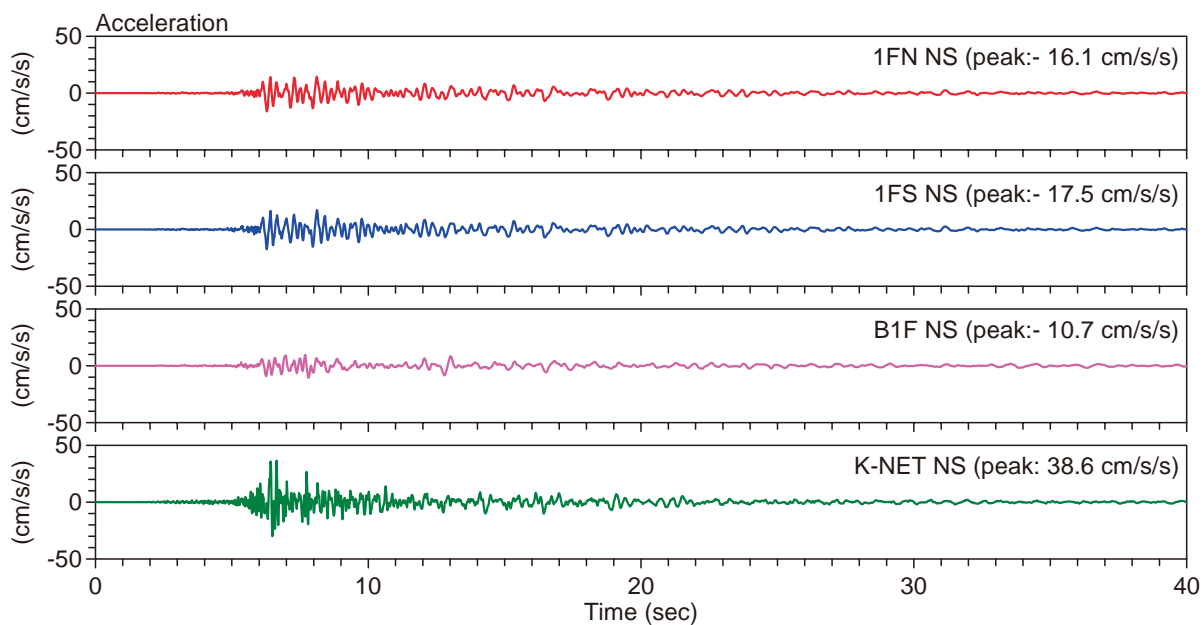


図-9.3.13 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録(NS成分)

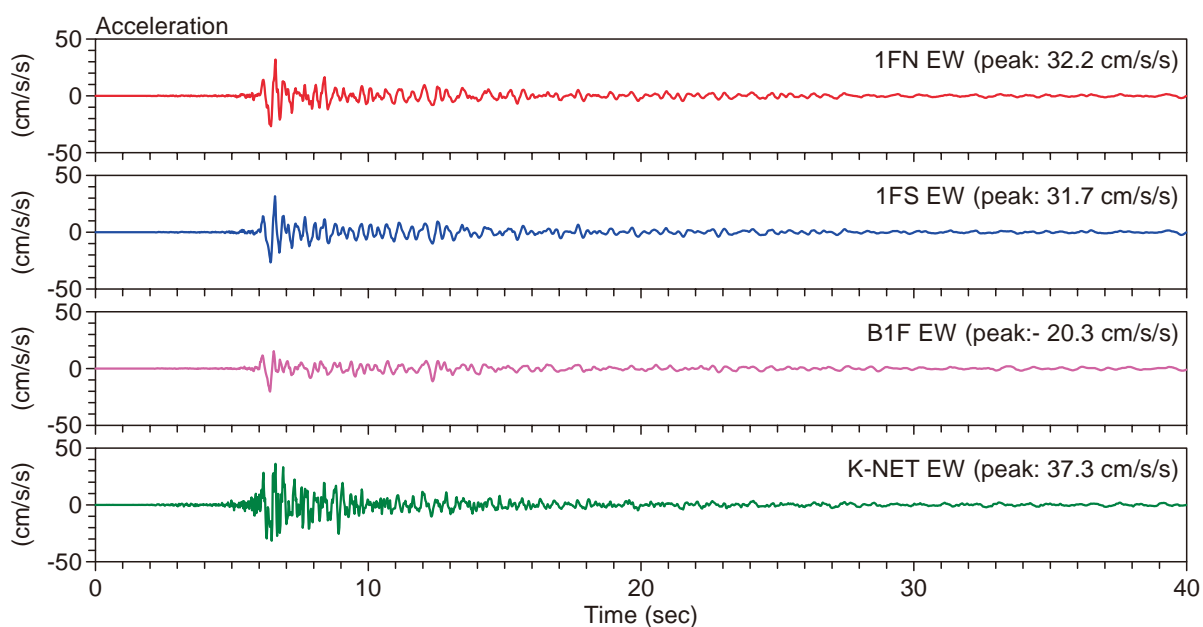
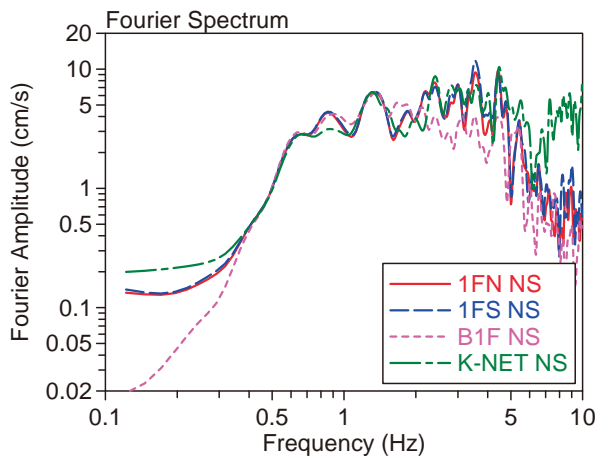


図-9.3.14 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録(EW成分)

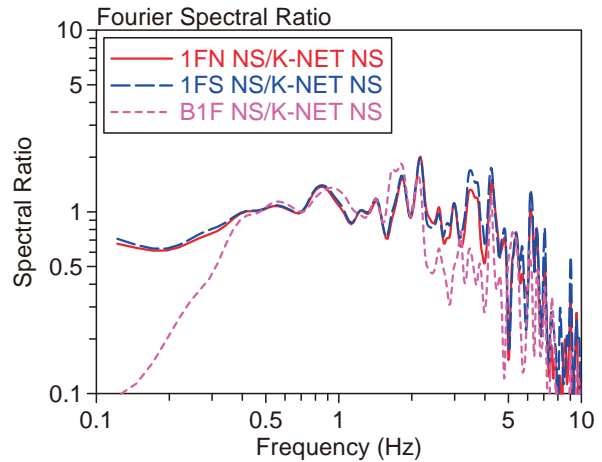
9.3.8 本節のまとめ

2007年新潟県中越沖地震の本震は、新潟県上中越沖の深さ17kmを震源とする、気象庁マグニチュード6.8の地震であった。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であったが、断層面は確定していない。震源断層は、新潟県出雲崎町の沖合から柏崎市の沖合まで約30kmに達し、破壊は北東から南西へ伝播した。

この地震において建築研究所の強震観測網では、北陸から関東、東北にかけての37の観測地点で強震記録が得られた。このうち、小千谷小学校と上越社会教育館で震度5を、

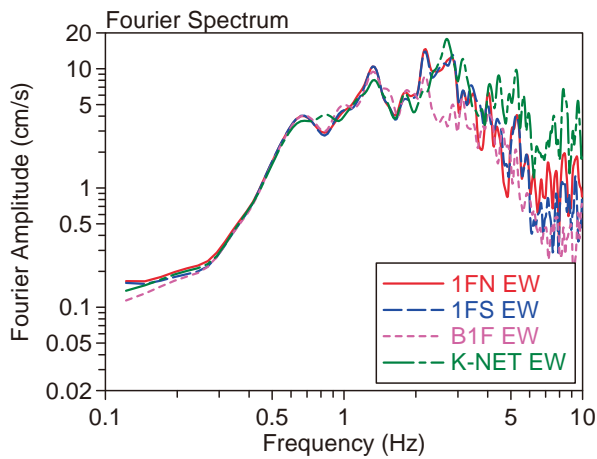


(a) フーリエスペクトル

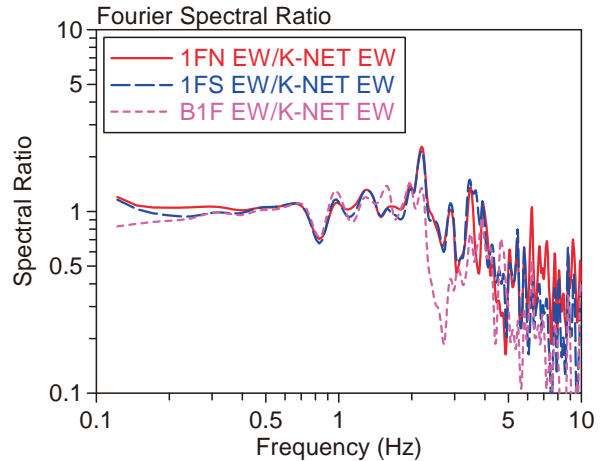


(b) フーリエスペクトル比

図-9.3.15 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録のフーリエスペクトルとK-NETに対するフーリエスペクトル比(NS成分)



(a) フーリエスペクトル



(b) フーリエスペクトル比

図-9.3.16 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録のフーリエスペクトルとK-NETに対するフーリエスペクトル比(EW成分)

新潟市役所分館、長野県庁、及び建築研究所新館で震度4を観測した。

本震発生日の翌々日の7月18日より8月9日までの間、柏崎市役所及び柏崎市西山町事務所を対象に余震観測を行い、貴重な記録を多数収集した。柏崎市役所では、市役所本館と市民会館大ホールで余震観測を行い、建物への入力地震動に関して貴重な観測資料を得ることができた。また西山事務所では庁舎建物の振動特性を把握することができた。

謝辞（余震観測関係）

柏崎市役所及び柏崎市西山事務所の余震観測に当たっては、地震直後の極めて多忙な中、柏崎市総合企画部人事課入澤昇氏、柏崎市西山事務所総務課栗田哲雄氏をはじめとして、柏崎市の関係各位に便宜を図っていただいた。ここに記して心から謝意を表す。

9.4 木造建築物の被害

9.4.1 調査目的と概要

(1) 調査の目的

平成 19 年新潟県中越沖地震の発生に伴い、木造建築物にも多数の被害が発生した。国土交通省並びに同国土技術政策総合研究所は地震の発生当日から緊急調査団を派遣し、被害の概要を把握した。また、国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所は、地震発生の翌日から木造建築物の被害概況を把握し、以後の調査計画を策定するための基礎資料を得る目的で、初動調査を行った。初動調査に続いて被害概要の把握を継続するとともに、木造建築物の構法、構造要素の配置、被害程度との関係から被害の特徴を把握し、被害原因を究明するための基礎資料を得る目的で、2次調査を実施した。

本節では、これらの調査によって得られた調査結果¹⁾の概要を抜粋して報告するとともに、収集した資料、情報から耐力壁量と被害程度の関係、地震応答解析結果と被害の関係に関する考察を行い、被害原因について検討した結果¹⁾の概要を報告する。

(2) 初動調査（平成 19 年 7 月 16 日～18 日）の概要

国土交通省北陸地方整備局、報道等による被害情報に基づき、被害が集中しており、かつアクセスが可能な地区を調査対象に選定し、柏崎市と刈羽村の中心市街地周辺、柏崎市茨目、田尻地区等の郊外、刈羽村十日市、井岡地区等の田園地帯、並びにそれらの調査地への経路上経由する地区等において、主として道路からの観察及び建物の外観目視により被害の概要調査を行った。

(3) 第 2 次調査（平成 19 年 7 月 20 日～23 日）の概要

初動調査の結果、被害が多いと判断された柏崎市東本町、茨目、上田尻、田塚、荒浜、並びに刈羽村刈羽において被災した木造建築物のなかから、詳細な調査を実施する建物を選定して、詳細調査を実施した。調査対象の選定にあたっては、可能な範囲で、被害の大きい建物と、その近傍に建つ外観上は被害が比較的軽微に見える建物を選定した。

詳細調査では、建築物の属性（階数、用途、構造方法、基礎の構造方法等）、敷地条件（地盤、擁壁の状況等）とその被害状況を調査するとともに、各部の残留変形を計測し、建築物の間取り及び壁の配置等の作図又は図面を収集し、併せて建設年代や増改築履歴等に関する居住者に対するヒアリングを行った。以上の調査を行った主な地域と震央の関係を図-9.4.1 に示す。各地の調査日等を整理すると以下の通りとなる。

調査地	概要調査	第 2 次(詳細)調査
柏崎市東本町	7/17	7/22
柏崎市新花町、小倉町、諏訪町	7/18, 21	—
柏崎市茨目、田尻、田塚	7/18	7/21
柏崎市松波、橋場町	7/18	—
柏崎市荒浜	—	7/23
刈羽村刈羽	7/17, 23	7/23
刈羽村十日市、井岡、新屋敷、上高町等	7/17, 23	—

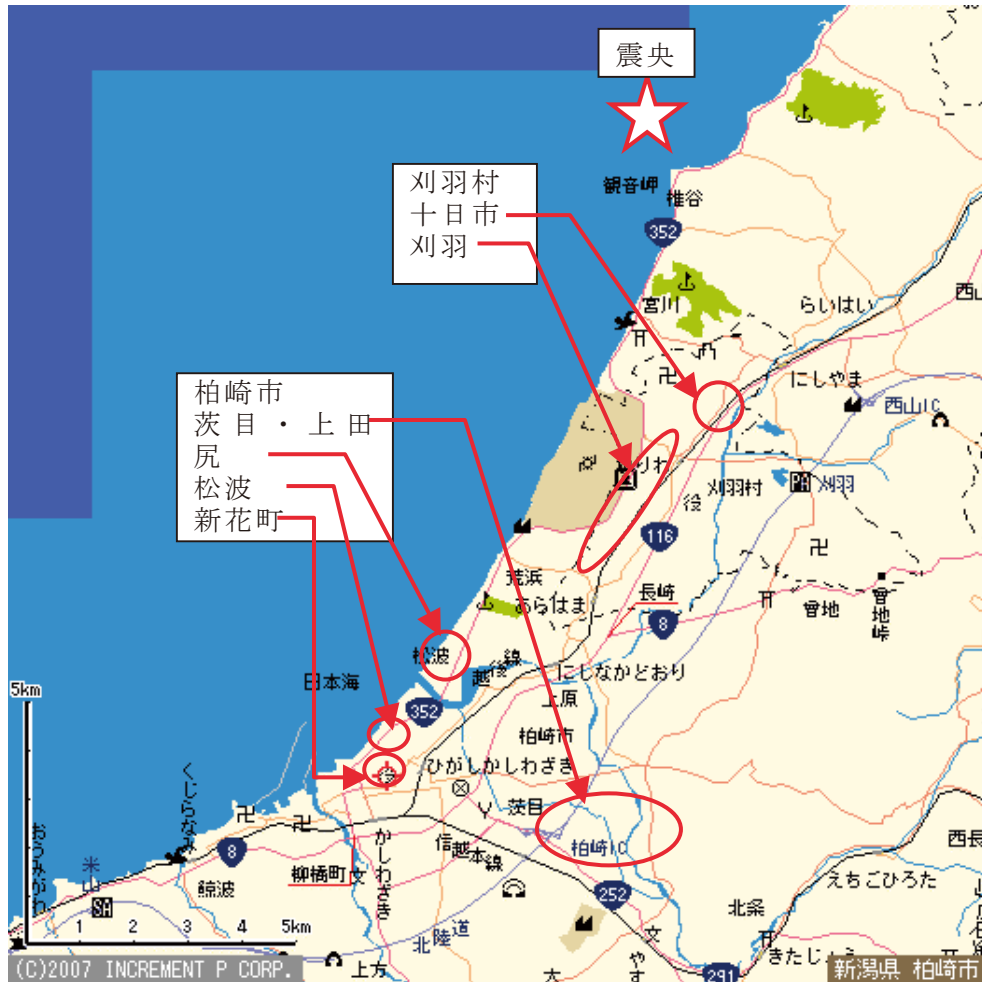


図-9.4.1 震央と主な調査地の位置関係

(4) 調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所

建築研究部基準認証システム研究室 主任研究官 植本敬大 (7/16～18、7/20～7/23)

建築研究部構造基準研究室 主任研究官 宮村雅史 (7/20～7/23)

独立行政法人建築研究所

構造研究グループ上席研究員 河合直人 (7/20～7/23)

材料研究グループ上席研究員 中島史郎 (7/20～7/23)

材料研究グループ主任研究員 山口修由 (7/20～7/23)

材料研究グループ研究員 中川貴文 (7/20～7/23)

構造研究グループ交流研究員 小松弘昭 (7/20～7/23)

9.4.2 各地の被害状況

(1) 柏崎市役所南側（東本町、西本町、小倉町、四谷、日吉町等）の被害概況

日吉町は倉庫や車庫の被害はあるものの、住家に目立った被害は無い。四谷付近から次第に被害が多くなる。JR 越後線の踏切を越えると（東本町）通りの両側から交通を

遮断するように倒壊した複数の家屋（写真-9.4.1）が確認された。線路に向かって倒壊している家屋も確認された。その他、比較的古い構法による木造家屋が軒並み倒壊している状況（写真-9.4.2）も確認された。東本町～西本町にかけては古い商店街であり、築 50～60 年を超えると推定される家屋が密集している。店舗併用住宅が多く見られ、特に古い構法によるものは、倒壊を含む甚大な被害（写真-9.4.3）を受けていた。

絵本館と称されるほぼ総 2 階建ての木造建築物（写真-9.4.4）は、倒壊は免れたものの、極めて大きい残留変形（西へ 1/5）を有していた。この建物については、2 次調査を行った結果、昭和 9 年に（築 73 年）病院（産婦人科）として建築され、現在では営業しておらず、医学書等書籍、資料を全て 2 階に上げ、1 階を絵本館として開放していた。有筋の基礎を有し、外周壁には 55×118mm 程度の筋かい（釘留め）が入っているが、2 階にある書籍は書棚の内法容積 20.6m² に基づいて、書籍の充填率を 0.7 と推定し、紙の密度（0.8g/cm³）¹⁰ から推定した結果、約 11.5t（約 120kg/m²）と考えられ、少なからず、被害に影響を及ぼしたと考えられる。その他、樹木を倒して倒壊した例や、倒壊した家屋（写真-9.4.5）の構造部材に腐朽、蟻害（写真-9.4.6）も確認された。



写真-9.4.1 東本町 3 丁目で道路閉塞した倒壊家屋群



写真-9.4.2 軒並み倒壊した古い構法による家屋



写真-9.4.3 倒壊した店舗併用住宅



写真-9.4.4 残留変形が大きい総 2 階の比較的立派な造りの木造



写真-9.4.5 土壁を有する古い構法の倒壊 写真-9.4.6 写真-9.4.5の部材の腐朽・蟻害

(2) 柏崎市役所北側（新花町、中央町等）の被害概況

この地区も築 50～60 年を超えると推定される家屋が多いが、それほど古くない家屋とも混在している。古い構法による家屋が連続して倒壊している状況（写真-9.4.7）が確認された。印象では倒壊家屋の多さは東本町 3 丁目付近の次に多い。比較的古い建物で、間口に大開口を設けない店舗併用住宅（写真-9.4.8 右）も多いが、開口を設けたものは大きな残留変形を有するなどの被害（写真-9.4.8 左）を受けていた。車庫、納屋の類の倒壊も多数有る。また、2階のみが崩落する被害例（写真-9.4.9）なども確認された。一見して新しいように見える住宅の被害（写真-9.4.10）も少数あるが、よく見ると外壁のみ改修したもので、甚大な被害を受けて土塗り壁が露出した例（写真-9.4.11）があった。社寺建築も壊滅的な被害を受けていた。



写真-9.4.7 倒壊家屋が連続する新花町



写真-9.4.8 新花町の店舗



写真-9.4.9 2階が崩壊した例



写真-9.4.10 一見新しく見える住宅の倒壊



写真-9.4.11 写真-9.4.12の近景（土壁の残骸が確認された）

(3) 茨目、上田尻、田塚地区の被害概況

この地域には比較的新しい住宅（概ね築30年以下と推定される）が多く、比較的住宅の被害は軽微で、車庫、倉庫、納屋、作業所の類が倒壊を含む大きな被害を受けた例は数多く確認（写真-9.4.12）された。調査した範囲では、倒壊または大破した住宅は少なく、残留変形が大きい住宅もあるが比較的構法が古いもの（写真-9.4.13）か、外周のみ改修して一見新しく見えるが構造要素は土塗り壁など比較的古い構法と想像されるもの（写真-9.4.14）である。また、地盤変状により極低い擁壁が倒れ（写真-9.4.15）、噴砂痕（写真-9.4.16）も確認された敷地に建つ店舗併用住宅が不同沈下している被害例（写真-9.4.17）等も確認された。



写真-9.4.12 多くの車庫、倉庫が倒壊



写真-9.4.13 大破した比較的古い構法による住宅



写真-9.4.14 残留変形が大きい住宅（外壁のみ改修し構造要素は土塗り壁等比較的古いものであると推測される）



写真-9.4.15 地盤変状により倒れた極低い擁壁



写真-9.4.16 写真-9.4.17 の敷地の噴砂痕 写真-9.4.17 不同沈下した店舗併用住宅
(平屋と2階建て部分の境界付近が不同沈下)

(4) 春日地区の被害概況

春日地区には、比較的新しい住宅（概ね 築 30 年以下と推定される＝写真-9.4.18）が多く、専用住宅の被害は少ないが、店舗併用住宅などで倒壊したものが1棟、倉庫、車庫、作業所の類の倒壊例が複数確認された。



写真-9.4.18 比較的新しい住宅が立ち並ぶ春日地区

(5) 松波、橋場町地区の被害概況

柏崎市松波地区は、比較的新しい住宅（概ね築 15 年以下と推定）が多く、液状化を含む地盤被害が顕著であった。特に平成橋の南西から、鯖石川改修記念公園にかけて大きな地割れが走り、比較的新しい木造住宅（写真-9.4.19）、1階をRC造とする高床式の木造（写真-9.4.20）、軽量鉄骨造の社員寮、木造の集合住宅（写真-9.4.21）などの建物が被害を受けていた。この集合住宅の被害は、下屋部分の継ぎ目が分裂（写真-9.4.22）し、有筋の基礎も破断（写真-9.4.23）していた。この地割れはゴミ焼却場の損傷した煙突の方向へ延び（写真-9.4.24）、煙突付近では約 3m の高低差の断層を生じていた。



写真-9.4.19 地盤変状により大きな被害を受けた比較的新しい木造住宅



写真-9.4.20 地盤変状により傾斜が生じた高床式木造（1階部分RC造）



写真-9.4.21 部分的に大破した木造共同住宅



写真-9.4.23 地盤変状で破壊した基礎



写真-9.4.22 写真-9.4.21 の下屋部分の接続部の破壊



写真-9.4.24 地割れの延長線上にある損傷したゴミ焼却場の煙突

(6) 刈羽村の被害

刈羽村役場の被害情報、並びに報道等によって人的被害が発生した地点等の情報に基づいて、7/17 に刈羽村刈羽、十日市、西元寺、井岡、西谷、大塚、新屋敷、上高町地区の被害の概要を調査した。

木造建築物の被害としては、土塗り壁を有するような比較的古い構法による家屋が選択的に倒壊し、道路交通を遮断している例（写真-9.4.25）も見られた。比較的築年数が新しいと推定される家屋が倒壊している例（写真-9.4.26）も確認されたが、1階を車庫、倉庫、または作業所として使用していて、道路と平行方向の1階の壁量が少ないことが被害の原因として推測された。倉庫、車庫、納屋の類は、比較的築年数が新しいと思われるものでも倒壊を含む大きな被害を受けたものが多く確認された。また、増築部と既存部が分裂した被害例（写真-9.4.27）や、小屋組が崩落するような希少な被害例（写真-9.4.28）も確認された。

刈羽村の各地区の一部には、液状化などの地盤の被害も見られた。まれに1階をRC造、2、3階を木造とする高床式の住宅も見られたが、いずれも外観上はほぼ無被害のように見えた。また、作業場で土間コンクリートに大きなひび割れが入るような被害を受けたにもかかわらず、筋かいが入っていたために上部構造は無被害であったものがあった。



写真-9.4.25 倒壊して道路を塞いだ木造家屋



写真-9.4.26 比較的新しい構法で倒壊した1階を車庫、又は倉庫等にした家屋



写真-9.4.27 増築部と既存部が分裂した被害例



写真-9.4.28 小屋組の一部が崩壊する希少な被害例

9.4.3 被災地の木造家屋の特徴

詳細調査の対象とした木造家屋に一定の特徴はあまりなく、一般的な総2階建ての専用住宅（図-9.4.2）、通り庭を有する町屋建築（図-9.4.3）、田の字に続き間が配列する農家型の民家（図-9.4.4）、店舗併用住宅（図-9.4.5）など多様である。なるべく、多様な物件を調査するように調査対象を選定したためとも考えられるが、今回の被災地域には、商店街、住宅街、農村地域等様々な地域が含まれていたためとも考えられる。

また、伝統的な構法による町屋建築等の一部には、サシヅクリ（写真-9.4.29）と言われる、梁桁を井桁状に組んだ吹抜、又は天井を高くした部屋が建物中央部に存在する。2階建てであっても、この部分には2階の居室が無い。水平構面が連続していないので、少なからず耐震性能に影響は及ぼしていると想像されるものの、その功罪については次項以降の分析でも明らかにはなっていない。



写真-9.4.29 サシヅクリ

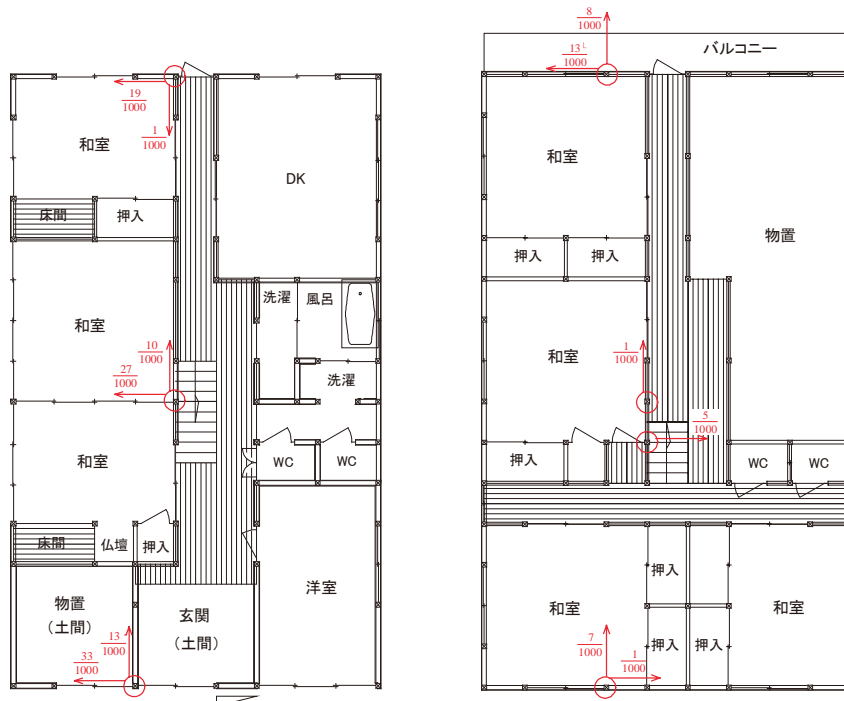


図-9.4.2 一般的な総2階建て専用住宅の調査対象物件の平面

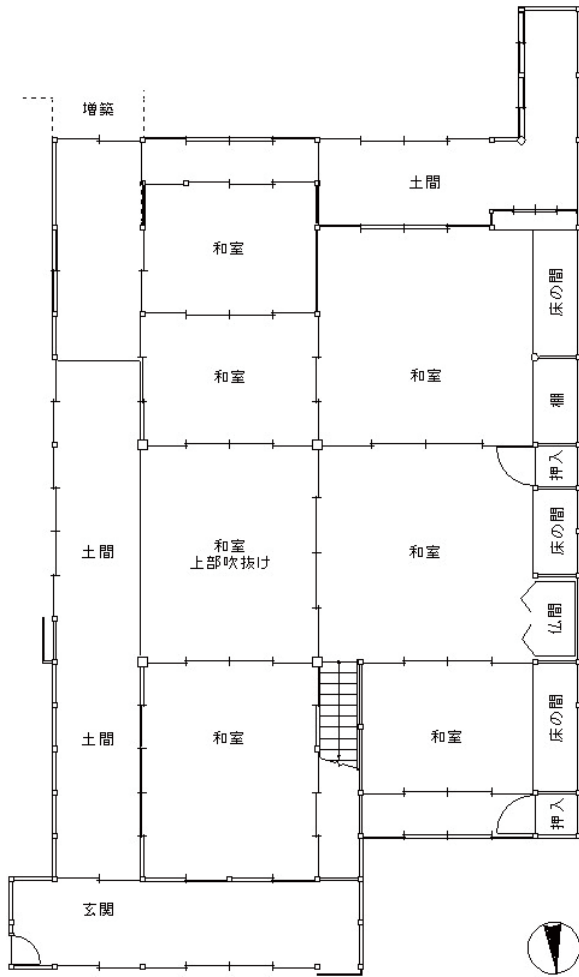


図-9.4.3 町屋建築の調査対象建物の平面

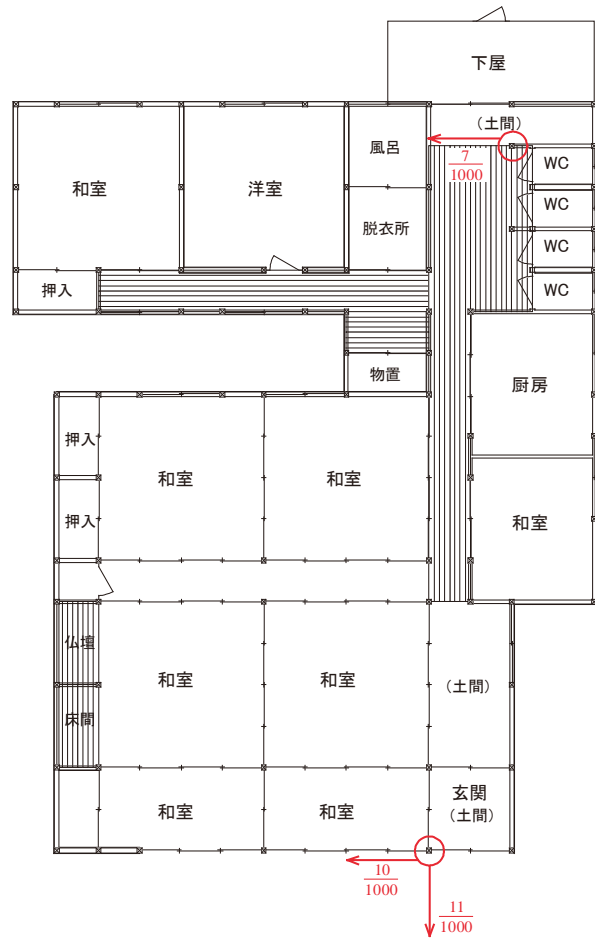


図-9.4.4 農家型の調査対象建物の平面

9.4.4 被災地の木造家屋の壁量

(1) 壁量の算出方法

表-9.4.1 に示す詳細調査を実施した建物それぞれの壁量と被害程度の間関係を考察した。壁量の算出には2通りの方法を適用した。

第一の方法では、筋かいや合板の有無・寸法等が不明である場合が多いため、無開口壁を倍率1として壁量を算出した。図面を拝借するなどして筋かいの配置が判明したものは筋かいの倍率を1として、無開口の壁量に加えた。これらに基づいて現行建築基準法の必要壁量に対する充足率（以下、基準法の壁量充足率と称する）を求めた。

第二の方法では、第一の方法によって算出した壁量に、開口壁の腰壁、垂れ壁を評価し、壁量として加えた。壁量として算入する開口壁は、少なくとも一方が無開口壁と隣接するものに限り、その評価方

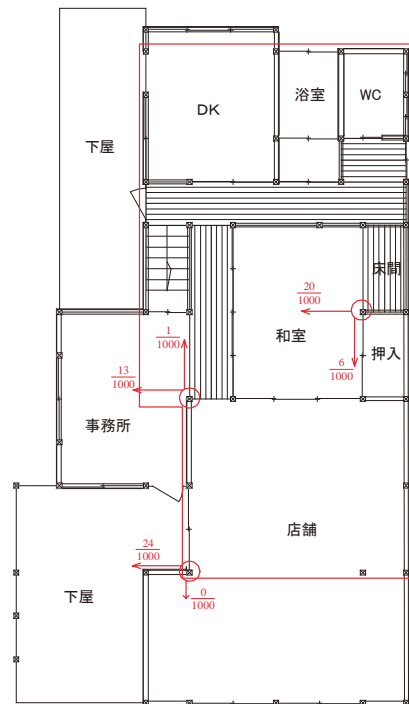


図-9.4.5 店舗併用住宅の調査対象建物の平面

法は、開口低減係数¹¹⁾を準用して表-9.4.2に示す通りとした。ここで得られた壁量を住宅の品質確保促進法（以下、品確法）の壁量評価法に基づいて耐震等級1と同等に要求される壁量のうち、一般地に要求されるもの（表-9.4.3¹²⁾）と比較して壁量充足率（以下、品確法の壁量充足率と称する）を算出した。

表-9.4.1 被災木造建築物の詳細調査結果の概要

地区	邸名	築年数	階数	応急危険度	残留変形角の 最大値	被害概況	図面
柏崎市田塚・上田尻	T-1	41	2	危険	東へ1/30、 南へ1/77	地盤変状、不同沈下有り。筋かいあり。常時微動卓越周波数約3 Hz。	作図
	T-2	43	2	危険	東へ1/40、 南へ1/77	地盤変状、不同沈下有り。金融公庫融資。	作図
	T-3	70	2	要注意	1階1/50、 2階1/60	20年前に一部増築。建物は南東方向へ傾斜。土塗り壁に大きく亀裂がはいる。	作図
	T-4	27	2	危険	東へ1/60	東側に隣接する水田へ向かって傾斜。基礎の傾斜はほぼ無し。	複写一部作図
柏崎市東本町	H-1	73	2	危険	西へ1/5	座屈した筋かいを確認。基礎の割れ確認。2階に約11.5tの書籍が積載。土壁崩落。	作図
	H-2	80	2	危険	西へ1/6	築120年の平屋部分に増築した部分。柱の折損確認。	作図
	H-3	20	2	調査済	0	1階が倉庫・車庫で2階が作業場。被害無し。クロスも亀裂無し。	作図
	H-4	51	2	危険	東へ1階1/17、 2階1/90	1階店舗。隣接建物に衝突痕有り。切石基礎が端部で転倒。	作図
	H-5	100以上	2	危険	東へ1/10	建物中央部はサシヅクリ。ケヤキの21 cm 角の柱。上部は井桁状の梁。差し鴨居1箇所落下あり。	作図
柏崎市荒浜	A-1	75	1		南西1/100、 南東1/91	S45年の増築部は金融公庫融資受ける。砂地盤。小屋の一部が崩落。	作図
	A-2	110	2	危険	北東1/100、 北西1/111	建物中央部の柱は195 mm 角で、吹抜のあるサシヅクリ。	作図
刈羽村刈羽	K-1	100	1	危険	南に1/30、 西に1/40	建物中央部はサシヅクリ、柱222mm 角。165mm 角の柱が折損。床下地盤に割れ。	作図
	K-2	15	2	危険	東へ 1F:1/400、 2F:1/170	K-1の増築部分。K-1との接続部分で分離し、その壁線で石膏ボード剥落。	作図
	K-3	25	2	危険	北西に 1/28、 北東に1/50	H16中越地震で液状化、その後地盤改良。今回は不同沈下有り。柱折損。	作図
	K-4	2	2	調査済	1/125	ログハウス。ほぼ無被害。	撮影

注、壁量等の考察において、ログハウスであるK-4を除外している。

表-9.4.2 有開口壁の評価方法

開口幅	単位長さ当たりの倍率	
	窓型開口	掃出し開口
1m以下	0.4	0.2
1m～2m未満	0.3	0.15
2m以上*	0.2	0.1

*：ただし、3m以上は3mと見なす。

表-9.4.3 品確法の壁量評価法に基づいて耐震等級1と同等に要求される壁量

屋根・壁の種類	必要壁量	
	1階	2階
重い材料による場合	$46K_1Z$	$20K_2Z$
軽い材料による場合	$36K_1Z$	$14K_2Z$

ただし、 $K_1=0.4+0.6R_f$ 、 $K_2=1.3+0.07/R_f$
 (R_f は2階の床面積の1階の床面積に対する割合、0.1未満の場合は $K_2=2.0$ 。Z：建築基準法施行令第88条に規定する地震地域係数、石川県輪島市は0.9)

(2) 調査対象建物の壁量充足率と偏心率

詳細調査建物の各方向の基準法と品確法の壁量充足率を比較してそれぞれ図-9.4.6、図-9.4.7に示す。ここで、X方向と称する方向は、概ね東西方向を示し、建物の梁間方向、桁行方向が東西南北と必ずしも一致していない場合は、採光を考慮したと推定される縁側等を南向きと判断し、X、Y方向を決めた。また、比較のために平成19年に能登半島地震の際に実施した詳細調査対象建物の基準法と品確法の壁量充足率をそれぞれ図-9.4.8、図-9.4.9に、さらに平成16年新潟県中越地震に詳細調査した建物の基準法と品確法の壁量充足率をそれぞれ図-9.4.10、図-9.4.11に示す。

壁量充足率は、X方向とY方向の壁量の相関性は低い。これは、前述の通り、通りに面する方向に依存して壁量が決まる傾向にあるためである。平成19年能登半島地震による被災建築物と比較して基準法の壁量充足率は若干高いが、平成16年新潟県中越地震¹³⁾による被災建築物とは同程度である。1階よりも2階の充足率が高い建物が多いのも前述のH19能登半島地震、H16新潟県中越地震の場合とほぼ同じ傾向である。

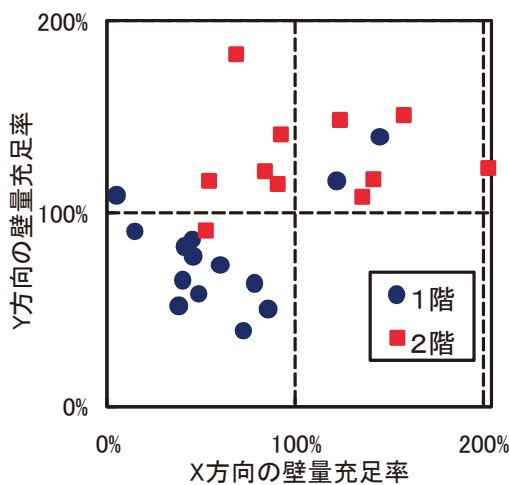


図-9.4.6 H19新潟県中越沖地震詳細調査建物における基準法の壁量充足率

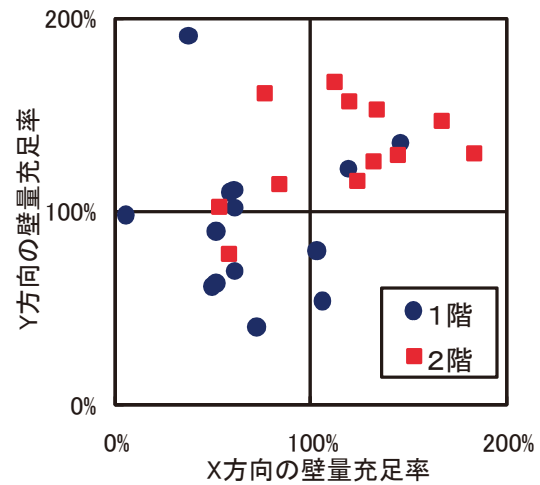


図-9.4.7 H19新潟県中越沖地震詳細調査建物における品確法の壁量充足率

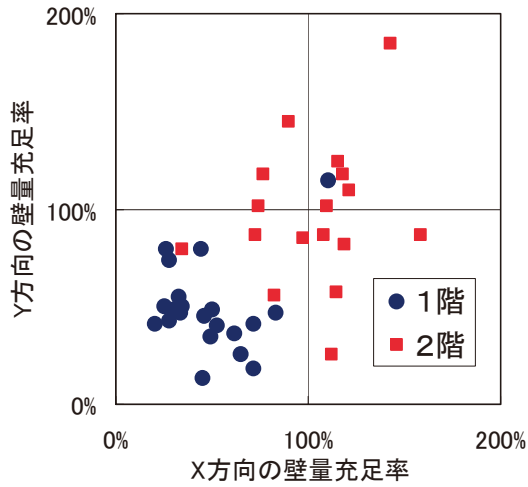


図-9.4.8 H19 能登半島地震詳細調査建物における基準法の壁量充足率

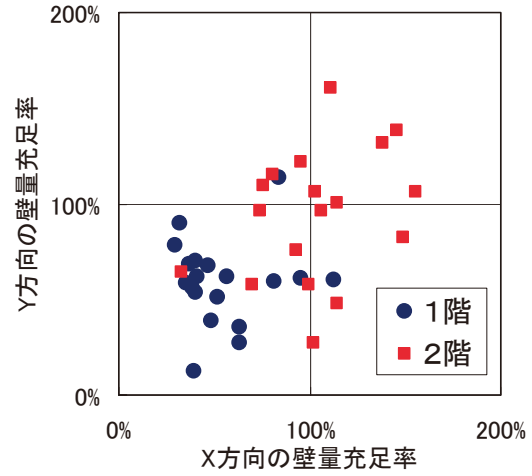


図-9.4.9 H19 能登半島地震詳細調査建物における品確法の壁量充足率

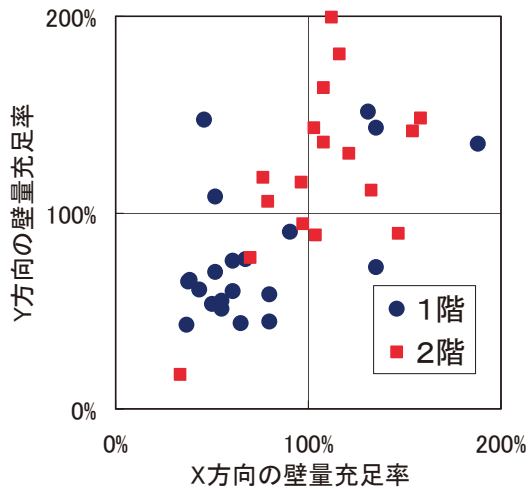


図-9.4.10 H16 新潟県中越地震詳細調査建物における基準法の壁量充足率

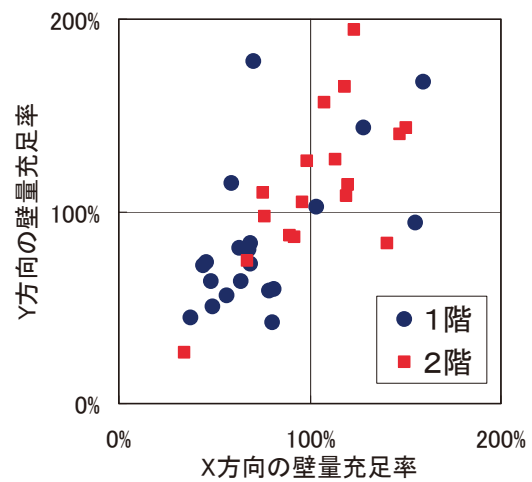


図-9.4.11 H16 新潟県中越地震詳細調査建物における品確法の壁量充足率

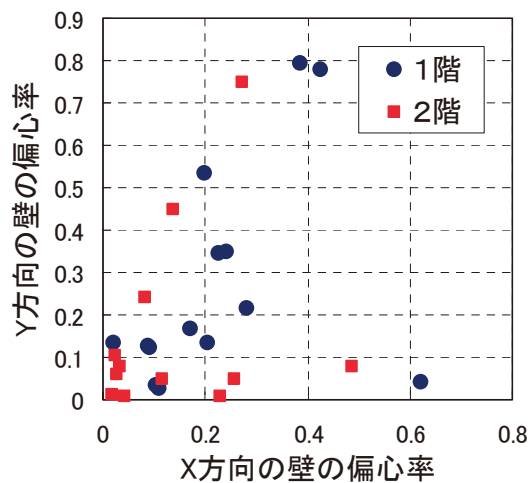


図-9.4.12 H19 新潟県中越沖地震詳細調査建物の偏心率

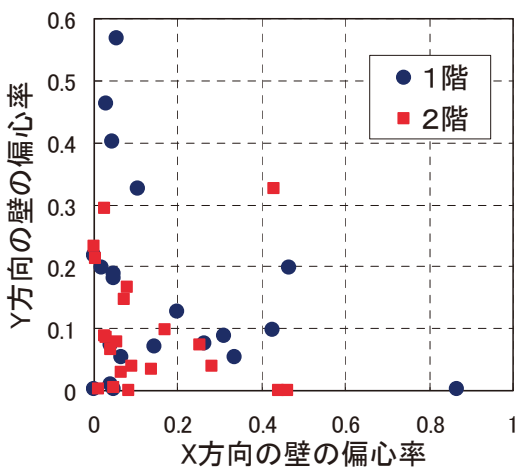


図-9.4.13 H19 能登半島地震詳細調査建物の偏心率

また、品確法の壁量充足率算出に用いた壁量の配置に基づく偏心率を算出して図-9.4.12に示す。また、H19 能登半島地震の詳細調査建物の偏心率を比較のための図-9.4.13に示す。被災建築物の1階と2階の偏心率、X、Y方向の偏心率には有意な差が認められない。今回の調査建物の偏心率は、H19 能登半島地震の調査建物より平均値は若干高いが、ほぼ同程度によくないし、極端に大きな値を示すものもない。

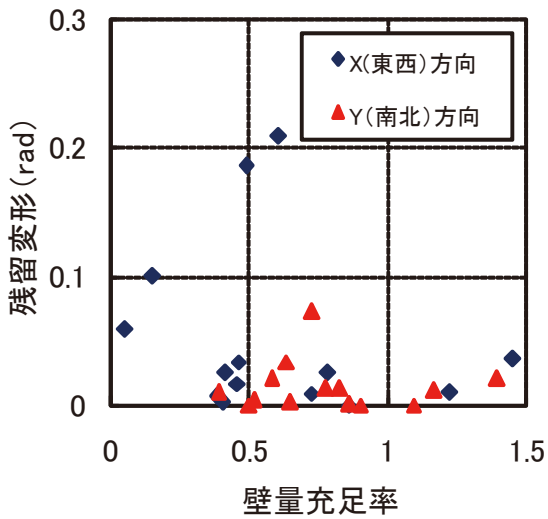
9.4.5 壁量充足率、偏心率と残留変形

(1) 壁量充足率と残留変形の関係

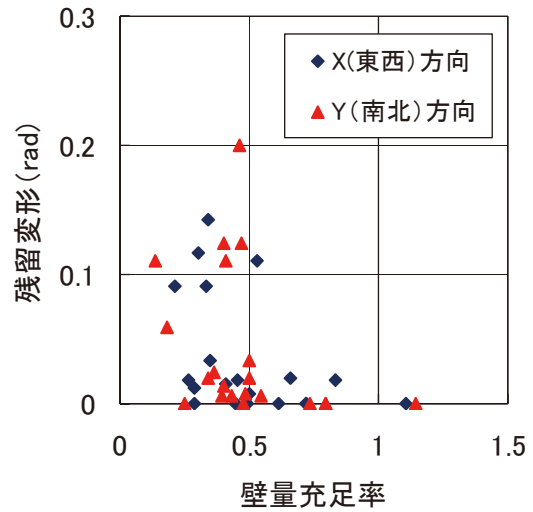
基準法、品確法の壁量充足率と残留変形を比較してそれぞれ図-9.4.14、図-9.4.15に示す。また、比較のためにH19 能登半島地震の詳細調査建物に対する壁量充足率と残留変形の関係も併記した。いずれについても、両者の間には明確な相関関係があるとは言えない。これは、耐力要素の仕様が明確でないこと、残留変形と地震時による経験変形は個々の建物ごとに異なることによるものと考えられる。

一方で、今回の中越沖地震の被害調査結果に基づけば、本報告による壁量推計に基づく壁量充足率が約60～70%以上で震度6強を記録する地震動が入力されても1/100radを超えるような被害が無いことが分かる。H19 能登半島地震の結果からは、壁量充足率が約60～70%以上で1/200radを超える被害がなかったことが得られているのに対し、壁量充足率75%～100%以上で1/200を超える被害を受けた建物が2つあるためである。これを、壁量の推計の不確実性と見るか、地震動の固有周期の際が与えたと見るかの結論は出せない。10～20の被害調査から、能登半島より今回の中越沖地震による被害が大きいと結論づけることもできない。

平成16年新潟県中越地震による震度7地域及びその近傍の調査結果では、前述のような簡易な壁量推計に基づく基準法、または品確法の壁量充足率でも、100%を超えていればせん断変形が1/10radを超えて倒壊の可能性が生じるような被害を受ける可能性はまずないこと¹³⁾が分かっており、合わせて考えると、簡易な壁量計算によっても壁量充足率が余裕をもって100%を超えていれば、H19 新潟県中越沖地震、H19 能登半島地、H16 新潟県中越地震等の震度6強から震度7に至るような大きな地震入力を与えられても使用限界1/120radを超えるような大きな被害を受ける可能性は極めて低いといえる。

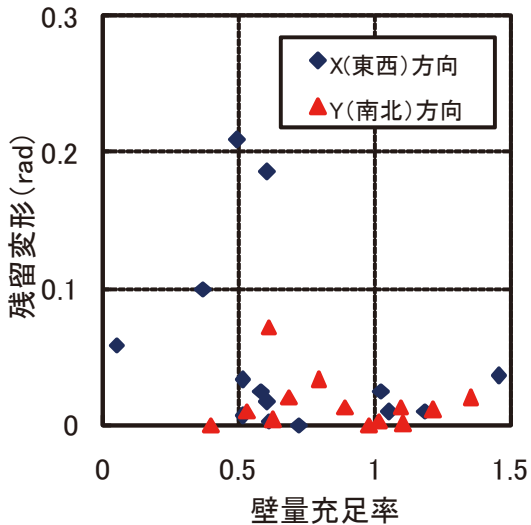


(a) H19 新潟県中越沖地震 (1階のみ)

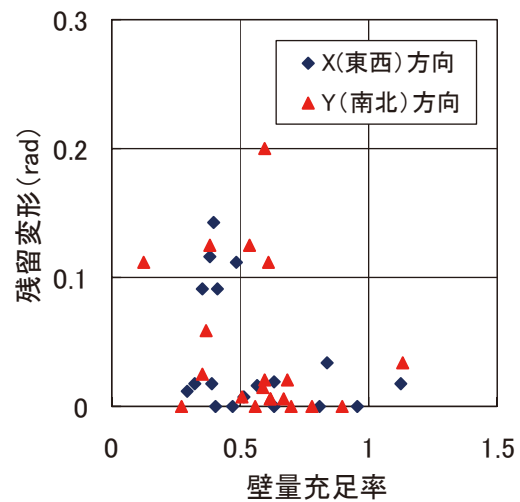


(b) H19 能登半島地震 (1階のみ)

図-9.4.14 基準法の壁量充足率と残留変形の関係



(a) H19 新潟県中越沖地震 (1階のみ)

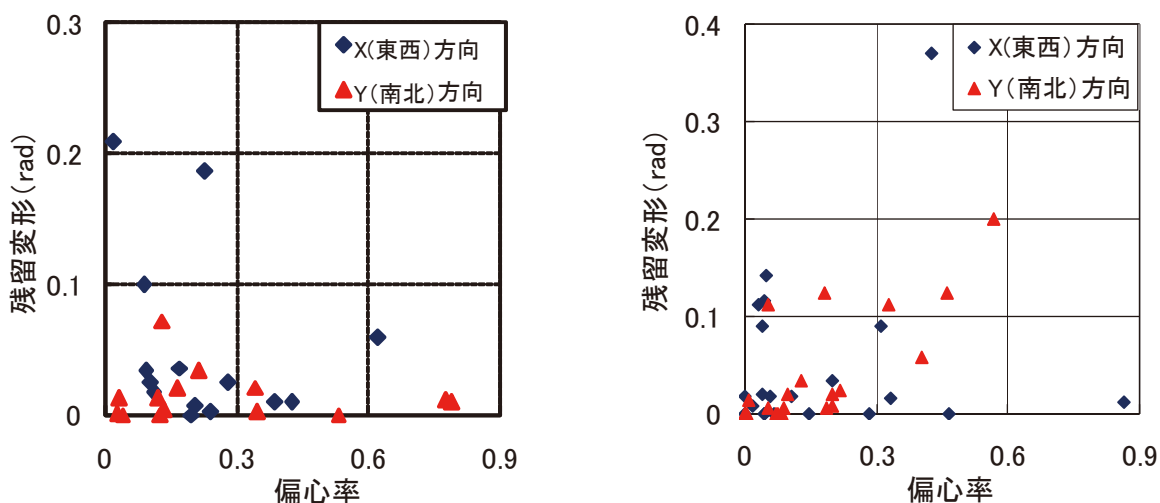


(b) H19 能登半島地震 (1階のみ)

図-9.4.15 品確法の壁量充足率と残留変形の関係

(2) 偏心率と残留変形の関係

偏心率と残留変形を比較して図-9.4.16(a)に示す。比較のためにH19能登半島地震における詳細調査建物の偏心率と残留変形の関係も併記した。H19能登半島地震における関係は、明確ではないものの、どちらかと言えば偏心率の増大とともに残留変形は大きくなる可能性があったが、H19新潟県中越沖地震においては、どちらかと言えば偏心率と残留変形は反比例している可能性が見受けられる。H19新潟県中越沖地震での調査建物は、H19能登半島地震の調査建物と比べて、偏心率は同程度で、壁量が多いため相対的に残留変形が小さい。このため、特異に残留変形が大きくなった建物が支配してそのような傾向が見えるに過ぎないと言える。



(a) H19 新潟県中越沖地震（1階のみ） (b) H19 能登半島地震（1階のみ）

図-9.4.16 偏心率と残留変形の関係

9.4.6 地震応答計算による耐力壁量と最大応答変位の関係

(1) 目的と概要

今回の地震では、木造住宅の被害が甚大な被災地において強震記録が得られており、一方で木造住宅の詳細調査から、木造住宅の各部の仕様及び主要な耐震要素の量がおおよそ把握されている。ここでは、木造住宅の被害原因の定量的考察に資することを目的として、強震記録で得られた地震波を用い、2階建て木造住宅に対して、各階の壁量及び1、2階の床面積比をパラメータとして行った地震応答計算の結果について述べる。

(2) 計算の方法

計算に用いた入力地震波は、K-net 柏崎（NIG018）、新潟県刈羽村割町新田、新潟県西山町池浦、柏崎刈羽原子力発電所1号機地震観測小屋（地表）のそれぞれのNS成分及びEW成分、合計8波である。各地震波の諸元を表-9.4.4に示す。

表-9.4.4 計算に用いた地震波の諸元

観測地点	計測震度	最大加速度 (gal)				震央距離 (km)
		3成分合成	南北	東西	上下	
K-net 柏崎	6.4	810.6	667.9	511.3	369.0	21
刈羽村割町新田	6.0	496.4	464.9	374.1	400.7	15
柏崎市西山町池浦	6.2	1018.9	840.7	878.6	565.8	13
刈羽原子力発電所 1号機地震観測小屋	6.5	1012.0	890	890	715	16

計算の対象とした建物は、以下の2種類である。

- ・ 2階建て木造 総2階
- ・ 2階建て木造 部分2階（床面積比は1階：2階＝1：0.7と仮定）

建物の重量は、重い屋根を想定した。これは、被災地において2階建ての木造住宅では2階の屋根を瓦葺きとしているものが多いことによるものである。固定荷重及び積載荷重の具体的な想定値は、単位床面積当たりの質量として表-9.4.5に示す値を用いて計算した。これらの値は、品確法における性能表示制度の評価方法基準で、耐震等級2以上における必要壁量の根拠とされる値である。

表-9.4.5 各部の質量の想定（床面積1㎡当たりkg）

	重い屋根の場合
屋根の質量 G1	130
各階の外壁の質量 G2	120
各階の内壁の質量 G3	20
各階の床の質量 G4	60
床の積載の質量 P1	61

地震応答計算は、上記の2種類の建物について、それぞれ各階の壁量をパラメータとして、建築基準法施行令第46条に規定する必要壁量に対して、木造部分の各階の壁量充足率が各階独立に0.6から1.6の間、0.2きざみで変化するように、各階の剛性耐力を変動させて行った。ただし、耐力壁以外の寄与を考慮し、耐力壁の耐力の50%が耐力壁以外の部分で負担されるものと仮定して、耐力壁による荷重変形関係を1.5倍して層の荷重変形関係とした。

用いた荷重変形関係及び履歴性状は、構造用合板耐力壁の実験結果をトレースする形でバイリニア+スリップにモデル化したものである。図-9.4.17に履歴モデルを、表-9.4.6に構造用合板耐力壁長さ1m当たりの荷重変形履歴モデルに対応するパラメータの値を示す。

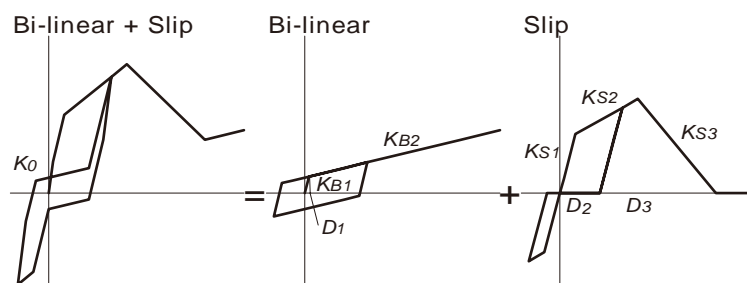


図-9.4.17 計算に用いた荷重変形の履歴特性（バイリニア+スリップ）

表-9.4.6 構造用合板耐力壁 1 m に対するパラメータの値（記号は図-9.4.17 に対応）

初期剛性 (kN/mm)	剛性 (kN/mm)					剛性変化点の変位 (mm)		
K_0	K_{B1}	K_{B2}	K_{S1}	K_{S2}	K_{S3}	D_1	D_2	D_3
48.76	$0.53K_0$	$0.03K_0$	$0.47K_0$	$0.07K_0$	$-0.11K_0$	4.5	18	90

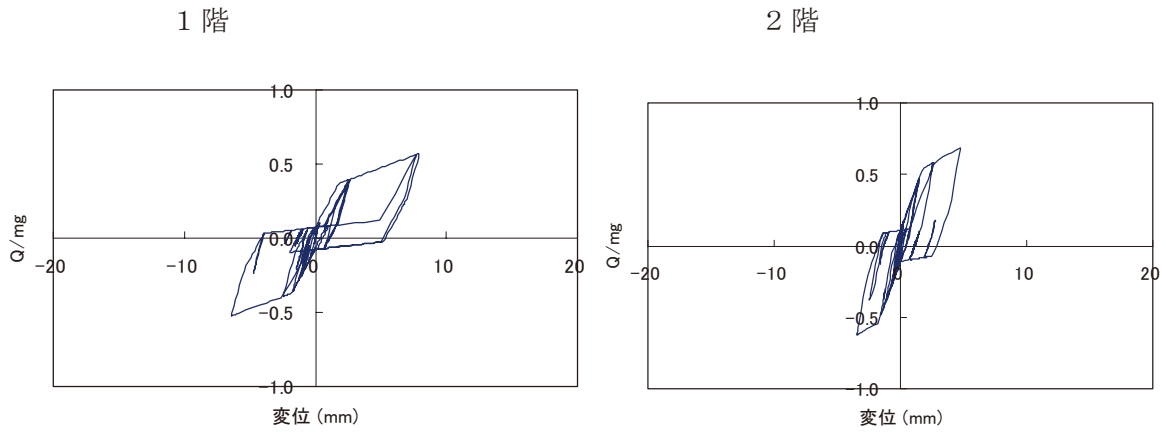
建築基準法上は、木造に対して単位床面積当たりの必要壁量が与えられているが、倍率 1 の壁で長さ 1 m 当たりの基準耐力は 1.96 (kN) である。このことから、2 種類の建物を対象に壁量充足率が 1 の場合の木造下階（2 階建ての 1 階、又は 1 階鉄筋コンクリート造 3 階建ての 2 階）について、非耐力部分の寄与も考慮して許容せん断耐力を算出し、層の許容せん断耐力を支持する重量で除した値、すなわち充足率 1 の想定モデルについて許容せん断耐力に対応する地震層せん断力係数を算出すると 2 階建ての場合、総 2 階で 0.215、部分 2 階で 0.259 となる。これを見ると、セットバックした住宅の場合には上階の重量が小さくなるために、いくらか余裕のある想定となっていることがわかる。

応答計算は、線形加速度法を用い、強震記録 20 秒間に対して、計算の 1 ステップの時間きざみは強震記録の 0.01 秒の 50 分の 1 として行った。減衰は初期剛性比例型で 1 次モードに対する減衰定数 2 % の減衰を仮定している。

(3) 計算結果

計算結果の荷重変形関係の例を図-9.4.18 に、2 種類の建物について入力地震波 8 種類、壁量の充足率 36 通りの組み合わせで行った地震応答計算の結果を、各階の層間変位の最大応答値として、図-9.4.19~26 に示す。ただし、履歴モデルの想定から、層間変位が 30cm を超えた場合には、倒壊と見なして打ち切った。

1) 総2階建て、壁量充足率1階 $R1=1.6$ 、2階 $R2=1.6$ 、入力地震動 K-net 柏崎 NS
の場合



2) 総2階建て、壁量充足率1階 $R1=1.4$ 、2階 $R2=1.4$ 、入力地震動 刈羽村割町新田
NS の場合

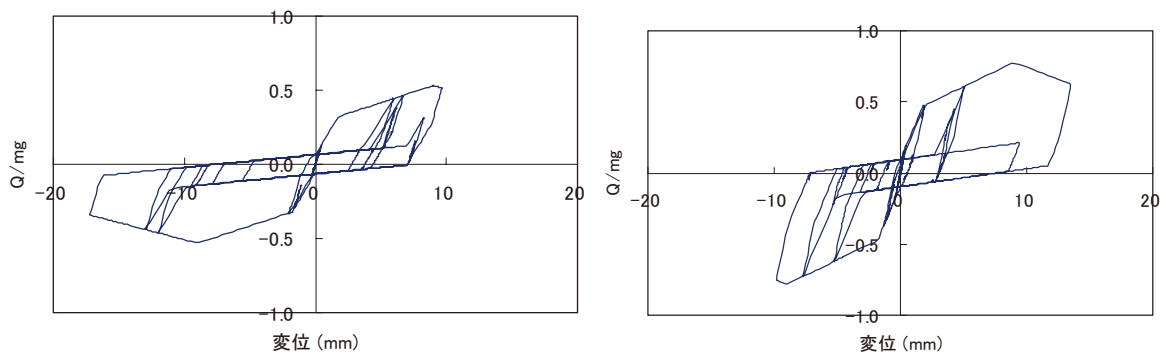
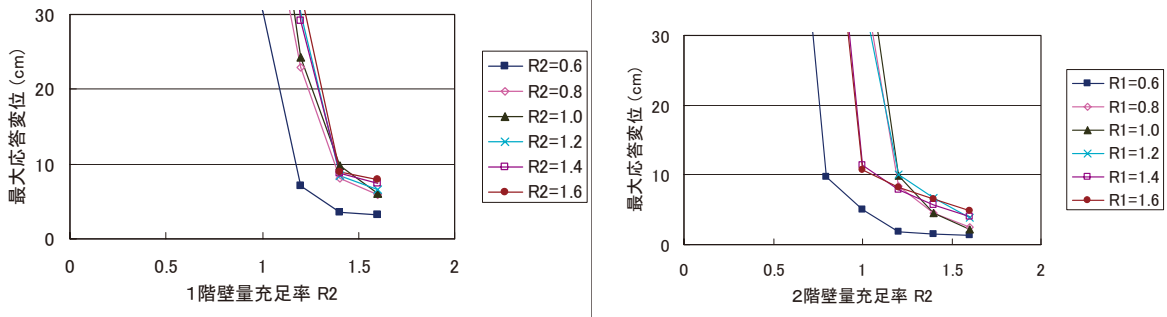


図-9.4.18 応答計算結果の荷重変形関係の例

(1) K-net 柏崎 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-net 柏崎 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

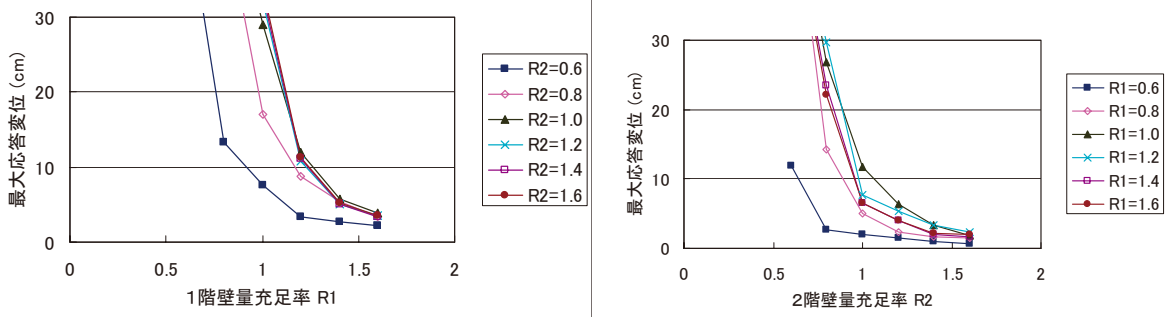
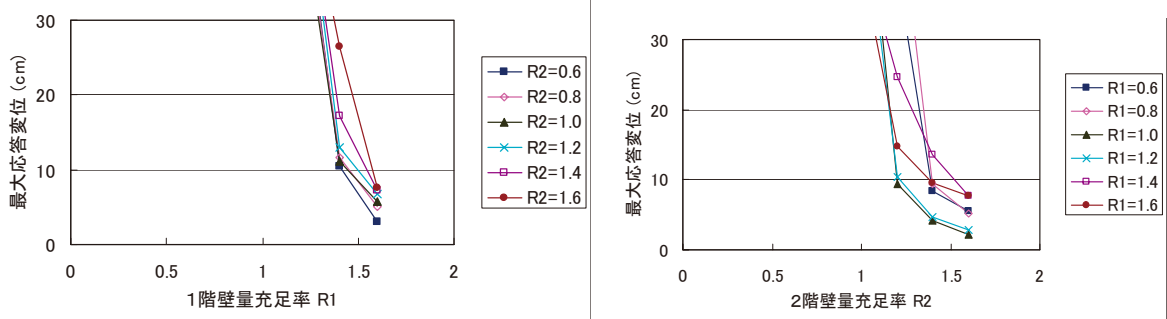


図-9.4.19 最大応答変位の計算結果-1 (総2階建て、入力地震動: K-net 柏崎)

(1) 刈羽村割町新田 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) 刈羽村割町新田 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

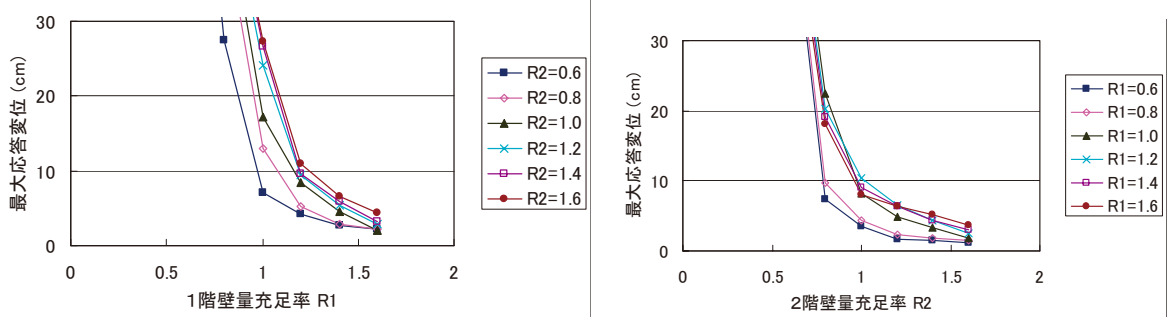
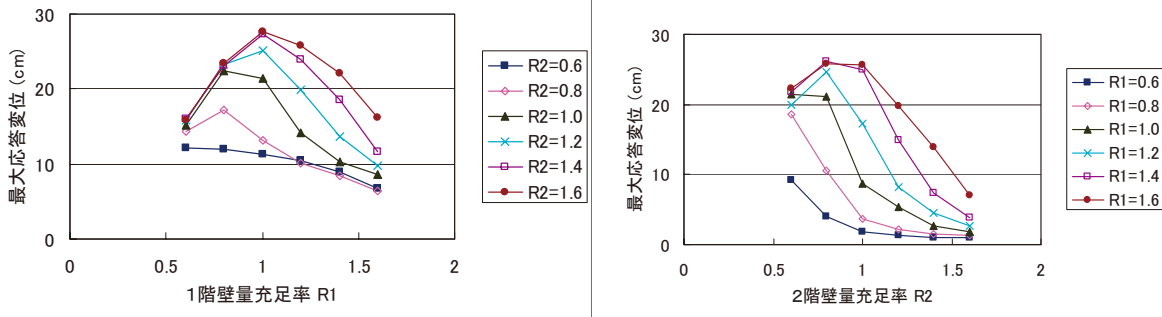


図-9.4.20 最大応答変位の計算結果-2 (総2階建て、入力地震動: 刈羽村割町新田)

(1) 西山町池浦 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 西山町池浦 EW (左: 1階、右: 2階)

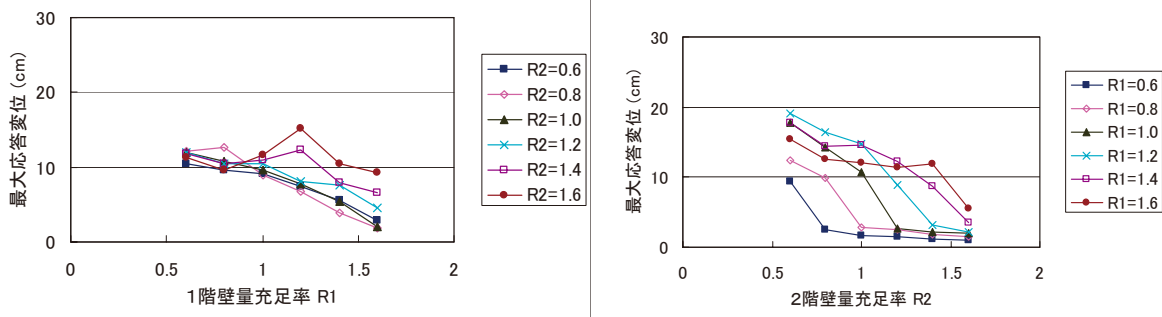
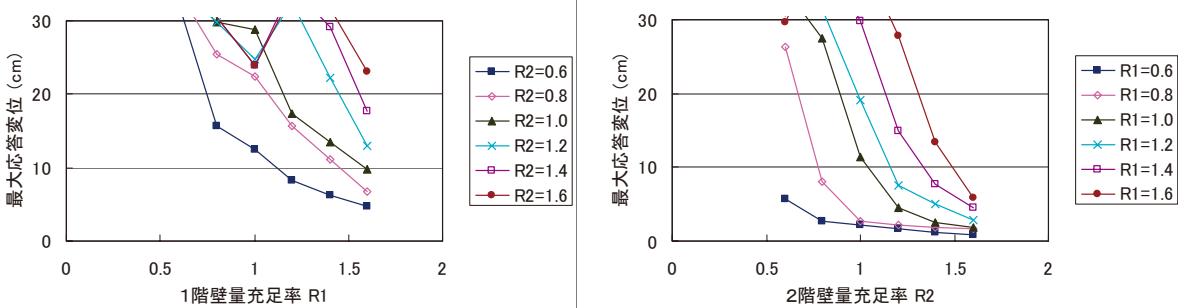


図-9.4.21 最大応答変位の計算結果-3 (総2階建て、入力地震動: 西山町池浦)

(1) 1号機地震観測小屋 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 1号機地震観測小屋 EW (左: 1階、右: 2階)

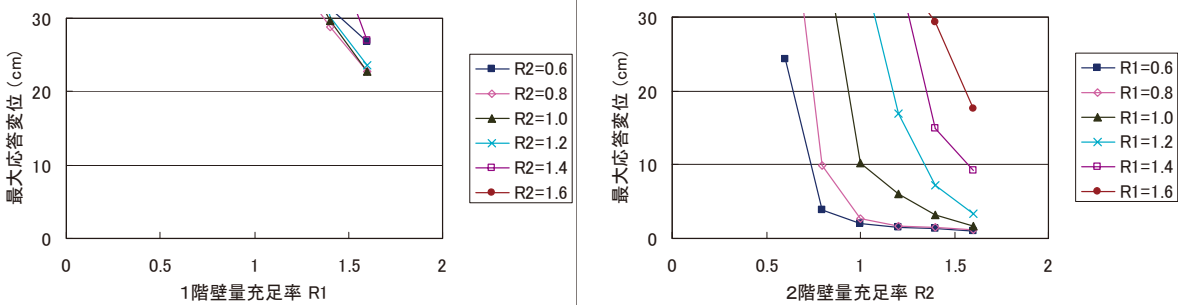
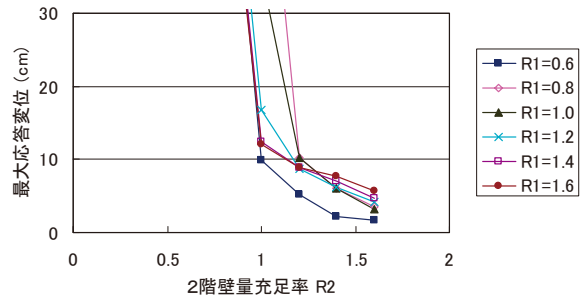
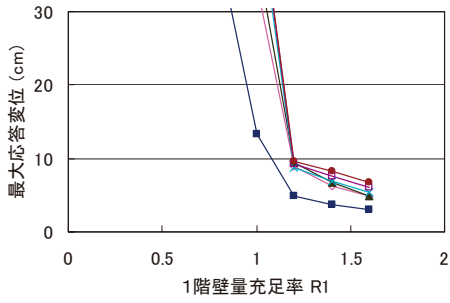


図-9.4.22 最大応答変位の計算結果-4 (総2階建て、入力地震動: 1号機地震観測小屋)

(1) K-net 柏崎 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-net 柏崎 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

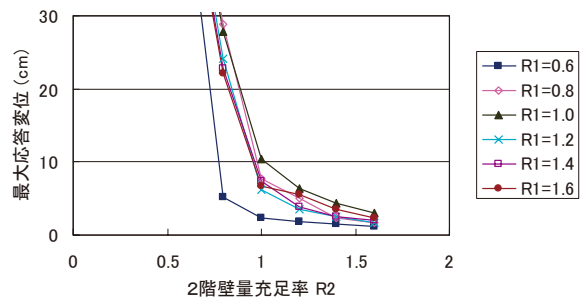
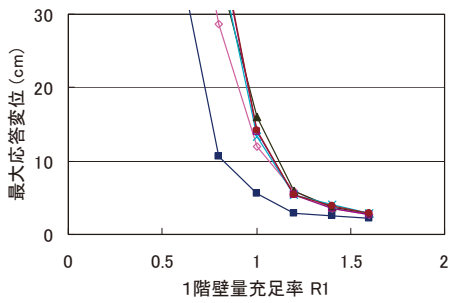
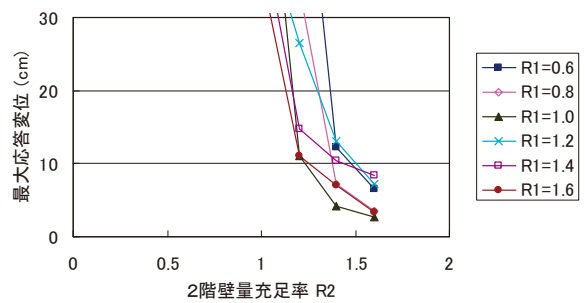
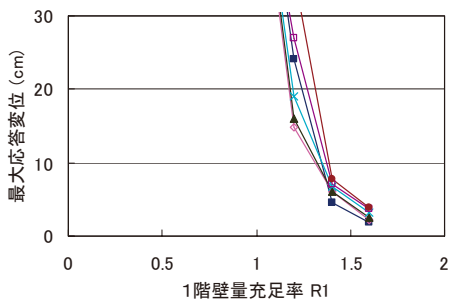


図-9.4.23 最大応答変位の計算結果-5 (部分2階建て、入力地震動: K-net 柏崎)

(1) 刈羽村割町新田 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) 刈羽村割町新田 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

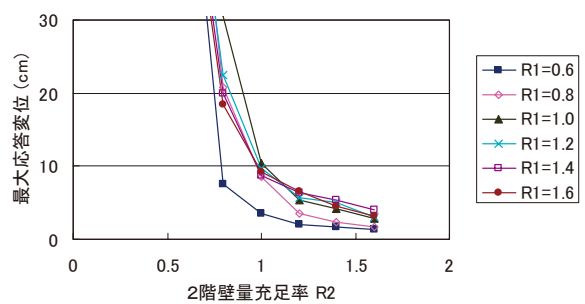
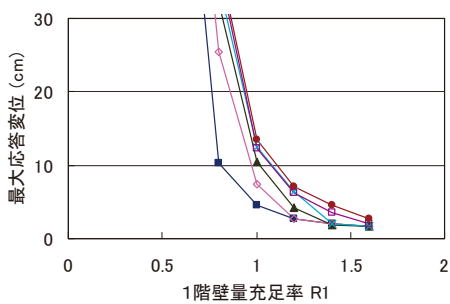
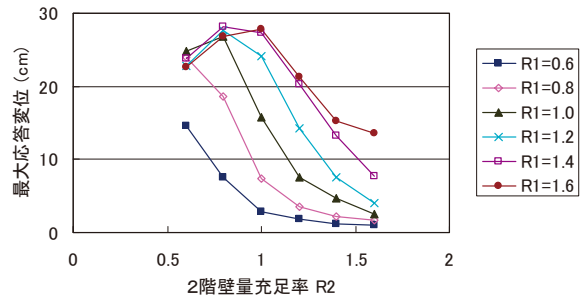
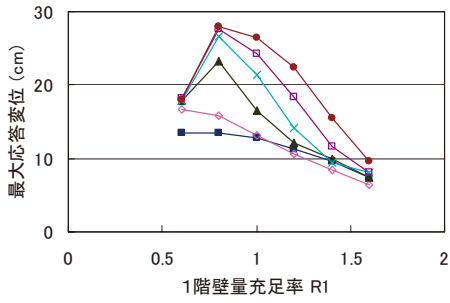


図-9.4.24 最大応答変位の計算結果-6 (部分2階建て、入力地震動: 刈羽村割町新田)

(1) 西山町池浦 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 西山町池浦 EW (左: 1階、右: 2階)

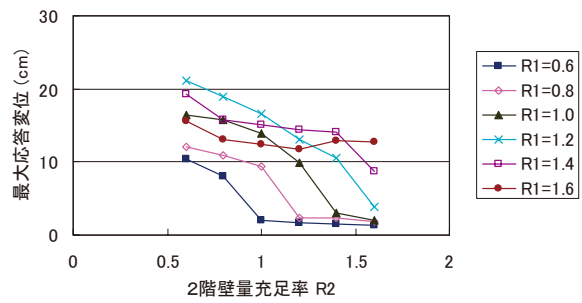
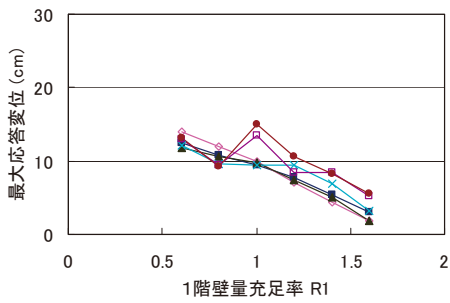
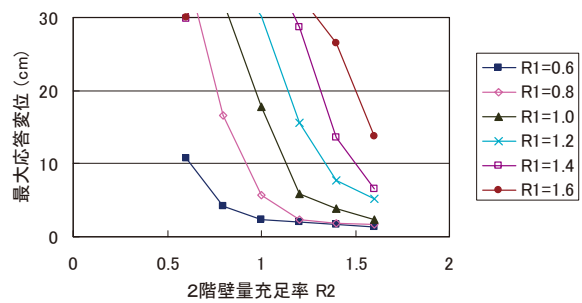
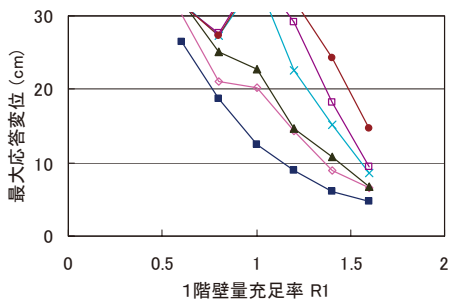


図-9.4.25 最大応答変位の計算結果-7 (部分2階建て、入力地震動: 西山町池浦)

(1) 1号機地震観測小屋 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 1号機地震観測小屋 EW (左: 1階、右: 2階)

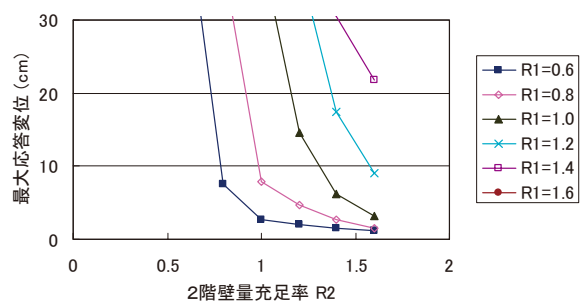
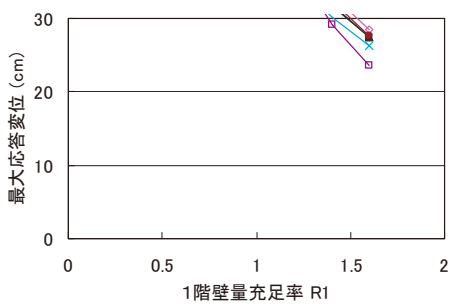


図-9.4.26 最大応答変位の計算結果-8 (部分2階建て、入力地震動: 1号機地震観測小屋)

図-9.4.19～26 から、まず地震波による応答の違いについて大まかに述べれば次の通りである。

K-net 柏崎や刈羽村割町新田では、壁量充足率がある値より小さくなると急激に応答変形が増大して、本解析で倒壊の危険性があると判断する 30cm を超える層間変形角に達する傾向がある。この、倒壊の危険性が急激に増大することとなる壁量充足率のおよその値は、総 2 階か部分 2 階かの違い、1 階であるか 2 階であるかの違い、あるいは他の階の壁量充足率などによっても若干の相違はあるが、K-net 柏崎 NS で 1.0 から 1.2、K-net 柏崎 EW で 0.8、刈羽村割町新田 NS で 1.0 から 1.2、刈羽村割町新田 EW で 0.6 から 0.8 といったところである。

一方、同じ震度 6 強でも西山町池浦 NS、EW に対しては、壁量充足率 0.6 程度でも最大応答層間変形角は 30cm を超えず、倒壊は免れている。ただし、西山町池浦 NS に対しては、壁量充足率が 0.6 から 0.8 ないし 1.0（場合によっては 1.4 程度まで）に増加すると、逆に応答変位が増える場合がある。地震動の周波数特性の影響と考えられる。

また、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機地震観測小屋の記録は、今回解析に使用した地震波の中では木造住宅に対して最も過酷であり、特に EW 成分に対しては、壁量充足率 1.6 程度がなければ倒壊の恐れがあるという結果になっている。NS 成分に対しては、壁量充足率の増加に伴って緩やかに応答変位が減少し、1、2 階の壁量充足率が 1.0 程度あれば倒壊を免れるという結果である。

次に、総 2 階の場合と部分 2 階の場合を比較してみると、全体的な傾向としては大きな差がないと言って良からう。建築基準法による 1 階の必要壁量は総 2 階、部分 2 階を問わず同じ値であることから、部分 2 階の場合の方が 1 階については有利であり、応答変位が小さいと予測される。計算結果を見ると、確かに同じ壁量充足率に対して 1 階の応答変位は部分 2 階に比べて総 2 階（総 3 階）の方が大きく、2 階の応答は逆に部分 2 階の方が大きいという傾向が幾分見られる。ただし、その差はそれほど大きなものではない。

また、他の階の壁量充足率が当該階の応答変位に及ぼす影響については、入力地震波によってかなり違いが見られた。K-net 柏崎や刈羽村割町新田では、例えば 1 階の壁量充足率と応答変位の関係は 2 階の壁量充足率の大小にかかわらずほぼ同じカーブを示すのに対して、西山町池浦や 1 号機地震観測小屋に対しては、その関係が 2 階の壁量充足率によって相当異なるという結果であった。

これらの応答計算結果を、詳細調査によって得られた壁量充足率と残留変形角の関係と比べてみると、次のようなことが言える。

詳細調査によって得られた壁量充足率と残留変形角の関係では、概ね壁量充足率が 0.7 程度あれば、10 分の 1 といった大きな残留変形角には至らないという結果であった。一方、応答計算結果では、壁量充足率が 1.0 程度ないと、K-net 柏崎 NS や刈羽村割町新田 NS では 10 分の 1 以上の最大応答変位に達する恐れがあるという結果であった。両者には、変形の側の尺度が残留変形であるか最大応答変位であるかの違いがあるため直接の比較はできないが、応答計算結果を見るかぎりでは、壁量充足率 0.7 程度では明らかに倒壊の恐れがあると思われる。

この差異については様々な理由が考えられるが、可能性のひとつとして、本解析での想定に比べて実建物の性能が相当に高いことが考えられる。解析においては、計算の方法で述べたように、壁単体の荷重変形関係のみならず、雑壁の効果等を考慮して建物全体で 1.5 倍の耐力の割り増しを行っているが、雑壁の効果、仕上げ材の効果、立体効果

など様々な要因により、実建物ではさらに高い耐力を有していることが可能性として考えられる。その他に、地質条件による入力の違いや基礎の破壊による減衰効果なども、差異の原因となっている可能性がある。

(4) 地震応答計算のまとめ

入力地震波として K-net 柏崎 (NIG018)、新潟県刈羽村割町新田、新潟県西山町池浦、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機地震観測小屋 (地表) のそれぞれの NS 成分及び EW 成分、合計 8 波を用い、総 2 階建てと部分 2 階建ての 2 種類の木造住宅を想定した地震応答計算を行い、各階壁量充足率と各階最大応答変位の関係を求めた。

その結果、K-net 柏崎や刈羽村割町新田の地震波に対しては、壁量充足率がある値より小さくなると急激に応答変形が増大して倒壊の危険に至った。この壁量充足率は、K-net 柏崎 NS で 1.0 から 1.2、K-net 柏崎 EW で 0.8、刈羽村割町新田 NS で 1.0 から 1.2、刈羽村割町新田 EW で 0.6 から 0.8 といった値である。一方、西山町池浦に対しては、壁量充足率 0.6 程度でも最大応答層間変形角は 30cm を超えずに倒壊を免れ、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機地震観測小屋に対しては、特に EW 成分について壁量充足率 1.6 程度がなければ倒壊の恐れがあるという結果であった。

これらの応答計算結果を、詳細調査によって得られた壁量充足率と残留変形角との関係と比較してみると、同じ壁量充足率に対して応答計算による応答が実際よりも過大であるように見受けられる。その理由としては、雑壁の効果、仕上げ材の効果、立体効果など様々な要因により、実建物では本計算での想定以上に高い耐力を有している可能性が考えられる。

9.4.7 本節のまとめ

平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震による木造建築物の被害を調査し、被災建築物の壁量を分析した結果をまとめると以下の通りとなる。

- ・住宅の全壊数は平成 16 年新潟県中越地震の 1/3 程度であった。
- ・大破、倒壊していた建築物は、主に土塗り壁を有するような比較的古い構法による住宅、倉庫、車庫、納屋の類、並びに店舗併用住宅であった。
- ・柏崎市東本町、西本町、新花町、中央町、小倉町、諏訪町の木造家屋の多くは築 50～60 年以上と推定される家屋が多く、特に柏崎市東本町、新花町付近では、倒壊家屋が多く見られた。比較的立派なつくりであるものの、大量の書籍による積載荷重が原因で大破した木造建築物も確認された。
- ・柏崎市茨目、上田尻、春日等の地区の木造家屋は、築 30～40 年以下と推定される比較的新しいものが多く、これらの地区における被害は倉庫、車庫、納屋、作業所の類の被害が中心で、大きな被害を受けた住宅の割合は低い。
- ・柏崎市西本町、茨目、松波、橋場町、山本町、刈羽村刈羽などの地区においては、一部に液状化するなどの地盤の被害も見られ、これが原因と推定される上部構造の被害例も見られた。
- ・柏崎市松波の木造家屋はいずれも築 15 年以下と推定されるかなり新しいものが多かったが、地盤の被害が大きく (鯖石川改修記念公園に向かって南南西～北北東へ大きな地割れが走っており、その延長線上に損傷したゴミ焼却場の煙突がある)、こ

れにより損傷を受けた建物が服す確認され、振動的被害は確認されなかった。

- ・被災地区には、建物中央付近に梁・桁を井桁状に組んだ吹抜を設けるサシヅクリと呼ばれる構法が散見されたが、吹抜け部分の大きな被害は見られなかった。
- ・被災地区において外壁のみ補修し、一見新しい建物のように見える建物が倒壊した例も複数確認された。
- ・被災地区で任意に抽出して詳細調査対象とした木造家屋の壁量充足率は、2007年能登半島地震の被災地区の調査建物よりも多少高いが、偏心率は両者に大きな差がない。
- ・個別の建物を詳細に調査し壁量と残留変形の間を比べると、簡易な推計法によって算出された壁量で建築基準法や品確法の評価法に基づいてその等級1で要求されている壁量に対する充足率が60～70%を超えていれば、残留変形1/100 radを超えるような大きな被害は受けていない。

謝辞（木造調査関連）

本章において時刻歴応答計算に用いた強震記録は、K-net 柏崎については独立行政法人防災科学技術研究所より、また、柏崎刈羽原子力発電所1号機地震観測小屋については東京電力株式会社より入手した。新潟県の刈羽村割町新田及び柏崎市西山町池浦の2つの強震記録については、気象庁と建築研究所の共同研究「地方自治体等の強震記録波形を使用した建物への入力地震動の研究」に基づき使用している。

関係諸氏にこの場を借りて謝意を表す。

9.5 塔状工作物（鉄筋コンクリート造）の被害

9.5.1 調査概要

(1) 調査内容

柏崎市橋場の塔状工作物の地震被害を調査するとともに、その周辺にある、長岡市鳥越、長岡市小国町武石および小千谷市時水の塔状工作物についても、調査を行った。

調査は、2007年7月23日、24日、8月9日及び10月9日に国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所が共同実施したものであり、財団法人日本建築防災協会の被害調査チームが調査協力した。本節では、この調査結果¹⁾の概要を報告する。

(2) 調査日程

調査日程は、表-9.5.1の通りである。各調査対象の位置を図-9.5.1に示す。

表-9.5.1 調査日程表

月日	調査対象
7月23日	柏崎市橋場の塔状工作物 〃 新橋の塔状工作物
7月24日	長岡市鳥越の塔状工作物 長岡市小国町武石の塔状工作物 小千谷市時水の塔状工作物
8月9日	柏崎市橋場の塔状工作物
10月9日	柏崎市橋場の塔状工作物



図-9.5.1 塔状工作物調査位置と本震震源位置 (●: 塔状工作物)

9.5.2 調査結果

(1) 柏崎市橋場にある塔状工作物

本塔状工作物は、1992年2月に竣工したゴミ処理施設の自立型煙突で、高さは59メートルである。敷地は、日本海と鯖石川に挟まれた海岸沿いの荒浜砂丘の南の端あたりの高台にあり、本震の震央から南南西、距離18kmに位置している。敷地およびその周辺は、厚い砂質地盤である。

煙突の構造は、正方形箱形断面を有する自立型であり、外筒は高さ58メートル、鉄筋コンクリート造で、その内部には鋼製の2本の内筒(高さ59メートル)がある。外筒は、一辺の寸法がおよそ4.6メートルの正方形断面を有しており鉄筋コンクリート造の

壁 4 枚を矩形に並べた構造となっている。外筒は、下から壁厚、壁筋を上に向かって減らしていくように設計されている。高さ方向の途中では、壁主筋がダブル配筋からシングル配筋に変更され、鉄筋径も変更されている。ほぼ同じ高さ位置で、帯筋もダブル配筋からシングル配筋に変更され、帯筋間隔も変更されている。なお、帯筋量は、壁隅角部においても各壁平板部分とほぼ同量とされている。外筒と内筒は、高さ 13 メートル毎に、つなぎ梁により接続されており、鋼製である内筒の温度伸縮による変位を吸収できるように、鉛直方向のローラーが、接続箇所に設置されている。

煙突の地震被害は、鉄筋コンクリート造外筒の折損および一部崩落である（写真-9.5.1～9.5.2）。地上から高さがおよそ 17 メートル付近に水平破断面が見られる。水平破断面の上部及び下部への曲げひび割れ領域の進展などは見られなかった、一方で、水平破断面の周辺にはコンクリートの剥落や鉄筋の露出などの破壊が発生し、折損位置より上の部分が北西方向に約 60cm 水平移動し、さらに鋼製の内筒をガイドとするようにして、およそ 6 メートル降下して崩落の進行が止まったものである。調査時点での上部の煙突の傾きは およそ 1/25 であった。これほど傾いているにも関わらず鉄筋コンクリート造外筒が転倒しなかった理由は、鋼製の内筒が、上部の鉄筋コンクリート造外筒の P- Δ （デルタ）効果による水平力を、支えているためと考えられる。

なお、敷地内の煙突周辺の地盤には、不同沈下や地割れは見られなかった。



写真-9.5.1 柏崎市橋場にある塔状工作物（自立型煙突）の全景

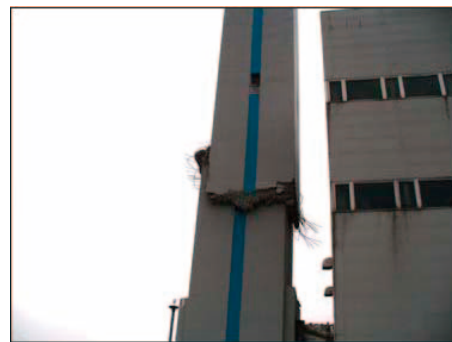


写真-9.5.2 煙突の北側面（写真-9.5.1の右側面）

(2) 長岡市鳥越にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.3）は、高さ 59 メートル、外筒が鉄筋コンクリート造、内筒が鉄骨造の自立型煙突であり、竣工は 1986 年である。外筒は、鉄筋コンクリート造壁 4 枚を矩形に並べた構造であり、下から壁厚、壁筋を減らしていくように設計されている。高さ 45 メートルまで、壁主筋をダブル配筋とし、隅角部には、ハンチを設けて、補強筋が配筋されている。外筒には、換気用、出入口用、水平煙道用の開口が設けられている。外観からは、被害は認められなかった。



写真-9.5.3 長岡市鳥越にある塔状工作物

(3) 長岡市小国町武石にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.4）は、高さ 40 メートル、鉄筋コンクリート造の自立型煙突であり、煙道内壁に耐火煉瓦が貼り付けられている。竣工は 1992 年であるが、現在、焼却施設は稼働しておらず、煙突は使用されていない。煙突は、外側が八角形、内側が円形の断面をしており、外側及び内側に主筋が配筋され、それぞれが帯筋でつながられている。また、鉄筋コンクリート造部分の厚みが 400 ミリメートル近いところで、更に幅止め筋が配筋されている。下から壁厚、壁筋を減らしていくように設計されているが、高さ 40 メートルまでダブル配筋とされている。煙突には、水平煙道用、灰取り出し用の開口が設けられている。外観からは、被害は認められなかった。



写真-9.5.4 長岡市小国町武石にある塔状工作物



写真-9.5.5 小千谷市時水にある塔状工作物

(4) 小千谷市時水にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.5）は、高さ 59 メートル、外筒が鉄筋コンクリート造、内筒が鉄骨造の自立型煙突であり、竣工は 1990 年である。外筒は、鉄筋コンクリート造壁 4 枚を矩形に並べた構造であり、下から壁厚、壁筋を減らしていくように設計されている。高さ 9 メートルまで、壁主筋をダブル配筋とし、高さ 9 メートル以上では壁主筋をシングル配筋とされている。隅角部には、ハンチを設けて、補強筋が配筋されている。外筒には、換気用、機器搬入用、水平煙道用の開口が設けられている。外観からは、被

害は認められなかった。

(5) 柏崎市新橋にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.6）は、高さが約 20 メートル、1937 年頃竣工の鉄筋コンクリート造自立型煙突である。

この煙突は、コンクリートの継ぎ目と思われる高さで、輪切り状に 3 本に折れ、上 2 本が倒壊し、下 1 本が残っている。倒れた方向は、ほぼ北方向である。周辺の木造工場の倒壊により近寄ることが出来なかったが、煙突の断面には鉄筋が確認された。



写真-9.5.6 煙突と木造工場
(写真中央に、煙突の低層部(奥)、中層部、先端部(手前)が3本見える)

9.5.3 塔状工作物の鉄筋コンクリート造部分の配筋について

本調査のうち、9.5.2(1)～(4)の各塔状工作物に関しては、現地調査時に提供していただいた竣工図と思われる図面により、鉄筋コンクリート造部分の配筋を参照することができた。9.5.2 に示したとおり、これらの塔状工作物の中には、鉄筋コンクリート造の壁主筋を、全高にわたってダブル配筋とする場合と、途中の高さでダブル配筋からシングル配筋に切り替える場合が見られた。

今回の地震により途中の高さで折損し、一部崩落した塔状工作物では、途中の高さで壁主筋をダブル配筋からシングル配筋に切り替えており（図-9.5.2）、破断箇所と、ダブル配筋からシングル配筋に切り替えた位置とが、ほぼ一致していた。

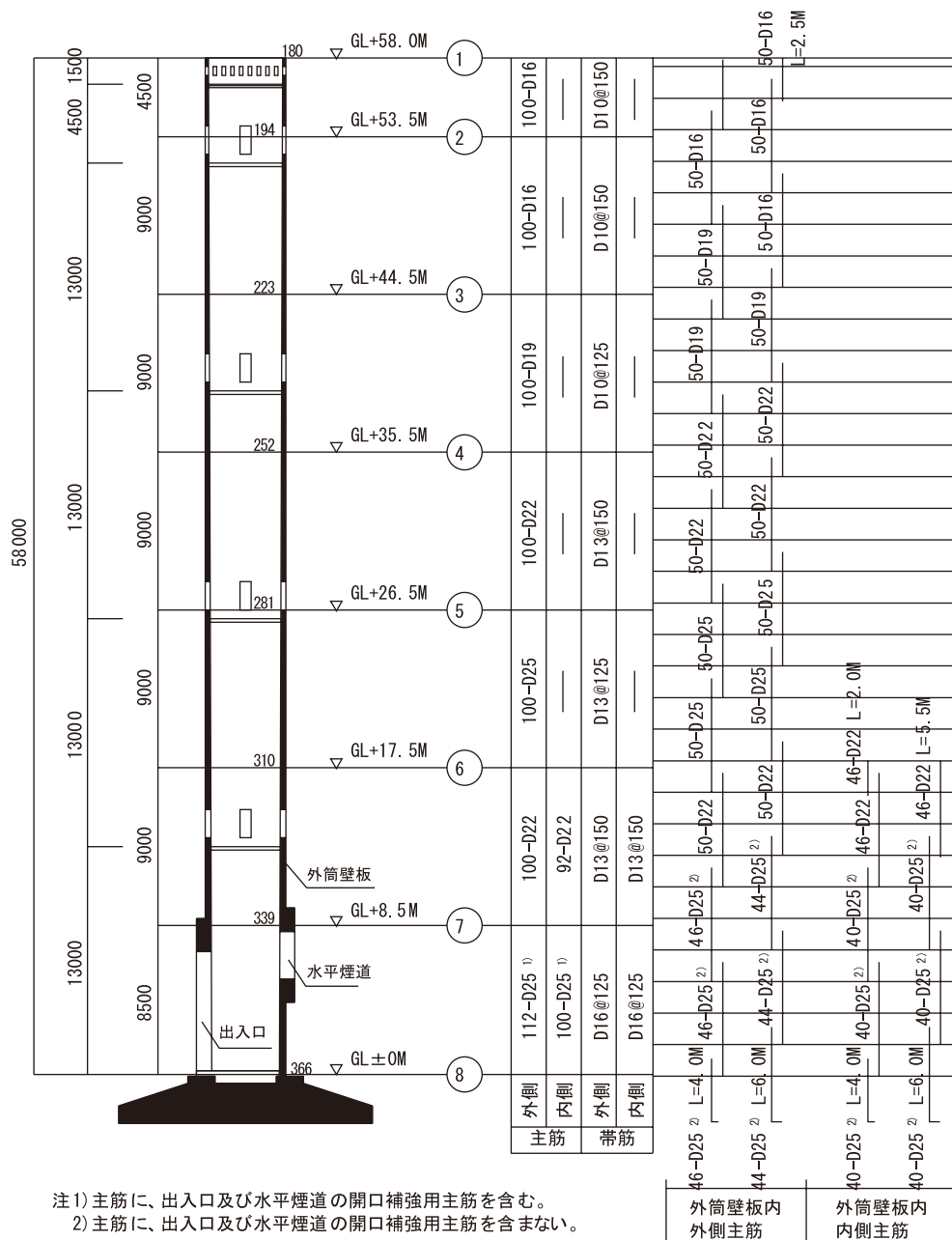
9.5.4 塔状工作物の耐震性の検討

9.5.2(1)に示した塔状工作物について、昭和 56 年建設省告示第 1104 号¹⁴⁾(現在は、平成 12 年建設省告示第 1449 号に移行)に規定される必要曲げモーメントを計算し、「鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針」¹⁵⁾を参照して算定した、軸力、曲げモーメントを同時に受ける（煙突）断面の短期許容曲げモーメントと比較する。

(1) 告示に規定される必要曲げモーメント

告示に規定される必要曲げモーメント M_n を、以下の式により求めた。なお、ここで検討する塔状工作物は、外筒が鉄筋コンクリート造、内筒が鉄骨造からなる。

$$\text{必要曲げモーメント } M_n = 0.4 \cdot h \cdot C_{si} \cdot W \quad [\text{ton} \cdot \text{m}]$$



(1)立面断面図 (2)レベル番号 (3)配筋量 (4)主筋の継手位置
 図-9.5.2 塔状工作物の外筒部分(鉄筋コンクリート造)の配筋例

h 、 C_{si} 及び W は、それぞれ次の数値を表す。

h : 外筒の地盤面からの高さ [m] ($h=58\text{m}$)

C_{si} : 外筒の地上部分の高さ方向の力の分布を表す係数で、計算しようとする当該外筒の部分の高さに応じて次の式に適合する数値

$$C_{si} \geq 0.3Z \left(1 - \frac{h_i}{h} \right)$$

この式において、 Z 及び h_i は、それぞれ次の数値を表す。

Z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する Z の数値

(柏崎市橋場は $Z = 0.9$)

h_i : 外筒の地上部分の各部分の地盤面からの高さ [m]

W : 外筒及び内筒の地上部分の固定荷重と積載荷重との和 [ton]

表-9.5.2 塔状工作物の各レベルにおける外力 W 、 M_n 等

レベル	高さ h_i [m]	外径 D [m]	壁厚 t [cm]	断面 積 A_c [m ²]	地震力 用重量 W [ton]	C_{si} [-]	必要曲げ モーメント M_n [ton・m]
②	53.5	4.60	19.4	3.42	57.1	0.02	370
③	44.5	4.60	22.3	3.90	148.5	0.06	1109
④	35.5	4.60	25.2	4.38	250.7	0.10	1849
⑤	26.5	4.60	28.1	4.85	360.4	0.15	2528
⑥	17.5	4.60	31.0	5.32	482.9	0.19	3327
⑦	8.5	4.60	33.9	5.78	615.2	0.23	4067
⑧	0.0	4.60	36.6	6.20	760.7	0.27	4765

注)高さ、外径、壁厚、地震力用重量、 C_{si} は、構造計算書を参照して求めた。

(2) 短期許容曲げモーメント

短期許容曲げモーメント M_s は、調査した塔状工作物のうち、外筒の鉄筋コンクリート造部分について、各高さの断面が、一定軸力を受ける時に負担し得る曲げモーメントとして求めた。外筒及び内筒の接続部分は、鉛直ローラーが設置されているので、外筒に作用する軸力には内筒の固定荷重を加えないこととする。

$$\text{軸力 } N = W - W_s \quad [\text{ton}]$$

W_s : 鉄骨造内筒の固定荷重と積載荷重の和 [ton]

鉄骨造内筒は、高さ 59m、外径 1.3m、肉厚 12m の円筒形 2 基で構成され、その固定荷重と積載荷重の和は、煙突脚部において、62.0[ton]である。この重量は、表-9.5.2 のレベル⑧の地震力用重量 W に含まれている。

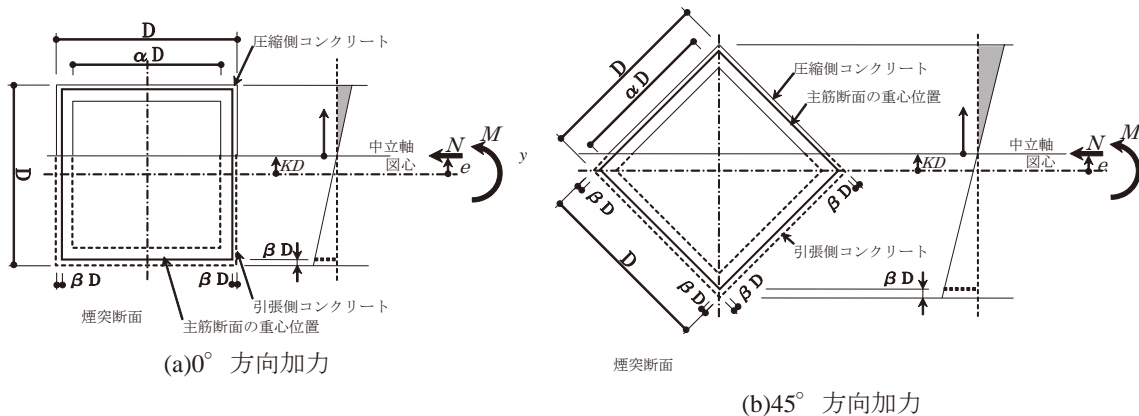


図-9.5.3 平面保持を仮定した断面と外力(軸力 N 、曲げモーメント M)

外力 N 、 M を受ける断面の応力は、図-9.5.3 に示すように、平面保持の仮定により、求めた。図-9.5.3 の断面図は、平面断面図が中空正方形の場合を示している。断面の

外径は D 、内径は αD 、主筋は最外縁から βD の位置にあり、平面保持を仮定した時の力の釣り合いの状態を図-9.5.3の右側に示す。中立軸位置は、図心位置から KD 離れたところであり、圧縮領域では、コンクリートと主筋が応力を伝達し、引張領域では主筋のみが応力を伝達するものとする。主筋は、多数配筋されていることから、主筋断面の壁厚方向の重心位置に集中する、等価なシングル等分布配筋とみなした。

図-9.5.4には、各レベルにおける図面上の主筋比等を基に、必要曲げモーメント M_n と図面上の主筋比から求めた短期許容曲げモーメント M_s を比較した。図-9.5.4では、レベル②～⑧の他、内側主筋 92-D25 のカットオフ位置であるレベル⑥(高さ 17.9m)、その上2つのレベル、下2つのレベルについても、計算した。 M_{s00} は、 0° 方向加力時の短期許容曲げモーメントであり、 M_{s45} は、 45° 方向加力時のものである。レベル②～⑤及び⑦～⑧の直下に関しては、1レベル下の主筋が上がってきていると仮定した主筋比について、計算した。いずれのレベルにおいても、短期許容曲げモーメントが必要曲げモーメント以上であり、建築基準法の耐震基準に適合していたと考えられる。

図-9.5.4に示すように、必要曲げモーメントは上方ほど直線的に小さくなるので、これに従って上方ほど壁主筋量を減じた設計となっているが、鉄筋は定尺長さがあるので、許容曲げモーメントは主筋量を変えた高さで変化し、階段状に上方に向かって減じている。ただし、レベル⑥(18.9)～⑦(17.1)において、主筋の断面積を、定着長さに応じて低減したことにより、各レベルにおける短期許容曲げモーメントが必要曲げモーメント近くまで局所的に小さくなっており、特に、内側主筋がカットオフされたレベル⑥(17.9)において、最も必要曲げモーメントに近い値となった。

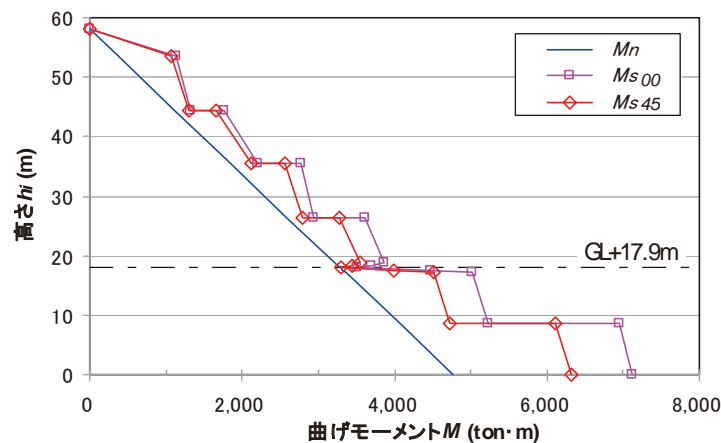


図-9.5.4 各高さの必要曲げモーメント(M_n)と短期許容曲げモーメント(M_{s00} 、 M_{s45})

9.5.5 本節のまとめ

今回調査した5棟の塔状工作物では、鉄筋コンクリート造の壁主筋を、全高にわたってダブル配筋とする場合と、途中の高さでダブル配筋からシングル配筋に切り替える場合が見られた。これらの塔状工作物のうち、折損を生じたものは、高さ 59メートルの自立型煙突(1992年竣工)、高さ約 20メートルの鉄筋コンクリート造自立型煙突(1937年頃竣工)の2棟であった。これら2棟の内、配筋詳細の判明している塔状工作物1棟について、図面情報等に基づいて、各高さ位置での許容曲げモーメントを検討

したところ、建築基準法の耐震基準で要求される必要曲げモーメントを上回っていた。

搭状工作物における必要曲げモーメントは上方ほど直線的に小さくなっているのが一般的である。しかし、鉄筋には定尺長さがあるため、鉄筋断面を切り替えた位置で、許容曲げモーメントは高さ方向に階段状に減じることになる。特に、壁主筋をダブル配筋からシングル配筋に切り替える位置では、壁主筋の重ね継手やカットオフの配置によっては局所的に許容曲げモーメントが大きく不連続となることがあるので、詳細設計にあたっては十分な配慮が望まれる。

断面に作用する曲げモーメントが許容曲げモーメントに達し、曲げひび割れが発生したとしても、じん性が確保されていれば、折損には至らない。帯筋等の配置の工夫等による断面の一体性確保のための検討は、今後の課題と言えよう。

最後に、今回の地震では、各地でかなり大きな地震動が記録されており、現行耐震基準の要求値の妥当性についての継続した調査研究が望まれる。

9.6 非構造部材の被害

9.6.1 概要

非構造部材の地震被害調査を主に公共建物について行った。公共建物について各自治体から構造体の被害報告がほとんどない中、非構造部材の被害は少なからず報告されている。以下に主な非構造部材の被害例を公共運動施設、公共福祉施設、民間宿泊施設について示す。

9.6.2 公共運動施設

(1) 建物A（長岡市）

昭和54年竣工の体育館。構造は下部がRC造で上部がS造の体育館で一部2階建てである。上部のS造は、張間方向がH形断面材柱とラチス梁のラーメン構造であり、桁行き方向が山形鋼を筋かいに用いたブレース構造である。アリーナの寸法は図面より約36m×29mである。構造躯体に特に目立った被害は見られなかった。

非構造部材については天井に被害が見られた。天井はせっこうボード捨て張り工法であり、中央部が平坦な山形をしている。床から天井の最も高い部分までは実測12m、天井懐は図面によると最も深い所で5m程度である。この天井について、長さは1.7mと2.5mのチャンネル材がアリーナに2本落下したとのことである。天井の平坦な部分に穴があいており、天井下地を構成する部材が脱落して天井面を貫通したものと考えられる。アリーナ床材にはチャンネル材の断面に相当する凹みがあり、チャンネル材が床面に衝突した際にできたものと考えられる。平成16年新潟県中越地震の際にも天井に被害があったとのことである。



写真-9.6.1 建物A内観

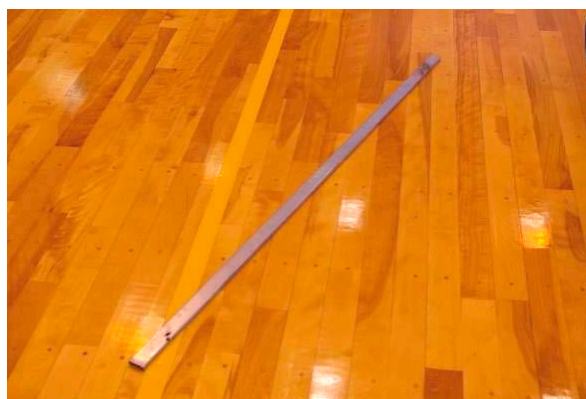


写真-9.6.2 落下したチャンネル材

(2) 建物B（刈羽村）

平成5年竣工の体育館。平屋建であり、構造は下部がRC造、上部がS造。張間方向は、鉄筋コンクリート柱（下部）と鉄骨柱（上部）および鉄骨梁からなるラーメン構造である。この鉄骨柱と鉄骨梁は、共にH形断面材である。桁行き方向は、鉄筋コンクリートラーメン構造（下部）、X形の鉄骨軸組筋かい構造（上部）である。軸組筋かいは、円形鋼管を用いている。図面によると、アリーナ内法は約25m×18mであり、アリーナ床面から平らな天井面まで約8m、天井懐は1m程度である。

構造に大きな被害が見られた。鋼管筋かい材の割り込みプレートでは高力ボルト接合

孔欠損部で引張破断が発生しており、X型鋼管筋かい材中央交差部のガセットプレートは面外変形していた。鉄骨柱脚部ではコンクリートの破壊やひび割れ、一部のアンカーボルトでは引き抜けが見られた。

非構造部材は天井、内壁、窓ガラス、外壁に被害が見られた。天井は天井面材がほぼ全面で脱落しており、野縁や野縁受けの脱落も見られた。内壁では有孔合板が下地から浮いていた。ガラスはギャラリー脇の窓ガラスが、ブレースのあるスパンでのみ計15枚破損していた。外壁は体育館ステージを囲む外壁の押出成形セメント板が、破損・脱落していた。平成16年新潟県中越地震の際にも被害があったとのことである。



写真-9.6.3 ガラスの被害



写真-9.6.4 建物B内観

(3) 建物C（上越市）

平成6年竣工の多目的施設。構造は下部がRC造、上部がS造の山形ラーメン構造で、一部3階建てである。図面によるとアリーナ内法は約35m×28m。構造躯体に特に目立った被害は見られなかった。

非構造部材は体育館でアリーナの天井に被害が見られた。天井面は凹凸があり、床面から天井面まで最大で約14m、天井懐は最最大で5m程度である。仕様により天井は大きく3つの部分に分かれる。

エリア1：建築用鋼製下地材＋有孔ケイ酸カルシウム板を直張り。巻き上げられたバスケットゴール直上の平面箇所と、その平面箇所と他エリアの天井を区切る黒い箱状の箇所。

エリア2：建築用鋼製下地材＋せっこうボード捨張り＋ロックウール吸音板仕上げ。蛇腹状の箇所。

エリア3：バー材（桁行方向にTバー、張間方向にクロスTバー）の下地＋グラスウールボードをはめ込み。①②以外の勾配天井や平らな箇所。

キャットウォークから天井裏を確認したところ、つりボルトを水平方向につなぐ材は天井面近くにあるものの、つり元までの間には見られなかった。斜めの振れ止めはほとんど見られず、水平な材と設備用のフレームの間、水平な材同士の間、水平な材とつりボルトの間に斜めの材が部分的に見られた。

天井の各部分で脱落などの被害が見られた。エリア1ではバスケットゴールとの取り付け箇所では有孔ケイ酸カルシウム板が破損・脱落しており、黒い箱状の箇所にエリア2

の天井が衝突した時に出来たと見られる破損箇所があった。エリア2の天井は部分的に脱落していた。エリア3の勾配箇所でガラスボードが外縁を支持するバー材から外れていたものの、多くはボード中程を支持するバー材にひっかかって落下に至っていなかった。その他、天井面から照明器具が5個落下していた。平成16年新潟県中越地震の際にも被害があったとのことである。



写真-9.6.5 建物C内観（パノラマ合成）



写真-9.6.6 脱落した様々な部材

9.6.3 公共福祉施設

(1) 建物D（長岡市）

平成10年に当初の建物に増築を行ったコミュニティセンター。構造はS造2階建て、角形鋼管柱とH形断面柱のラーメン構造である。構造躯体に特に目立った被害は見られなかった。

非構造部材については防火扉の開扉に支障が出ていた。被害があったのは2階に隣り合わせにある防火扉2箇所である。これらの防火扉は増築した建物が当初の建物に接続する箇所の当初の建物側に取り付けられており、増築部に向かって開くようになっている。この増築部の床仕上材がせり上がって防火扉が開かなくなっていた（破損した床仕上材は一方の扉については調査時には取り除かれており、開閉可能な状態になっていた）。図面によると仕上材がせり上がった床は増築した建物の柱から出ている片持梁に支えられており、床仕上材のせり上がりは床が当初の建物に接している箇所のみで見られた。



写真-9.6.7 開扉に支障を来した防火扉



写真-9.6.8 床仕上材のせり上がり

(2) 建物E（長岡市）

平成元年竣工のコミュニティセンター。児童館が併設されている。構造はS造2階建て、角形鋼管柱を用いたラーメン構造である。1階に事務室、会議室、講堂などが、2階に和室（28畳と21畳の2室）、調理室、児童館などがある。構造躯体の被害は、一部の柱脚のコンクリート部分に亀裂や剥落が見られた。

非構造部材の被害が建物内の各所の天井に見られた。玄関ホール吹き抜け部分の天井は四隅の柱付近で破損して部分的に落下していた。2階の和室では天井面の相当部分が落下した。和室の天井は中央の格天井の部分と周辺の口の字型の部分に大きく分けられる。口の字の天井を構成する下地材は隅では突き付けとなっており、格天井と口の字の天井も下地材はつながっていなかった。畳面からの距離を実測した所、天井面までは約2.8m、屋根下面までは約3.5mであった。2階の児童室では壁際部分の天井が落下していた。調理室では天井の部材が一部落下していた。平成16年新潟県中越地震の際にも被害があったとのことである。



写真-9.6.9 二階和室内部被害状況（パノラマ合成）

9.6.4 民間宿泊施設

(1) 建物F（柏崎市）

平成6年竣工の宿泊施設。構造はS造3階建て。構造躯体に特に目立った被害は見られなかったものの、敷地内の海側の地面に亀裂ができたとのことである。

非構造部材の被害は、建物外部は外壁の仕上材の剥落、玄関ポーチ上部の天井の破損、外部階段の手すりを支持するガラスの破損が見られた。建物内部の被害は3階部分に多く見られた。客室・廊下の間仕切壁・天井が多数破損・脱落していた。受付ラウンジの吹き抜けの壁が、壁に取り付けられていた大きな壁飾りが脱落する際に破損・脱落したとのことである。



写真-9.6.10 客室内装の被害



写真-9.6.11 手すり支持部のガラスの破損

9.6.5 本節のまとめ

新潟県中越沖地震による非構造部材の被害について、主に公共建物の現地調査を行った。公共建物について各自治体から構造体の被害報告がほとんどない中、非構造部材の被害は少なからず報告されている。現地調査では主に天井と防火扉・ドアについて複数の被害状況を確認した。

天井の被害はこれまでの地震被害と同様に在来工法による天井とはめ込み式の天井について確認された。被害の確認された天井の規模は、体育館のように面積が比較的大きいものから、小部屋や廊下など面積が比較的小さいものまで様々である。天井面付近を主とした被害に加えて、天井裏の下地材が脱落したのも数例確認されており、何らかの被害が確認された建物について下地材を含めた天井の状態を確認することが必要とされる。構造体に大きな被害が見られた建物で天井が全面的に脱落したものがあり、構造体に大きな被害が見られなかった建物で階によって天井の被害程度に差が見られたものがあった。今回の地震被害を受けて天井の耐震対策を検討するにあたっては、天井の被害を把握するとともに、天井にそのような被害を生じさせた構造体の影響を踏まえる必要がある。

地震時の避難経路の確保の必要性については従来より指摘のある通りであり、現地調査では防火扉やドアなどの建具に開閉支障の被害が確認された。これらの防火扉・ドアは増築などによる建物の接続箇所に設けられたものであり、接続箇所に面する構造体の相対的な変位により開閉に支障を来している。防火扉・ドアの耐震対策の検討を行うにあたっては天井同様に構造体による影響を踏まえる必要がある。

9.7 宅地地盤・基礎の被害

建築物の基礎及び地盤の被害とその特徴を把握し、被害原因究明の基礎資料を得る目的で調査を実施した。以下に被害概要と調査結果を述べる。

9.7.1 地盤の被害概要

柏崎市（橋場地区、松波地区など）、刈羽村などでは、液状化による被害が多発していた。前回の新潟県中越地震では橋場地区において液状化被害が顕著であったが、今回は周囲の松波地区に被害が拡大している（写真-9.7.1）。刈羽村では、前回の中越地震の際に鉄道沿線から海側に一段高くなった十数戸の住宅に被害が集中したが、今回も同様であり、前回の地震によって解体撤去した後に新築した住宅においても裏山のがけの崩壊や地盤変動で被害を受けた例もあった（写真-9.7.2）。また、柏崎市南半田地区においても、地盤変動や滑落などの状況が確認できた。（写真-9.7.3）。



写真-9.7.1 柏崎市松波地区の液状化被害



写真-9.7.2 刈羽村の液状化等に起因する地盤変動による新築住宅の被害



写真-9.7.3 南半田地区で認められた外周道路等での地盤変動・滑動等

9.7.2 擁壁の被害概要

柏崎市番神町や山本地区など、多くの地域で宅地（斜面、擁壁など）の崩壊が発生していた。構造計算等による確認を要しない2m以下の擁壁や土留めの被害も数多く認められた（写真-9.7.4）。崩壊した擁壁のなかには、ブロック塀として地上の塀のために利用している壁材を擁壁として利用していたものも多かった。また、壁高5m、厚さ50cm程度のブロック積みが転倒した例（写真-9.7.5）や斜面地で全体的な地盤変動が生じたため、擁壁前面の側溝がつぶれるほどに押し出されたものもあった（写真-9.7.6）。

種々の擁壁の被害状況を写真-9.7.7に示すが、ブロック塀の土留めや吹きつけモルタルで覆った擁壁だけでなく、間知ブロックやL型擁壁にも被害が認められた。



写真-9.7.4 ブロック塀による土留め擁壁の崩壊



(地震直後にほぼ鉛直に起き上がり、数日後に転倒状態に達し、背面住宅にもたれかかった例)



(背面地盤全体のすべりにより、擁壁が押し出されて前面の側溝がつぶされた状態)

写真-9.7.5 ブロック積み擁壁の転倒例

写真-9.7.6 間知ブロック擁壁の前面側への滑り出し



写真-9.7.7 擁壁の被害例

9.7.3 基礎の被害概要

(1) 戸建て住宅の基礎

写真-9.7.8に基礎の被害状況を示す。これら基礎の被害の大半は、液状化や地盤変動に伴って生じている。基礎の被害の殆どは、古い木造の無筋・ブロック・束またはこれらに類する基礎で現在の規準を満足しないものが大半であり、現行規定を満足するような鉄筋コンクリート造の基礎が大きく破断した例は確認できなかった。

著しい液状化等が生じた地点では、地盤改良や小口径鋼管杭を利用した住宅も多いと考えられるが、鋼管杭の浮き上がりなどの被害も認められた。

また、今回の調査した範囲では、増築を行った住宅のなかには、増築部で地盤改良などを採用しており、増築部の沈下は生じていなかったが、既存基礎と増築部の基礎で支持性能が異なっていたため、既存基礎が沈下した例も認められた。



写真-9.7.8 住宅基礎の被害例

(2) 一般建築物の基礎

一般建築物の基礎の被害は、ほとんど認められなかったが、柏崎市沿岸部の杭基礎と考えられる RC 建物の建物外周付近での地盤の陥没（建物の相対的な浮き上がり）や松波地区の鉄骨 2 階建て事務所及び木造集合住宅等に被害が見られた（写真-9.7.9～写真 9.7.11）。写真-9.7.10、写真-9.7.11 は、築 15 年ほどの建物で、両建物とも直接基礎である。この地区は、かつては旧河道沿いの低地（三角州）であったが、数十年前（30～40 年前）に整理された宅地である。いずれの建物も不同沈下による壁の亀裂やドアの開閉不良などが著しい状況であった。傾斜の方向は、建物背面側であり、高さ 1m 程度のブロック擁壁（通常のブロック塀を擁壁利用したもの）が前面道路側に押し出されることにより、建物がより沈下したものと考えられる。1m 程度のブロック擁壁の基礎は、通常、前面の道路面より下 50cm 程度にあると考えられるので、擁壁の基礎が液状化により沈下したため、建物もより大きく傾斜したと考えられる。



写真-9.7.9 建物周辺地盤の陥没

杭基礎建物（RC造）、建物周辺の地盤沈下平均 30cm 程度（最大 70cm 程度）



写真-9.7.10 鉄骨造 2 階の建物の不同沈下
（基礎形式：直接基礎、数十 cm の不同沈下）



写真-9.7.11 液状化による木造建物の被害状況
（基礎形式：直接基礎、数十 cm の不同沈下）

9.7.4 調査結果

(1) 柏崎市番神町

番神町は、柏崎駅から西に約2kmに位置する丘にある古くからの集落である。聞き取り調査の結果、新潟地震(1964)の際に海側及び山側の端部の斜面に地割れが発生し、擁壁等の補強が実施された地域である。図-9.7.1に、今回の地震で転倒したブロック積み擁壁(壁高2~5m)の概要を示した。かつては、松を有するがけ面上に細い道が設けられていたが、新潟地震(1964)の際に、崖に平行な地割れが発生し、壁厚約50cm程度の間知ブロック擁壁(高さ2~5m、勾配地表面から約75度)で崖を覆って、道路が約3mに拓げられた。壁に近接する部分は、盛土と考えられる。今回の地震により、壁高約3.5~5m(擁壁上部のり面を含めると全高5~6m)の範囲の擁壁が転倒した。転倒の状況は、地震直後に壁体がほぼ鉛直になり、数日間のうちに前面側に徐々に傾き、転倒したと考えられており、転倒した擁壁の底部が前面に約20cm押し出されている。図-9.7.2に、転倒したブロック擁壁と周辺状況の関係をまとめて示す。

写真-9.7.12は、斜面地でモルタル吹き付け壁面が崩壊した事例で、隣接する住宅の外壁に崩壊土が達している。この他に、写真-9.7.13に示すようなL型擁壁とブロック塀の土留めの被害が確認された。

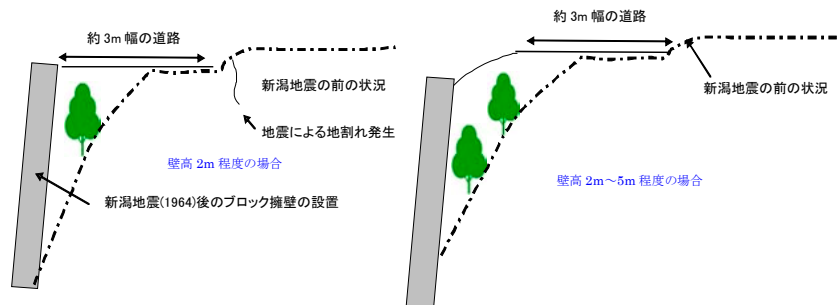


図-9.7.1 転倒したブロック積み擁壁(壁高2~5m)の概要

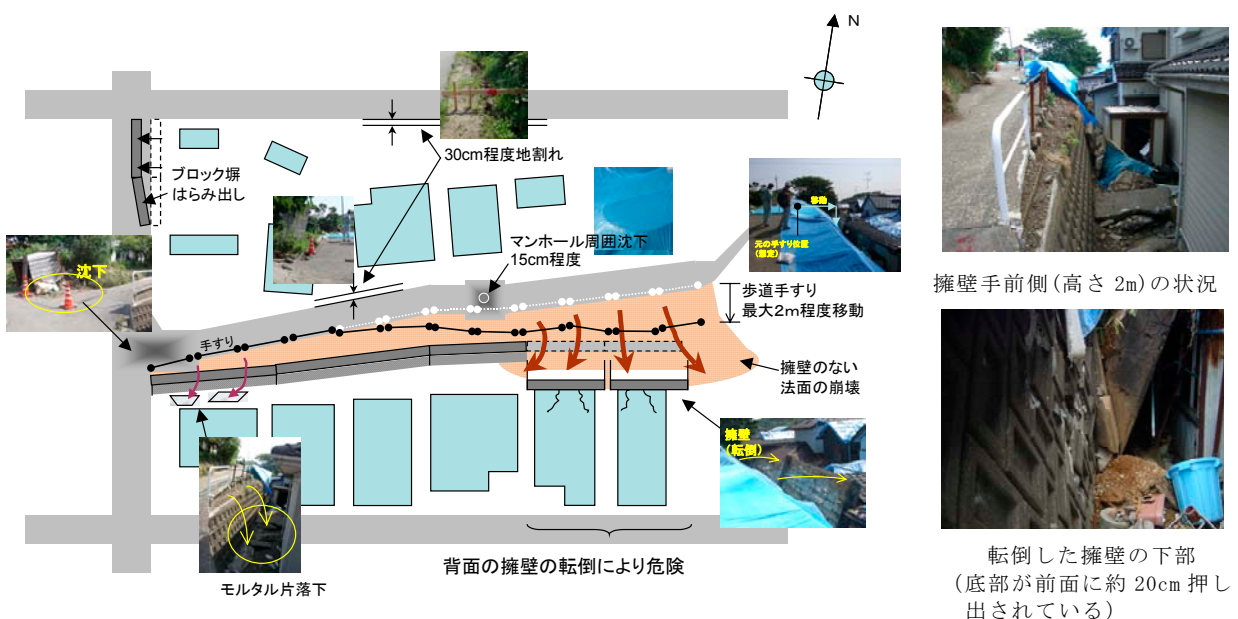


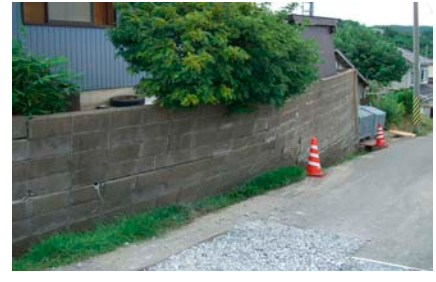
図-9.7.2 転倒したブロック擁壁と周辺状況の関係



写真-9.7.12 モルタル吹き
付け壁面の崩壊



壁高 2m 程度の L 型擁壁



ブロック土留め壁体のねじれ

写真-9.7.13 番神町における擁壁の被害状況

(2) 刈羽村

刈羽村では、液状化や液状化に伴う裏山の崩壊により、多くの家屋に被害が発生していた。砂丘からなる裏山の崩壊により、住宅背面の外壁に土砂が 1~2m の高さにわたって積み上がり、窓等を破ったケースも見られた。写真-9.7.14 は、新築された平屋が地盤変動により上向きに突き上げられた例である。建物の写真右側の部分は、前面のコンクリート製道路盤のため水平方向の変位が建物左側より相対的に小さかったが、左側は水平方向の支持が小さかったので、約 60cm 右側より押しだされた形で建物がちぎれていた。図-9.7.3、図-9.7.4 には、この敷地内で実施したスウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）及び表面波探査の結果を示す。この通り沿いの他の住宅敷地では、地表面から約 3~6m で締まった砂の支持層が存在しているが、この敷地では、深度 10m まで SWS 試験による貫入が可能であり、周辺地域と比較すると地盤がやや軟弱であると判断できる。

調査地域の中心付近において、砂丘斜面から下方に向かった測線で表面波探査を行なった。図-9.7.5 に解析結果を示す。この結果から判断すると、地層構成が砂丘斜面とさらに下方の平坦地ではかなり異なっている。砂丘斜面では深度数 m 以浅では新期砂丘に相当する比較的緩んだ砂層であるが、数 m 以深では古砂丘（番神砂層）もしくは安田層に相当する締まった砂層と思われる。一方、平坦地では深度 10m 程度まで S 波速度は 100m/s 程度であり、沖積粘土層が厚く堆積していると思われる。

図-9.7.6 に、当該地域における基礎・地盤の被害状況の一例を示す。裏山の崩壊による土砂圧が基礎等に作用して敷地と共に建物が前面にわずかに押出された例である。また、図-9.7.7 は、新潟県中越地震による当該地域の液状化現象を教訓として地下水位低下工法（暗渠工、ドレン）を採用した事例であるが、被害はごく軽微にとどまっていた。



被災住宅 前面

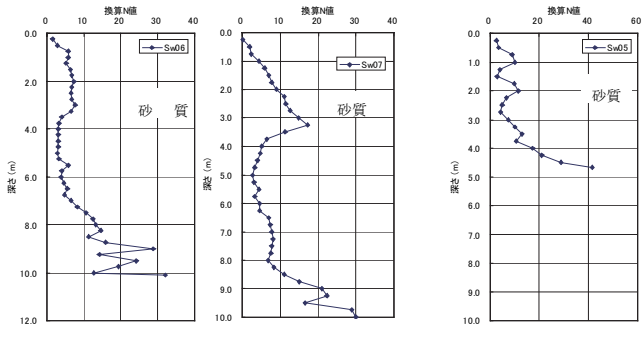


被災住宅 崖面側



崖側の建物基礎が押し上
げられた状況

写真-9.7.14 液状化に伴う住宅背面崖の地盤変動により下方から突き上げられた住宅



当該被災敷地内 他の刈羽村内敷地
 図-9.7.3 被災敷地内のスウェーデン式
 サウンディング試験結果

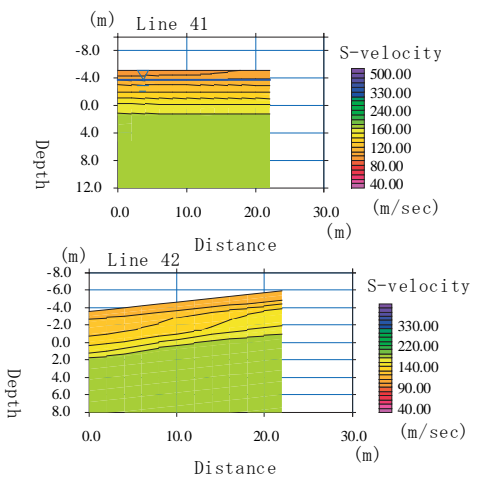
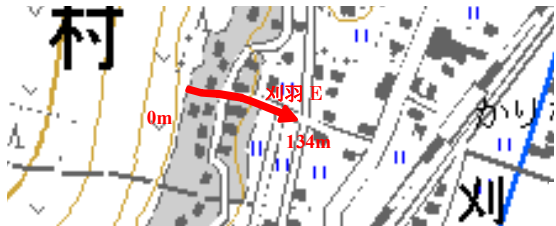
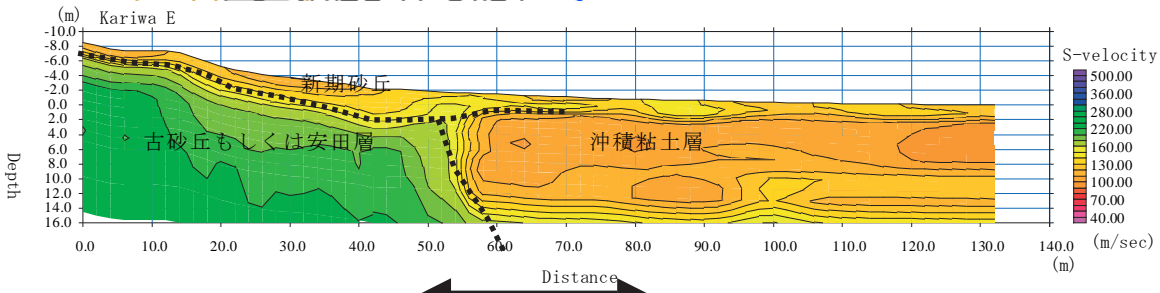


図-9.7.4 被災敷地内の表面波探査



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)



地盤構造が急変しているためやや精度が悪い

図-9.7.5 被災敷地内の表面波探査結果

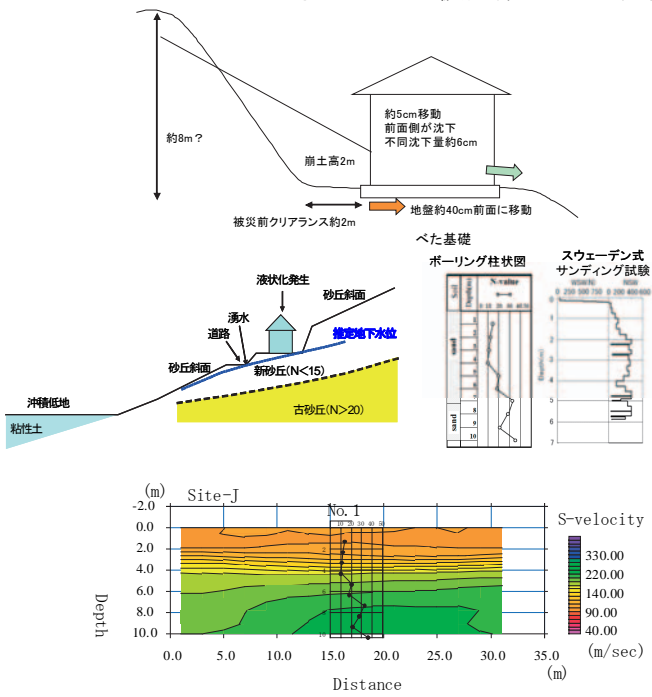


図-9.7.6 当該地域における基礎・地盤の被害状況

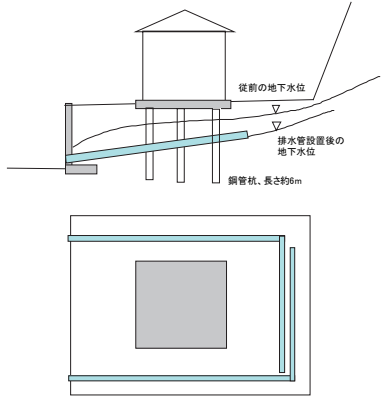


図-9.7.7 排水管（ドレン）を建物下に配して、地下水位を低減した

(3) 松波・橋場地区

柏崎駅から北東約 5km の松波・橋場地区では、旧河道を埋めたと考えられる地域で液状化被害が多発した。液状化被害地域を図-9.7.8 に、新旧地形図の比較を図-9.7.9 に示す。図-9.7.10、図-9.7.11 には、地形図に調査地域の表層地質と調査地域の微地形分類をそれぞれ重ねあわせたものを示した。また、写真-9.7.15 に松波地区の被害概要を示した。段差・地割れは、地層・地形の境界（針葉樹林（被覆砂丘））と低地（三角州）で生じていた。松波地区で液状化被害が特に顕著であった地域の延長線上に、倒れた樹木や鯖石川改修祈念公園内の大きな地割れが位置すると考えられる。

聞き取り調査や旧地形図によると松波地区は、35～40 年前に開発された宅地である。鯖石川を渡る直前の松波 2 丁目では、旧河道との境界と考えられる部分で数十 cm の段差が生じ、この段差の直上に立つ住宅は大破し、建築物の不同沈下は最大 60cm 程度であった。また、不同沈下量 10cm、傾斜角 10/1000 を超える場合も少なからず認められた。

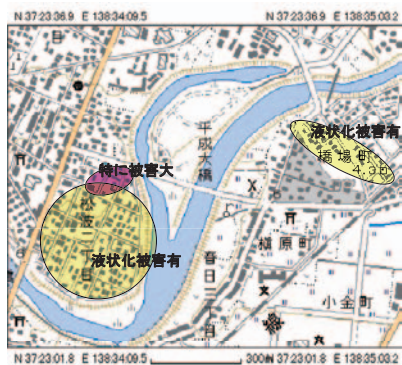
図-9.7.12 に、この地区の地震後の道路面高低差を示す。国道 352 号に平行する A1-A7 間では最大約 2.5m、直交する方向では最大 2m 程度に達している。松波地区及び公園内で実施した表面波探査結果を図-9.7.13 に、スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）結果を図-9.7.14 にそれぞれ示す。被害が顕著であった地点は、地形の境界部付近であると考えられるが、表面波探査結果で三角洲と被覆砂丘で表層の地盤構成に違いが認められ、SWS 試験の結果においても、三角洲範囲が被覆砂丘よりも概ね軟弱であることがわかる。

鯖石川を越えた橋場地区でも液状化被害が多発した。橋場地区では、2004 年中越地震でも液状化被害が発生しており、2006 年に地盤調査を行なっている。図-9.7.15 に、2006 年に実施した表面波探査結果とスウェーデン式サウンディング試験結果の例を示す。液状化が発生したのは主に旧河道であり、旧河道内の主に砂質土と思われる埋土が液状化したと考えられる。旧河道の外周は粘土質であり、旧河道の砂質系との差異が認められる。

橋場地区では、深度 10m 程度まで S 波速度は 100m/s 程度であり数 m 以深は概ね粘性土主体と考えられる。一方、松波地区では、約 5m 以浅は S 波速度 120～150m/s でやや緩んだ砂質土、5m 以深は 150～200m/s で締まった砂質土と考えられる。このような橋場地区と松波地区の土質の違いは、図-9.7.10 に示した表層地質図と一致している。また、松波地区は、一般に地盤が良好と考えられており、微地形分類で被害を受けなかった範囲は、被覆砂丘、被害を受けた範囲は三角州に分類されており、S 波速度や被害の違いはこのような地盤環境の違いに起因していると考えられる。

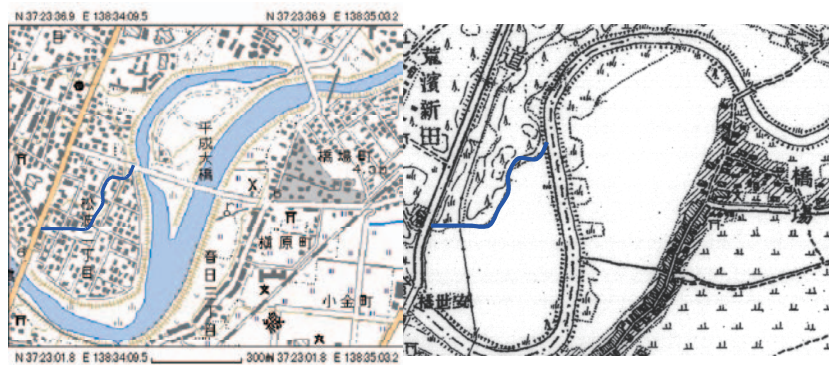
図-9.7.16 に、今回の地震による橋場地区の被害概要と地盤調査地点を示す。前回の著しい被害が生じた地域は、図中黄色で塗りつぶした範囲であり、聞き取り調査では、2004 年の中越地震では、道路全体に泥水が溶岩のようにわき上がり、住宅の沈下障害が顕著であったが、今回この地域での被害は比較的少なく、他の地域で被害が生じていた。図中には、旧河道の位置の凡を示しているが、被害は概ね旧河道とその外周との境界付近で多いように思われる。特に、図中右上の旧河道と鯖石川が交差する土手付近では、土手の一部が大きく沈下し、その段差に伴う地割れにより土間コンクリート等が大きく割れ裂け、建物に被害が生じていた（写真-9.7.16）。そのほか、液状化により段差が生じ、大きく傾いた住宅も認められた。なお、当該敷地で確認した新築住宅 10 棟前後（2004 年中越地震後の着工）の多くは、地盤改良や鋼管による地盤補強を採用しており、剛体的な傾斜が生じ

ている可能性はあるものの、基礎の著しいひび割れなどの構造的被害はほとんど認められなかった。図-9.7.17、図-9.7.18に、今回実施したSWS試験結果と表面波探査結果を示す。



(国土地理院の数値地図25000(地図画像)を使用)

図-9.7.8 松波・橋場地区の被害地域



(左：国土地理院の数値地図25000(地図画像)を使用、右：旧地形図(明治45年)、青線は旧地形図における針葉樹林の低地の境界線)

図-9.7.9 松波・橋場地区の新旧地形図の比較



(黄色：新期砂丘堆積層、白：沖積平野堆積層)
(柏崎市,刈羽村の地形・表層地質状況(出典:新潟県土地分類基本調査図)の表層地質と地形図の調査地域部分を重ねあわせたもの)

図-9.7.10 調査地の表層地質



(緑：三角州、黄色：被覆砂丘)
(柏崎市,刈羽村の地形・表層地質状況(出典:新潟県土地分類基本調査図)の地形と地形図の調査地域部分を重ねあわせたもの)

図-9.7.11 調査地の微地形区分

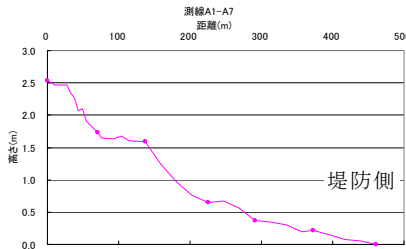


左：地盤変動による被害が甚大であった地点の状況
中：上記地点において建物の不同沈下を増大させたと考えられる擁壁の変形
右：川に沿った道路の変形に伴う電信柱の傾斜

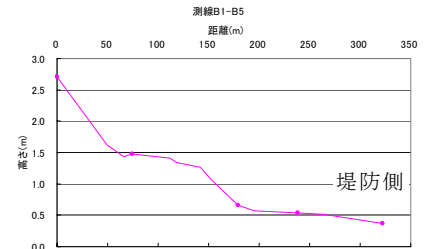
写真-9.7.15 松波地区の被害概要



各測定、計測の位置
 (レベル、スウェーデン式サウンディング試験、表面波探査)
 (国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

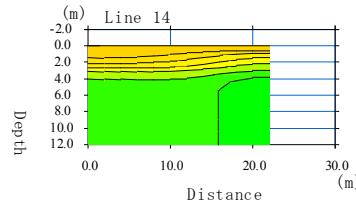


A:国道 352 号に平行な道路

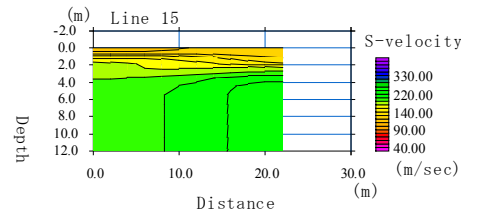


B:国道 352 号に直交する道路

図-9.7.12 道路面のレベル測定結果



松波第 1 公園 測線 1



松波第 1 公園 測線 2

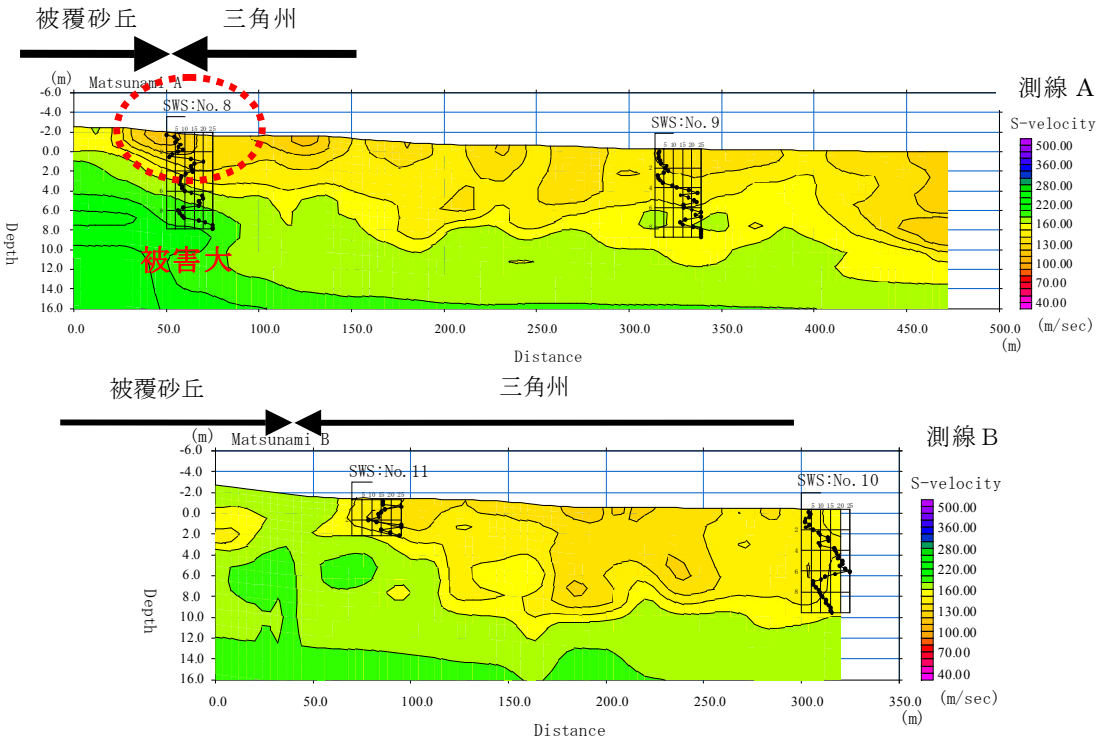


図-9.7.13 表面波探査結果

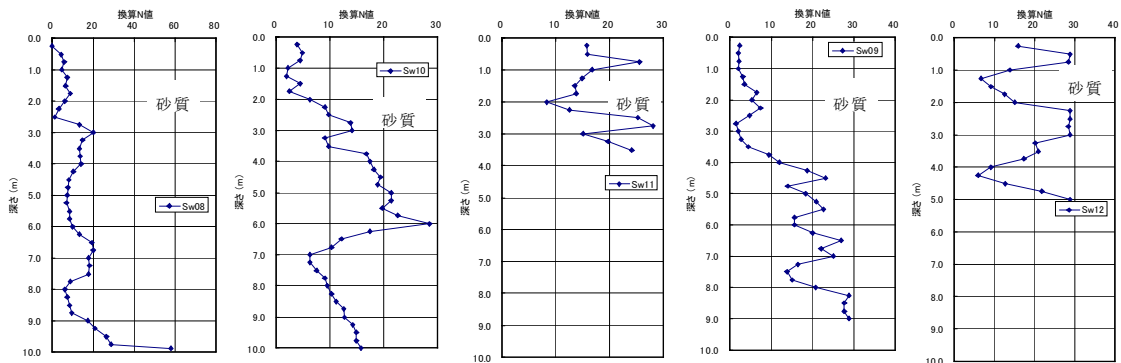


図-9.7.14 スウェーデン式サウンディング試験結果

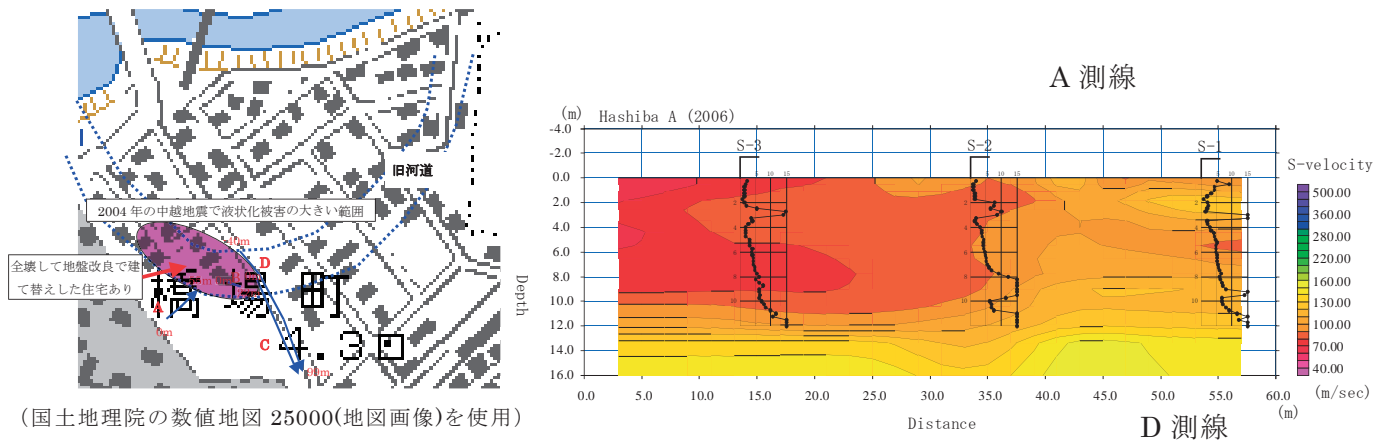


図-9.7.15 2006年に実施した橋場地区での地盤調査結果
(表面波探査とスウェーデン式サウンディング試験結果)

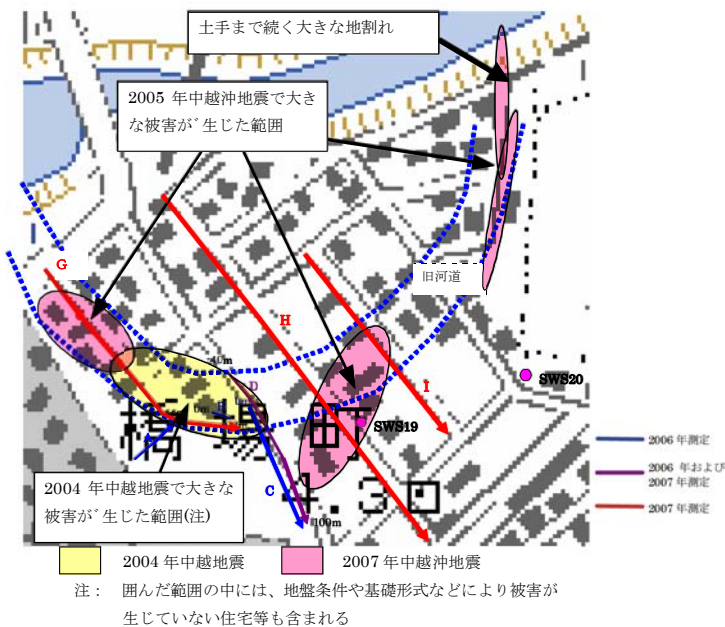


写真-9.7.16 橋場における大きな地割れ
地層境界付近の土手の陥没、赤く囲んだ範囲
が沈下範囲(約30cm)、地割れは矢印の方向

(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

図-9.7.16 橋場地区の被害と地盤調査
の実施地点

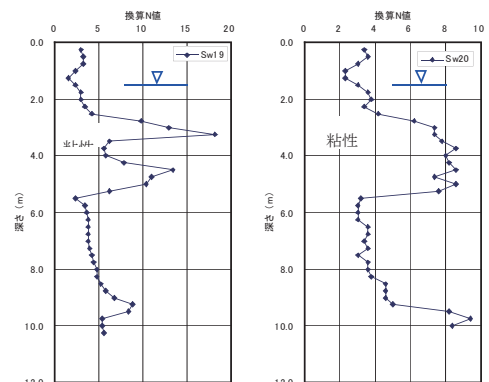


図-9.7.17 スウェーデン式サウンディング試験結果

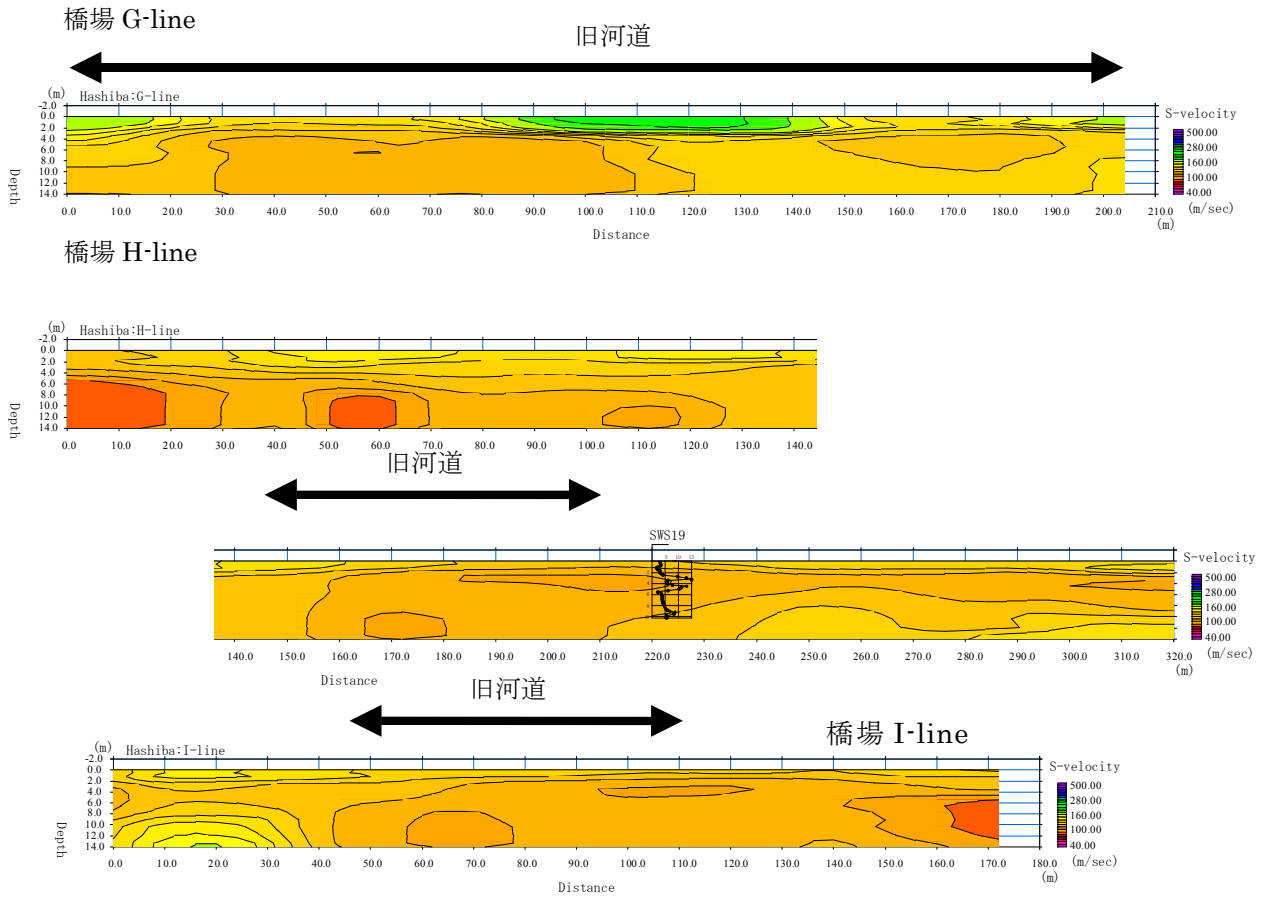


図-9.7.18 表面波探査の結果

(4) 山本団地

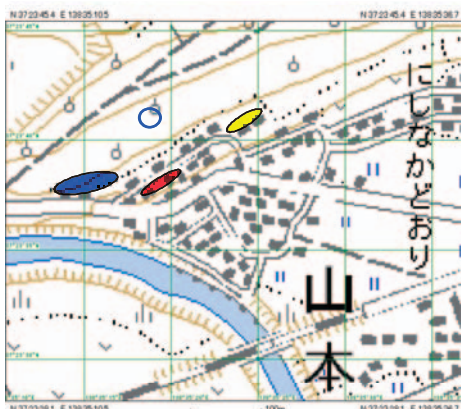
橋場地区から東北約 1km にある山本団地では、液状化及びそれに起因すると考えられる裏山の崩壊により、住宅や宅地・擁壁に数多くの被害が発生した。図-9.7.19 に被害概要を、写真-9.7.17 に被害状況を示す。この団地周辺は、表層地質図（新潟県土地分類基本調査図、国土庁、昭和 61 年）から判断すると、崖上が砂丘、崖下が低地に位置する地形等の境界付近に位置する。聞き取り調査の結果からこの団地は約 34 年前に造成され、山側の砂丘を崩して切り盛り造成したと考えられる。玄関脇で高さ 1m 程度、地下水位が吹き出し、地盤の沈下等が生じた地域もあったようである。なお、写真-9.7.18 は、図-9.7.19 において青で囲んだ砂丘斜面の頂部付近で確認した地表面での湧水の状況であり、砂丘全体に地下水位が高い可能性が考えられる。

図-9.7.20 は、被害状況の概要を断面図としてまとめたものである。最上部の砂丘裏山の崩壊、最上段の擁壁の滑り出しによる側溝のつぶれ、中段の住宅敷地における地盤の陥没による基礎の破断や住宅の著しい傾斜、下段側の擁壁の転倒とそれに伴う擁壁前面側の住宅の外壁の損傷などがあげられる。一体の鉄筋コンクリート造の基礎を有する新しい住宅では、概ね剛体的な傾斜であったが、無筋・ブロック・独立基礎と考えられる古い基礎では基礎が大きく破断して上部構造の崩壊に繋がった事例が認められた。

上段擁壁は、高さ 2～2.5m 程度の間知の谷積みブロック（壁勾配は水平面から約 70 度）である。下段側の宅地擁壁は高さ 2m 前後である。上段間知ブロックの壁体自体の損傷は軽微であるが、最大 30cm 程度の滑りだしが認められた。住宅下段側の擁壁は、壁高 50cm 程度のコンクリート擁壁の上にブロック等を鉛直に積み上げた増し積み擁壁が大半である。

図-9.7.21 は、当該地域における造成段階及び住宅建設後の擁壁工事の関係と地震による被害の関係を示したものである。また、図-9.7.22 は、被害を受けた擁壁の概要である。聞き取り調査によると、造成段階では高さ 500 程度のコンクリート擁壁の背面にはのり面（高さ 1m 程度）があったが、住宅建設後に 1m 程度増し積んだ例が多いことがわかった。被害状況から判断すると、地震による液状化等によって増し積み下部のコンクリート擁壁に沈下や水平変位が生じて、上部のブロック擁壁等の転倒をもたらしたと考えられる。

図-9.7.23 に、山本団地における地盤調査の測定位置を、図-9.7.24、図-9.7.25 に、表面波探査結果及び SWS 試験結果を示す。推定されるせん断波速度の値は 100m/s 程度と小さく、粘土質の可能性も考えられる。また、SWS 試験結果から判断すると、下段擁壁の背面地盤はかなり軟弱な砂層が表層にあり、上段擁壁の背面の表層部はやや締まった砂層と考えられる。地下水位は下段擁壁の前面では地表面付近に存在していると考えられる。



青（図中、左側の楕円で囲んだ地域）：裏山も崩壊が顕著な地域、赤（同、中央の楕円）：宅地の陥没・水平変位による住宅の著しい被害、黄（同、右側の楕円）：道路面の変状が特に顕著であった範囲、青丸（同、丸印）：写真-9.7.18 湧水確認地点

（国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用）

図-9.7.19 山本団地の被害概要



写真-9.7.17 山本団地における擁壁の被害例

左：裏山の崩壊による崖下住宅への危害、中：増し積み擁壁の被害
 右：敷地全体のすべり等により前面に押し出された擁壁



写真-9.7.18 砂丘斜面の頂部付近で確認した地表面の湧水

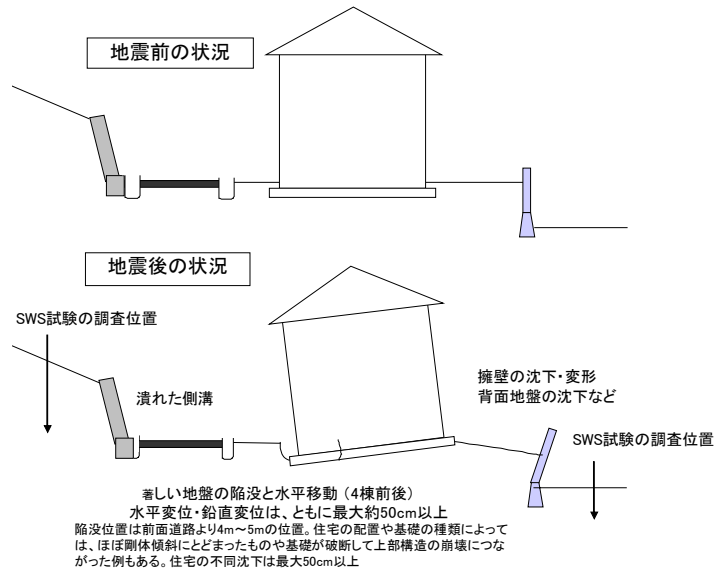


図-9.7.20 山本団地における地震前後の住宅・宅地の状況

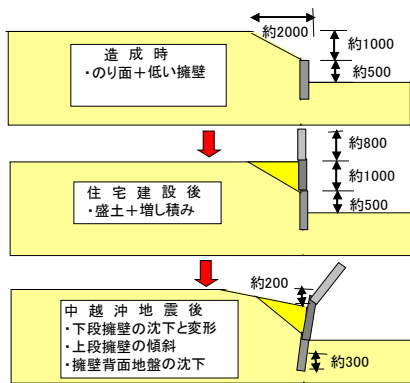


図-9.7.21 山本団地における宅地造成と擁壁の被害

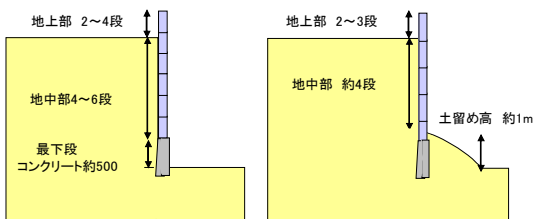
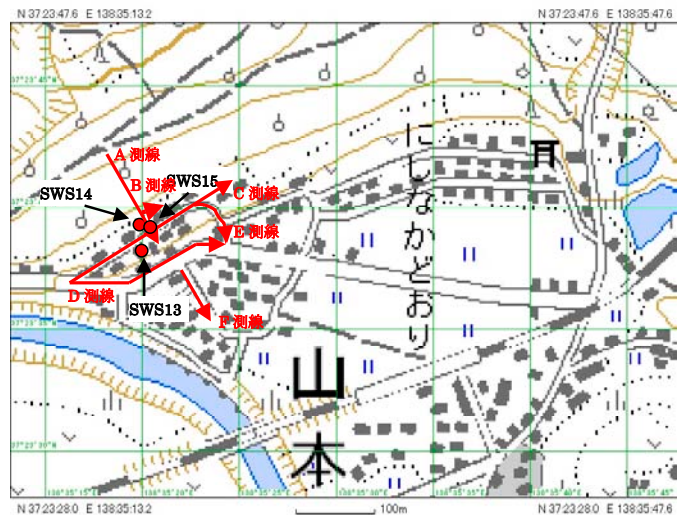


図-9.7.22 山本団地において擁壁の被害が数多く認められた擁壁の構造例



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

図-9.7.23 山本団地における調査位置

(表面波探査、スウェデン式サウンディング試験)

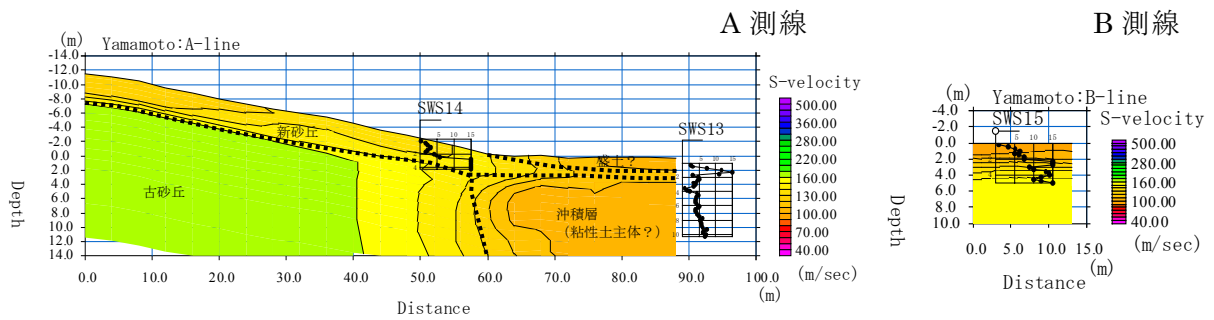


図-9.7.24 山本団地における表面波探査結果

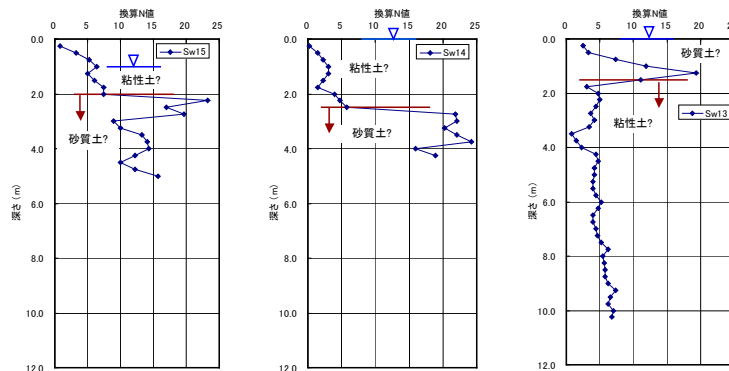


図-9.7.25 山本団地におけるスウェーデン式サウンディング試験結果

(5) その他の地区

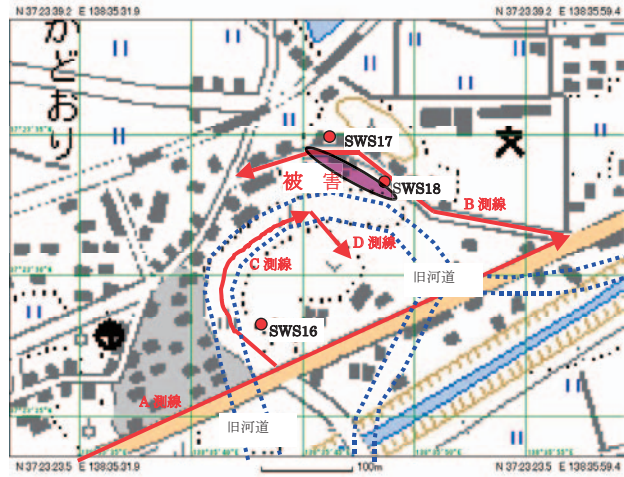
1) 日吉小学校付近（山本地区）

山本団地から東約 1km の日吉小学校から西側に向かう道路沿いの地域では、住宅 10 棟前後が液状化によって大きく落ち込み、著しい被害が生じていた（写真-9.7.19）。道路から西側は旧河道、東側は河川堤防と考えられ、道路の近傍の西側低地で段差等が生じ、大きな被害に繋がったと考えられる。

図-9.7.26 に、地盤調査位置と被害概要を、図-9.7.27、図-9.7.28 に、スウェーデン式サウンディング試験結果と表面波探査結果をそれぞれ示す。A 測線 50～100m 付近の高速度部分は、国道の鯖石川の橋に近いことから、地盤改良などにより地盤が硬くなっていることや、埋設物の影響の可能性が考えられる。旧街道沿いに測定した B 測線は、微地形区分で自然堤防および微高地に相当し、150～250m 付近の標高がやや高くなっている部分の S 波速度が 150m/s 以上とやや高速度になっている。これはスウェーデン式サウンディング試験結果と一致しており、微地形区分に対応して地盤条件が異なっていると思われる。C 測線、D 測線は、旧河道上およびその周囲に位置しているが、深度数 m までの浅部地盤は場所によって S 波速度が異なっている。



写真-9.7.19 日吉小学校周辺の道路沿いで生じた段差による住宅の沈下障害による被害例



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

図-9.7.26 日吉小学校周辺における地盤調査位置と被害概要

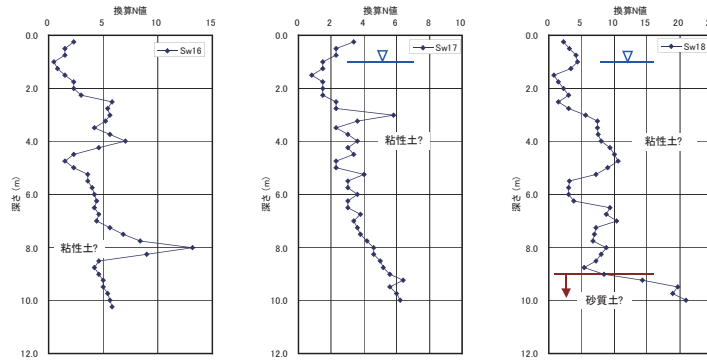


図-9.7.27 日吉小学校周辺におけるスウェデン式サウンディング試験結果

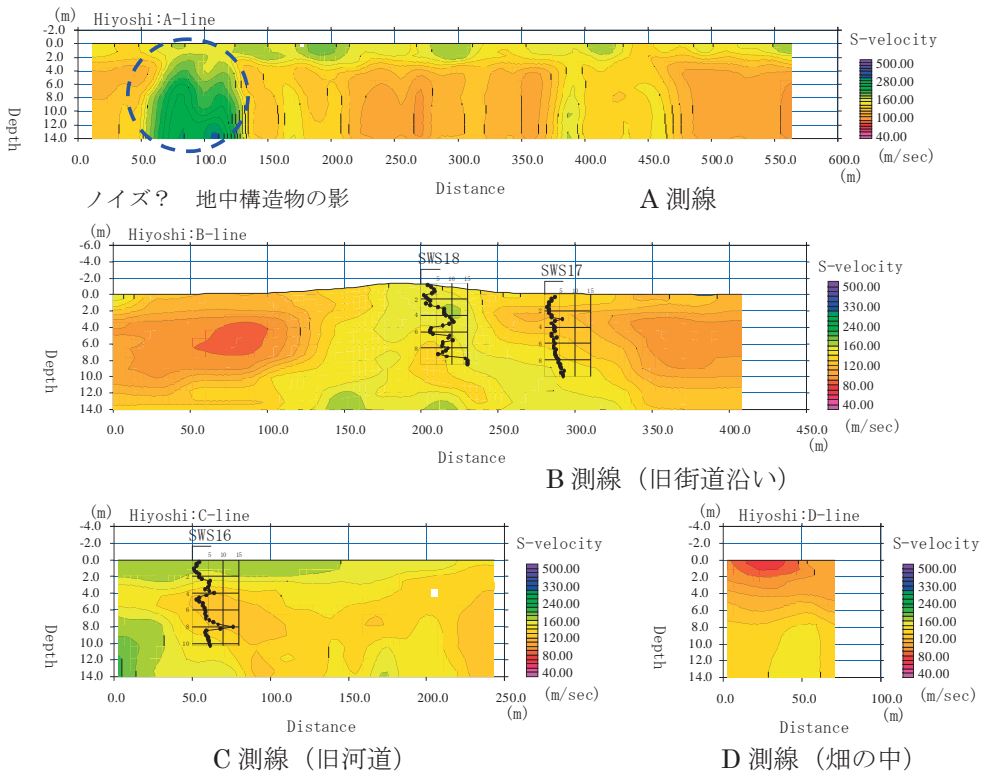


図-9.7.28 日吉小学校周辺における表面波探査結果

2) 西本町

柏崎駅から北西約 1km の市街地にある西本町では大通りに直行する緩斜面で地盤変動による被害が発生していた。被害が甚大な道路に面した歩道付近の住宅地では、地盤の水平変位約 50cm、鉛直変位（沈下）約 30cm（**図-9.7.29** 参照）。聞き取り調査などの結果から判断すると、地盤高の高い左側は砂丘が主、右側の低地部は沖積粘土層の可能性が考えられる。地盤変動による被害が生じた住宅の基礎は、大半がブロック基礎であった（**写真-9.7.20**）。被災地には新築住宅が 1 棟と少なかったこともあるが、調査した範囲では基礎のひび割れなどは生じていなかった。周辺には R C 造 7 階の共同住宅があったが、杭基礎のため 30cm 程度の浮き上がり発生していた（**写真-9.7.21**）。

表面波探査の測線と結果を **図-9.7.30** に示す。A 測線や B 測線の前半では深度数 m から S 波速度 150m/s 以上となり、比較的締まった砂層と思われるのに対して、B 測線後半や C 測線では、深度数 m 以深では S 波速度は 100m/s 前後と低速度である。このことから本町通り（A 測線）を境に、南側では粘性土主体の軟弱な地盤上に緩んだ砂層や砂質盛土が存在している可能性が考えられる。

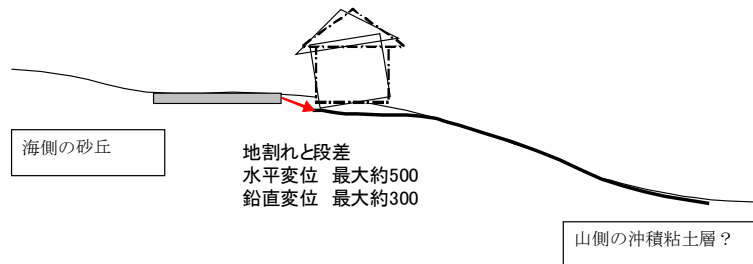


図-9.7.29 西本町の地盤変動被害の概要

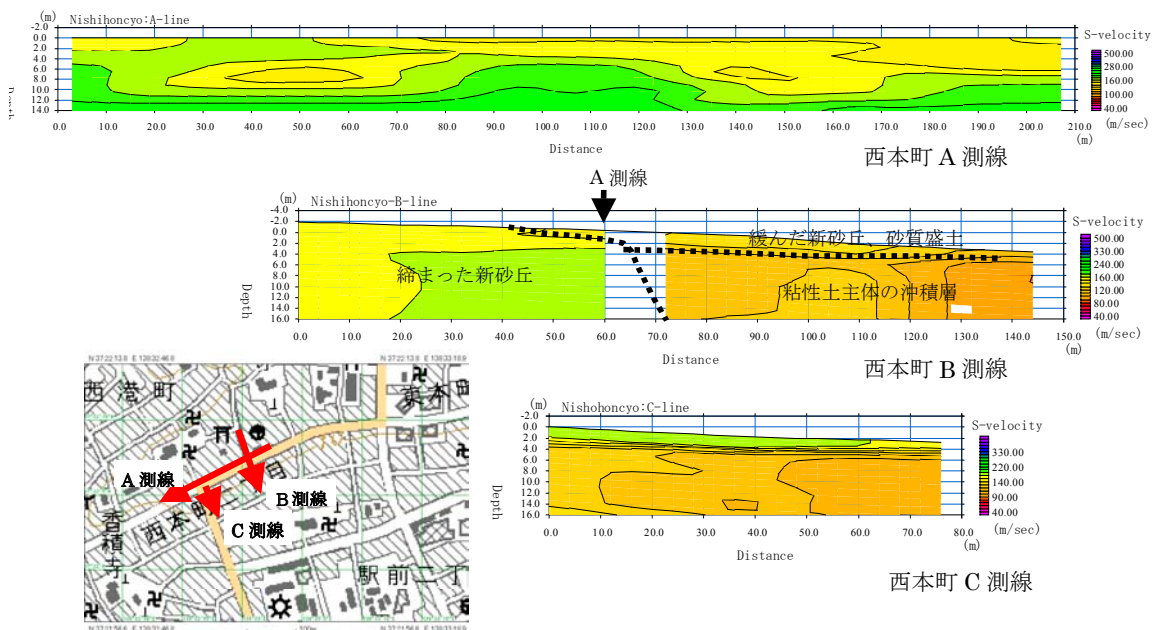


図-9.7.30 表面波探査結果



写真-9.7.20 西本町での地盤変動による被害

(左：歩道上に認められた地盤変動、鉛直、水平で 300-500 程度)
 (右：大破した住宅の沈下修正工事、基礎はブロック基礎)



写真-9.7.21 杭基礎建物の被害

(最大 500 程度の建物の相対的な浮き上がり)

3) 池の峰団地

池の峰団地における擁壁の被災状況を写真-9.7.22 に示す。外周部の擁壁がはらみ、一部の擁壁接合部で鉄筋が破断していた。



被災状況の全景 (応急措置済)



接合部右側擁壁のはらみ



擁壁接合部の状況

写真-9.7.22 池の峰団地の被災状況

4) 半田地区

半田地区における擁壁の被災状況を写真-9.7.23 に示す。半田地区は、新潟県中越地震においても被害が顕著であった地域であり、新潟県中越地震時と比較のため調査を行った。



擁壁隅部の破壊



コンクリート擁壁のはらみ



写真-9.7.23 半田地区の擁壁被災状況

5) 北条地区

北条地区は、新潟県中越地震において被害が顕著であった地域であり、比較のため調査を行った。新潟県中越地震での被災地域は、接道道路等復旧されており、聞き取り調査から、危険地域として柏崎市から住宅の建設は禁止されているとのことであった。今回の地震においても、ほぼ同一の地域で地盤の移動が確認された。

9.7.5 本節のまとめ

新潟県中越沖地震による建築物の基礎及び地盤の被害とその特徴等を以下に示す。

- 1) 建築物の基礎・地盤の著しい被害のほとんどは、木造等の小規模建築物で発生していた。ひび割れなど著しい基礎の損傷は、古い基礎（ブロック基礎や無筋基礎等）で生じており、現行基準を満足する鉄筋コンクリート造による一体基礎の破壊等の被害は、剛体的な傾斜や不同沈下を除くと、ほとんど認められなかった。
- 2) 杭支持建物のなかには、液状化によって建物周辺の地盤が数十 cm 沈下し、杭支持された建物が相対的に浮き上がった例がいくつか確認された。なお、これらの建物において、著しい傾斜や不同沈下等の被害は今回調査した範囲では確認できなかった。
- 3) 地盤変動による住宅・宅地の被害は、液状化またはそれに起因する地すべりなどによって生じていた。今回の調査範囲において、液状化による住宅等の被害が大きい地域は、刈羽村、松波・橋場地区、山本地区などであった。
- 4) 液状化による著しい地盤変動は、地形・地質の境界付近などで生じていた。旧河道を埋めた部分と周辺の河川堤防などの境界、砂丘斜面と沖積低地との境界付近などで、大きな地割れや段差が生じていた例が確認された。また、液状化に伴う砂丘斜面の崩壊により、裏山が崩壊して、住宅の外壁等が被害をもたらした例もあった。
- 5) 鉛直に増設した増積み擁壁、ブロック塀を擁壁の代替に用いた土留め壁など、安定性に支障のある擁壁の崩壊や変形によって、背面の住宅や宅地に被害をもたらした例が数多く認められた。高さ 4、5m の練り積み造（傾斜 75 度前後）が転倒に至り、前面側の住宅にもられかかった例もあった。
- 6) 増改築の際、増築部分の基礎は地盤改良などにより補強することがあるが、液状化による地盤沈下によって、地盤改良などを採用していない既存基礎が沈下し住宅に沈下障害をもたらした例が認められた。

また、被害事例から判断すると、住宅・宅地の地盤災害の軽減・防止を図るには、敷地の履歴や生い立ち（例えば、敷地周辺の旧河道や旧水路の存在）、基礎の構造と一体性、敷地内の既設擁壁の健全性、などを考慮した住宅の基礎設計が重要であり、液状化のおそれのある地形・地質の境界部付近では特に注意を要すると考えられる。

【謝辞】

本調査における地盤調査は、敷地を所有する建築主の方々のご協力により実現したものである。調査の実施に際しては、国際地震工学センターで研修中の JICA 研修生並びに敷地基礎分科会・同作業 WG 関係者（耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発、H18～20）の方々のご協力を得た。林宏一氏（応用地質㈱）には、JICA 研修生（Yu Shinzhou）の研修指導者として、解析等のご協力を得た。また、被災地における地盤調査等に際しては、大塚悟研究室（長岡技術科学大学）及び若井明彦研究室（群馬大学）のご協力を得た。記して感謝する次第である。

9.8 まとめ

平成19年（2007年）7月16日10時13分頃発生した地震による、新潟県中越地方の建築物の被害性状及び地震動の特徴を把握する目的で、国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所が連携し、平成19年7月17日から10月9日まで、新潟県柏崎市、刈羽村、長岡市等において、被害調査や余震観測等を行った。本報告書は、調査結果を整理し、まとめたものである。

この地震において建築研究所の強震観測網では、北陸から関東、東北にかけての37の観測地点で強震記録が得られた。このうち、小千谷小学校と上越社会教育館で震度5を、新潟市役所分館、長野県庁、及び建築研究所新館で震度4を観測した。

本震発生日の翌々の7月18日より8月9日までの間、柏崎市役所及び柏崎市西山町事務所を対象に余震観測を行い、貴重な記録を多数収集した。柏崎市役所では、市役所本館と市民会館大ホールで余震観測を行い、建物への入力地震動に関して貴重な観測資料を得ることができた。また西山事務所では庁舎建物の振動特性を把握することができた。

本地震において、木造建築物の被害が顕著であった。大破、倒壊した木造建築物は、主に土塗り壁を有するような比較的古い構法による住宅、倉庫、車庫、納屋の類、並びに店舗併用住宅であり、住宅の全壊数は、平成16年新潟県中越地震の1/3程度であった。築50～60年以上と推定される木造家屋では、倒壊家屋が多く見られたが、築30～40年以下と推定される比較的新しい家屋では、大きな被害を受けた住宅の割合は低かった。建築基準法や品確法の評価法における等級1で要求されている壁量に対する簡易な推計法による壁量の充足率が60～70%を超えると、大きな被害は見られないことが確認された。

住宅基礎においては、古い基礎（ブロック基礎や無筋基礎等）に著しいひび割れ等の被害が見られたが、現行基準を満足する鉄筋コンクリート造の基礎の被害は、ほとんど認められなかった。住宅・宅地の被害は、液状化またはそれに起因する地すべりなどによって生じている場合も見られ、また液状化に伴う砂丘斜面の崩壊により、住宅の外壁等に被害が見られた例もあった。

住宅における地震被害の軽減には、地震動の揺れに対する上部構造の耐力を確保するとともに、敷地の情報（履歴や生い立ち）に基づいた宅地（擁壁等を含む）の安全性・損傷性の把握、及び上部構造と基礎構造と一体性の確保等が必要と考えられる。

高層の塔状工作物（煙突）では、鉄筋コンクリート造の壁主筋がダブル配筋からシングル配筋に切り替えられた高さの位置で被害が発生した。配筋等の検討から、各高さ位置の許容曲げモーメントは建築基準法の耐震基準で要求される必要曲げモーメントを上回っていた。主筋をダブルからシングル配筋に切り替える位置では、主筋の重ね継手やカットオフの位置によって、許容曲げモーメントが不連続となることがあるので、設計にあたっては十分な配慮が望まれる。

天井の被害は、比較的大規模なものから小規模な天井まで被害が確認された。天井における加速度による振動的な要因とともに、構造体の被害に伴い、天井が全面的に脱落したものがある。防火扉やドアなどの建具に開閉支障が生じた被害が見られ、接続箇所面に面する両建物の相対的な変位の影響について検討が必要である。

本調査の実施、資料の収集及び調査結果の整理にあたっては、多くの方々のご協力、ご支援をいただきました。ここに改めて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震建築物被害被害調査報告、国土技術政策総合研究所資料、第430号、建築研究資料、第109号、2007.12
- 2) 厚生労働省：<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2007/07/h0716-2.html>
- 3) 内閣府：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震について（第24報）
http://www.bousai.go.jp/4fukkyu_fukkou/niigata/24pou.pdf
- 4) 国土交通省：http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/05/050806_.html
- 5) 消防庁：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震（第48報）
<http://www.fdma.go.jp/data/010711040932501142.pdf>
- 6) 新潟県庁：新潟県推計人口（平成19年11月1日現在）
<http://www.pref.niigata.lg.jp/tokei/1195661794952.html>
- 7) 国土交通省：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震について（第28報：最終報）
http://www.mlit.go.jp/bosai/disaster/saigaijyouhou/h19/cyuetuoki_28.pdf
- 8) 防災科学技術研究所強震ネットワークK-NET：<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- 9) 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
- 10) 「紙の基礎講座」ホームページ：
<http://homepage2.nifty.com/t-nakajima/kamikiso05.html>
- 11) (財)日本建築防災協会：木造住宅の耐震精密診断と補強方法、p.60、2004
- 12) 河合直人：建築技術、No.608、p.124、2000
- 13) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成16年新潟県中越地震建築物被害調査報告、pp.176～223、2006
- 14) (社)日本建築学会：建築基準法令集 平成元年版、1989.12
- 15) (社)日本建築学会：鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針、1976.6

謝 辞

平成19年新潟県中越沖地震の調査に当たって、国土交通本省、同北陸地方整備局、新潟県、柏崎市、東日本高速道路(株)及び東日本旅客鉄道(株)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。特に、北陸地方整備局及び新潟県土木部には、地すべり災害に関するデータをご提供いただいた。北陸地方整備局、同信濃川河川事務所、同信濃川下流河川事務所及び新潟県には、信濃川及び鯖石川の被害に関するデータ並びに地盤調査データをご提供いただくとともに、北陸地方整備局、新潟県、柏崎市及び東日本旅客鉄道(株)には、ダムの堤体挙動観測データをご提供いただいた。また、北陸地方整備局及び同長岡国道事務所には、調査橋梁の基本情報等とともに、豊田橋及びなごみ橋について残留変位の計測データを、長岡国道事務所、高田河川国道事務所及び新潟県柏崎地域振興局には、道路斜面の被害に関するデータをご提供いただいた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

国土技術政策総合研究所資料

Technical Note of NILIM, No.439

土木研究所資料

Technical Note of PWRI, No.4086

建築研究所資料

Building Research Data, No.112

February 2008

編集・発行 © 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

本資料の転載・複写の問い合わせは

国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課

〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地 TEL 029-864-2675

独立行政法人 土木研究所 企画部 業務課

〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 TEL 029-879-6754

独立行政法人 建築研究所 企画部 企画調査課

〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地 TEL 029-864-2151(代表)