

10.3.3 鉄骨構造建築物の被害状況

10.3.3.1 調査目的等

以下の観点で、学校体育館を中心に鉄骨造建築物の被害調査を行った。

- ①構造被害があるとされる学校体育館等の特定公共鉄骨造建築物の構造被害調査
- ②一般鉄骨造建築物の被害概要調査
- ③非構造部材等の被害調査

10.3.3.2 被害概要

1) 学校体育館等の被害

- ・ 桁行方向ブレース材の座屈、ブレース材接合部（ボルト接合部、溶接接合部）破断があった。張り間方向（円筒ラチスシェル、山形ラーメン等）の構造の被害は特に見られなかった。
- ・ ブレース材が接続されている間柱脚部のアンカーボルト破断
- ・ 天井材、外壁、窓ガラス（サッシ）、照明器具、の破損、落下
- ・ その他、音響機器、空調装置等の部品落下

2) 一般鉄骨造建築物の被害

- ・ ラスモルタル外壁等の破損、落下
- ・ 柱脚部の被害、梁継手部等の破断

3) 詳細調査の事例

体育館A

桁行方向ブレース材の座屈及び破断。ブレース材 2L-50x50x4。舞台脇の仕上材一部落下。床の沈下。間柱脚部のアンカーボルト（2本ずつ4箇所）が全て破断。張り間方向は特に被害なし。

間柱脚部のずれの跡から、桁行方向の最大層間変形は 50~60mm 程度（層間変形角で $50\sim 60/3700=1/74\sim 1/61$ 程度）に達したものと推察される。

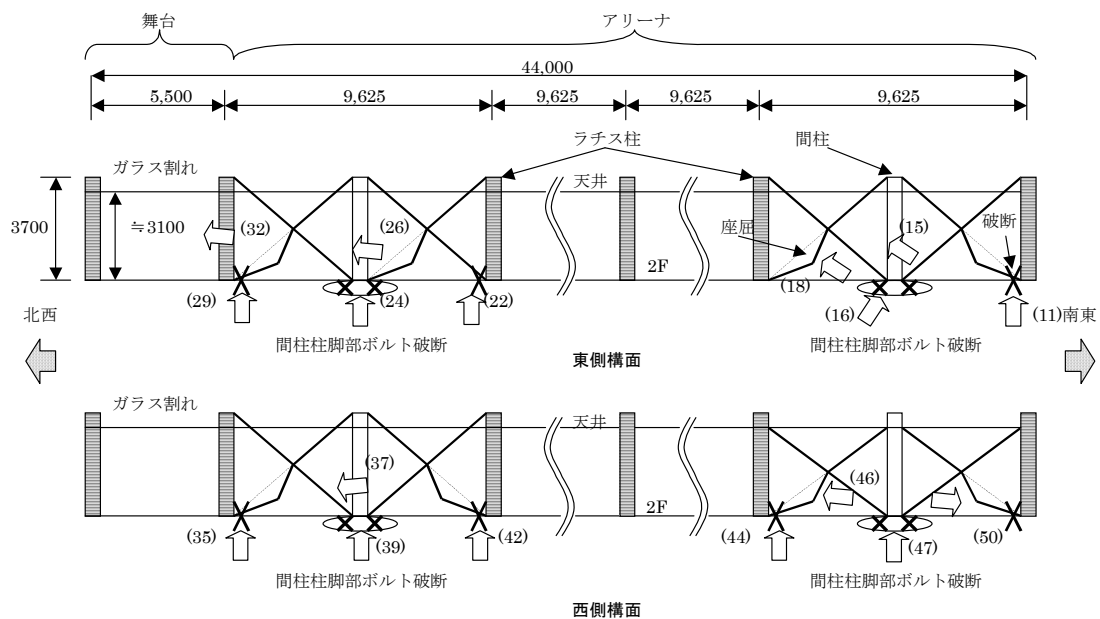


図 10.3.1 体育館A 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 10.3.18 内観



写真 10.3.19 内観



写真 10.3.20 ブレース材端部ボルト破断 (11)



写真 10.3.21 間柱脚部アンカーボルト破断(16)



写真 10. 3. 22 ブレース材座屈(15) 写真 10. 3. 23 つづり部での亀裂(18)



写真 10. 3. 24 ブレース材端部ボルト破断 写真 10. 3. 25 間柱脚部ボルト破断、ずれの跡
(22) (24)

センターB

1～2階が RC 造、3階及び屋根が S 造の建築物で、竣工は 1994 年である。

RC 造の部分に、被害は無かった。

天井 3 割程度落下。せっこうボード 9mm 厚+ロックウール。せっこうボードとロックウールはステーブル留め。吊りボルト多数あり、600～800mm ピッチ。スピーカー 2 個落下、400x400 程度の大きさ、重量 1 個当たり 10kgf 程度。シングル野縁間隔 300mm 弱。せっこうボード 910x1600。せっこうボードは野縁にビス留め。ビスピッチ 300mm 以下。

ブレース材 2C-180x75x 7x10.5、X 型、4 箇所全て座屈 (破断なし)。

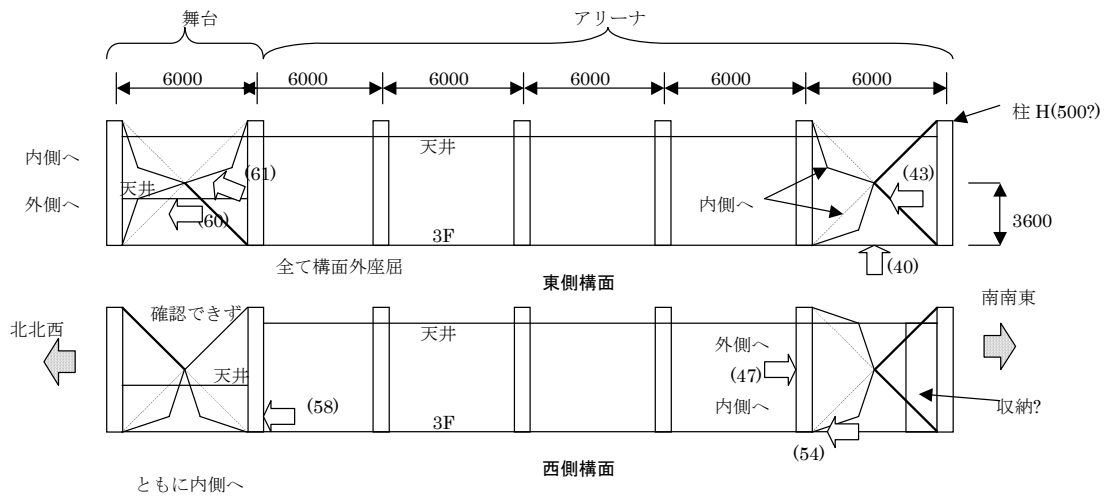


図 10.3.2 センターF 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 10.3.26 内観



写真 10.3.27 天井



写真 10.3.28 落下した天井とスピーカー

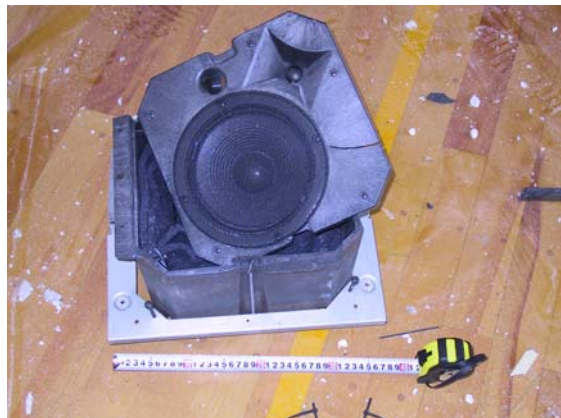


写真 10.3.29 落下したスピーカー



写真 10. 3. 30 落下した天井

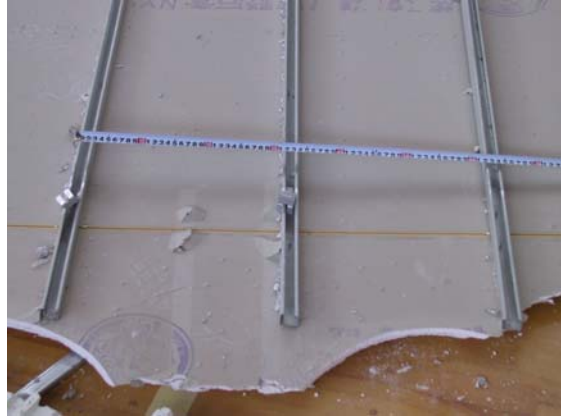


写真 10. 3. 31 落下した天井



写真 10. 3. 32 落下した天井



写真 10. 3. 33

ブレース材の座屈(40)



写真 10.3.34

ブレース材の座屈(43)



写真 10.3.35 ブレース材の座屈(47)



写真 10.3.36 ブレース材端部 (柱は H-500?)
(54)

10.3.3.3 現在の所見と今後の検討項目

1) 体育館の構造的被害について

調査した範囲では張り間方向に構造的な被害は見られないものの、桁行方向のブレース材の座屈・破断や間柱脚部のアンカーボルトの破断等、大きな被害が見られた。間柱の移動跡から層間変形角で $1/70 \sim 1/60$ 程度の大きな最大変形を経験したと推定されるものもあった。

耐力計算の結果からは、新耐震設計法施行前の体育館については、特に桁行方向のブレース材の接合部に耐力不足があるために、大地震動に対してブレースの破断を含めた被害を受ける危険性があると言える。さらに、今回被災した体育館は多雪地域にあるので雪荷重も考慮して地震力の計算がされていたと考えられるが、屋根上に積雪のない軽い状態、すなわち地震力が小さい状態にもかかわらず、ブレース材の破断等を被っている。新耐震設計法施行以前の設計では大地震動に対する終局状態を想定した構造計算や保有耐力接合が課されていなかったこともある。雪荷重を考慮した中地震動相当の外力に耐えうるように設計された建築物であっても、雪のない時期の大地震動に対して安全性が確保されない場合もあることが明らかとなった。この点については今後さらに被災地域における他の体育館の調査も行い、新耐震設計法施行前の体育館の耐震安全性（危険性）を把握したいと考えている。

調査した範囲では体育館の耐震診断・耐震補強はほとんど実施されていなかった。震災時に避難所として活用される可能性があることを考えれば、体育館の耐震診断・耐震補強についても早急に実施することが必要である。

なお、新耐震設計基準以降に建設された体育館のうちブレース材接合部（溶接部）が破断したものがあつたが、溶接部分の保有耐力接合の条件が満たされていたのかどうかを含め、幅広く原因を追及する検討が必要であろう。

また、ブレース材を間柱に接合する形式の構造においては、間柱脚部に破壊が生ずるとブレース材の力が伝達されなくなるので、ブレース材によって生ずるせん断力等を適切に考慮して脚部のアンカーボルト等の耐力を確保する必要がある。今後、この種の構造の耐

力の検証法が妥当かどうかの検討を行う。

2つの部材（山形鋼等）をつづり合わせたブレース材では、座屈による曲げ変形が集中する箇所につづり合わせの断面欠損部がある場合に、当該部分で亀裂が発生していたものがあつた。引張ブレースとして設計し、座屈を許容するのであれば、つづり合わせの位置についても注意すべきである。

屋根面の水平ブレース材の破断が確認されたものがあつたが、天井材がなかつたために、水平ブレース材の破断と天井材の損傷との関係は不明である。ただし、屋根面の水平ブレース材の被害そのものについては今後検討を行う予定である。

体育館が屋根の上に雪が積もつた状態で余震に見舞われれば、大破あるいは崩壊・倒壊に至る可能性は少なくないものと考えられる。従つて、破断したブレースの交換やブレースの新設等、応急的な補強対策が急がれる。具体的な補強方法については文献 1)などが参考となろう。

2) 非構造部材の被害について

硬化性パテどめのはめ殺し窓では、窓ガラスの破損が見られた。窓枠が極端に破損した場合を除くと弾性シーリング材どめやグレージングチャンネルどめの窓では、窓ガラスの破損は見られなかつた。硬化性パテどめのはめ殺し窓は、変形追従性が小さく、 $1/1,500 \sim 1/500$ の層間変形角で破損すると考えられ、昭和46年建設省告示第109号（平成12年最終改正）の昭和53年の改正で3階建て以上の建物の場合使用が制限された。

引き違い窓のサッシの落下が2段窓の上段で見られた。面内に生じた層間変形角によつて落下するとは考えにくいので、慣性力や他の部材の破損や変形を含めた詳細な検討が必要であらう。

ウール張りの天井では、音響設計のため複雑な形状になっている部分で脱落していた。国土交通省住指第2402号「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について（技術的助言）」では、対策として吊りボルトへのブレース材等の補剛材の配置、クリアランスの確保、段差部分の補強等をあげている。

室内壁では、件数は少なかつたが舞台周辺の妻壁での脱落が見られた。

新耐震設計法では、一部の建築物を除いて構造体に中地震動に対する層間変形角の制限（ $1/200$ 、条件によつて $1/120$ まで緩和可能）が加わつた。新耐震以降、非構造部材はこの変形制限を目安に設計、施工されている。今回の地震被害では、ブレース材の破断等により、この変形制限を超える層間変形が作用した体育館が数多く見られた。今後、構造体の被害状況と非構造部材の被害状況の関係を検討する予定である。

1) 実務者のための既存鉄骨造体育館等の耐震改修の手引きと事例、(財)日本建築防災協会及び(社)建築研究振興協会、2004.8

10.3.4 宅地・地盤の被害状況

10.3.4.1 調査目的等

基礎及び周囲地盤に起因する建築物の被災状況の概要の把握のために4回の現地被災調査を実施した。調査対象とした地域は、地震直後の概要調査、応急危険度判定結果、被災宅地危険度判定結果及び他の期間における調査等を元に選定した。

■調査地区

1. 長岡市（悠久町、西片貝町、中沢町、高町）
2. 見附市南本町
3. 川口町（中央部、西倉地区）
4. 十日町市（新座地区）
5. その他（柏崎市、刈羽村など）

10.3.4.2 被害概要

新潟県中越地震では、斜面地における地すべりや崖くずれが多発し、宅地及び宅地上の住宅に被害が生じている。斜面崩壊に伴う地割れが宅地内や住宅にまで到達して住宅が引き裂かれたケースや建物直下の地盤が崩れかけているケースなども少なくない（写真10.3.37）。被害の原因としては、過大な地震動、土壌雨量の影響なども考えられる。

宅地の被害に関しては、国土交通省都市・整備局都市計画課の指導のもとで宅地の危険度判定がなされ、(独)建築研究所はこの危険度判定に協力し、判定等の指導を行った。表10.3.2には、この危険度判定の概要を示す。危険度判定の調査宅地は、全体で3,329宅地(11月20日現在)であり、このうち危険が519宅地(16%)、要注意が361宅地(11%)となっている。

上記の宅地の危険度判定の対象となった約3,300宅地は、地すべりや崖くずれなど比較的規模の大きい地盤災害が生じた地域・集落や被災地における規模の大きい団地が多いと考えられるが、それ以外の地域でも液状化や個々の宅地地盤の被害が数多く認められている。



写真 10.3.37 宅地地盤の被害（地すべり、崖くずれ、地割れなどによる被害）
上3段目は、緩斜面での地盤変動によって幅約1.5m程度の横ずれと約1m程度の地盤の沈みこみが生じ、上部構造が崩壊した例

液状化に関しては、柏崎市・刈羽村周辺のほか、見附市南本町付近、長岡市（長岡ニュータウンほか）などでも発生している。見附市南本町周辺は、本年7月の水害を受けた地域でもあり、水害に加えて今回の液状化被害を受けた住宅もある。なお、液状化は、飽和した砂層が厚く堆積している自然地盤だけでなく、地下埋設物のための埋め戻し部分など局部的に緩い砂が存在している地点でも発生しており、マンホール等の浮き上がりが随所に認められている。

そのほか、長岡市周辺など、個々の宅地や比較的規模の小さい数棟の造成宅でも、敷地及び擁壁の変状に伴って住宅の沈下障害などが数多く発生している。

表 10.3.2 被災宅地危険度判結果（11月20日現在）

国土交通省都市・整備局都市計画課調べ（単位：件、%）又は（単位：箇所、%）

判定実施市町村	被災宅地危険度判定件数						
	計	判定内訳					
		赤(危険)判定		黄(要注意)判定		青(調査済)判定	
1 長岡市	1,599	96	6%	81	5%	1,422	89%
2 小千谷市	226	135	60%	48	21%	43	19%
3 十日町市	405	21	5%	15	4%	369	91%
4 見附市	152	25	16%	9	6%	118	78%
5 三島町	22	17	77%	1	5%	4	18%
6 川口町	392	103	26%	95	24%	194	49%
7 旧堀之内町	63	22	35%	12	19%	29	46%
8 旧小出町	73	11	15%	19	26%	43	59%
9 刈羽村	56	6	11%	18	32%	32	57%
10 西山町	25	3	12%	3	12%	19	76%
11 旧守門村	164	26	16%	23	14%	115	70%
12 越路町	126	45	36%	25	20%	56	44%
13 旧入広瀬村	10	4	40%	4	40%	2	20%
14 小国町	16	5	31%	8	50%	3	19%
合計	3,329	519	16%	361	11%	2,449	74%

※ 1. 各判定実施市町村に占める赤、黄、青判定の割合は、四捨五入の関係で100%にならない場合がある。

2. 各判定実施市町村に「旧」とある箇所は、11/1の市町村合併により「魚沼市」となった市町村である。

宅地・地盤被害の被害事例（長岡市悠久町）

長岡市悠久町は、悠久山（丘陵）を中心に広がる住宅地である。ここでは比較的規模の大きい盛土部分の地すべりに起因する被害が生じていた。斜面の頂部には古くからの農道及び水路が存在していたがこれらに移動その他の変状は見られず、被害の原因としては盛土部分の安定性にあると考えられる。現在も残っている水路を中心に基礎の立上り部分のひび割れ・破壊や上部構造のずれ、傾斜等の被害が多く認められた。

また、聞き取り調査から判断すると、特に被害の大きな部分に接近する形で斜面上の住宅が建設されたようであり、斜面全体としての安定性が十分でなかったと考えられる。特に、当該地域は、過去には沢地や谷であったことが確認されており、このような斜面地での住宅及び宅地擁壁の建設に際しては、当該宅地だけでなく敷地周辺の荷重・外力の変化についても適切に考慮することが重要と考えられる。

写真 10.3.38 は、斜面上部の住宅の被害状況であるが、水平方向に約 1.5m、鉛直方向に約 0.5m の地盤変位が生じて住宅が落ち込み、斜面下方側の裏庭のコンクリート擁壁が 50cm 以上大きく裂かれて、土砂が下方に押し出されていた。

図 10.3.3、写真 10.3.39 は、斜面下方の住宅等の被害状況であるが、地すべり等とともに下方の住宅が押し上げられ、布基礎(無筋もしくは鉄筋量の少ない有筋)が 50cm 以上大きくゆがみ、数カ所で圧壊していた。



写真 10.3.38 斜面上部の住宅 (A 邸) の被害状況

左：住宅周辺の地盤変位、中：住宅の被害状況、右：斜面下方側にある裏庭の擁壁の破壊

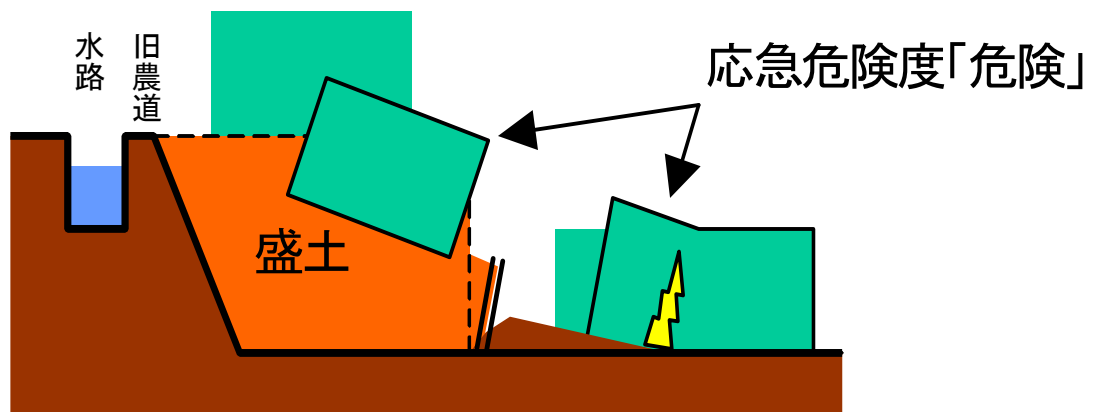


図 10.3.3 斜面被害の概要



平面図

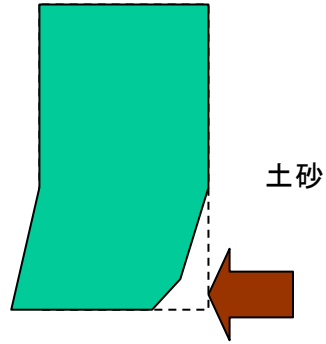


写真 10.3.39 斜面下部の住宅（B邸）の被害状況

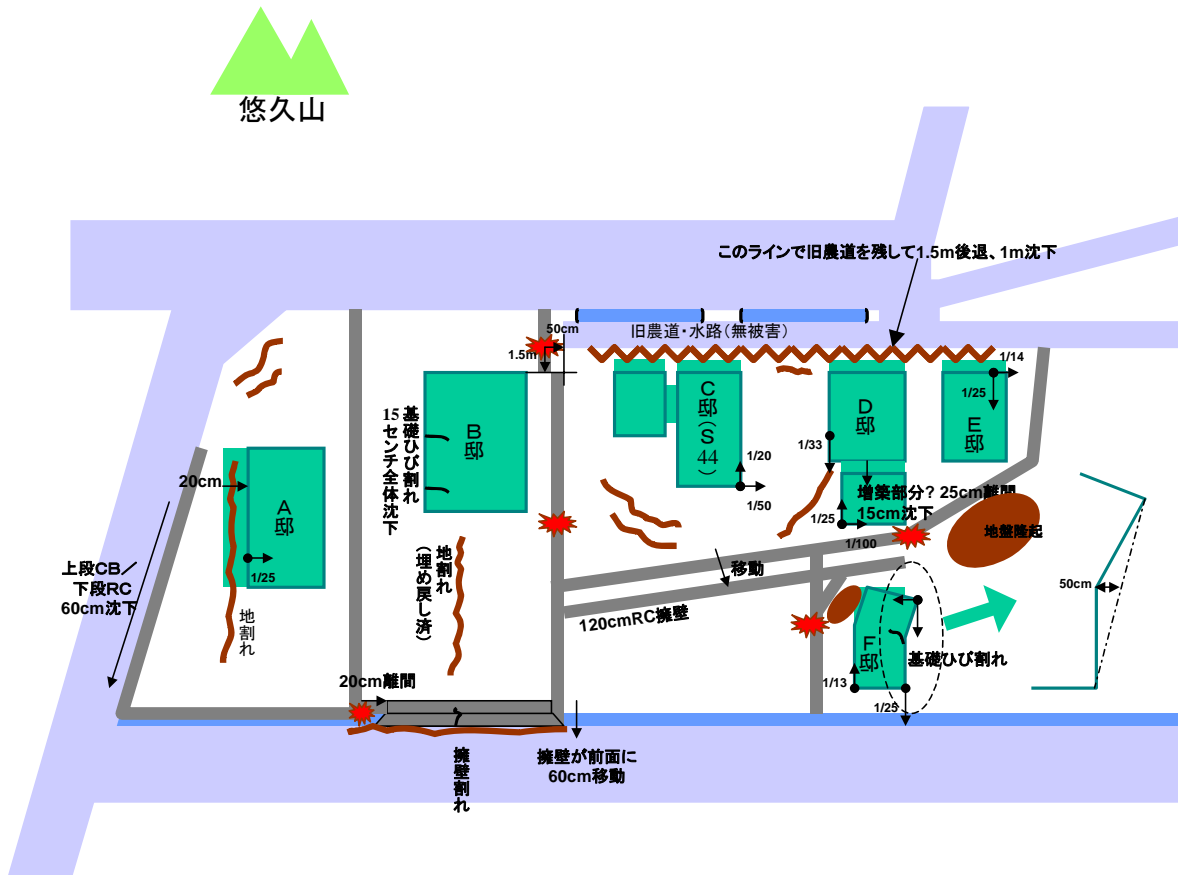


図 10.3.4 悠久町の地盤被害の概要

液状化の被害事例（見附市等）

今回の地震では、沿岸部の柏崎市や刈羽村のほか、内陸の低地や丘陵地（長岡市など）でも液状化による被害が発生していた（写真 10. 3. 40、写真 10. 3. 41）。液状化に伴って地盤が局部的に隆起し、土間コンクリートなどが破壊して大きく傾斜した住宅のほか、30cm 程度の不同沈下が生じた建物（鉄骨造 3 階建て）も認められた。

ここでは、見附市における液状化被害の概要を示す。

見附市南本町周辺では、液状化現象による被害が顕著であった。当該地区の公園内その他で大きな噴砂の跡が認められた。公園横の木造住宅では、床下から 20cm 程度一面に砂が吹き上がって堆積し、約 1 度傾斜していた。この住宅では家具の下に壁側に傾けるよう板材を敷いていたためか、家具の転倒はなかったようであるが、フスマ等の開閉不良や仕口のずれなどが生じており、地震前から生じていた基礎のわずかな亀裂が大きく開き、基礎の内部から砂が建物の外に吹き出していた。また、道路沿いに隣接する 2 棟が互いにもたれ合うように傾斜している状況も認められた。

なお、土地の履歴に関して、居住者に聞き取り調査した結果、液状化による傾斜等の被害が大きい地区は、旧河道であることのことであった。



写真 10. 3. 40 液状化による被害（刈羽村）

（右：1/20 以上傾斜した建物、左：最大 30cm の不同沈下が生じた建物周辺の噴砂）



写真 10. 3. 41 液状化による地盤の隆起と宅地内の地割れ（長岡市）

10. 3. 4. 3 現在の所見と今後の検討項目

1) 斜面崩壊・地すべり

急斜面或いは緩斜面における斜面崩壊や地すべりが原因で宅地地盤が大きく変状し、建築物に大きな被害が生じている場合が数多く認められている。このため、宅地の耐震性能を検証することが、被害原因や今後の対策を考えるために重要であり、土砂災害の予測や評価方法の現状などにも配慮した検討が必要と考えられる。

宅地地盤の被害状況に関する今後の検討項目としては、宅地の被害状況と造成情報や旧地形などの関係についてのデータの収集分析が必要である。被災宅地のなかには、造成情報だけでなく当該敷地の地盤条件すら明確でない場合も少なくないので、地盤調査を実施して被害原因を検討することが必要と考えられる。また、被災宅地の調査に関しては、盛土と地山の評価などが重要であるが、専門家によっても両者の区別が異なることもあるので、古地図などを利用した詳細な調査が必要である。

2) 液状化

見附市、長岡市、柏崎市、刈羽村などでは、液状化により過大な沈下・傾斜が生じて、居住することが困難になった住宅や取り壊さざるを得なくなった住宅が少なからず存在している。

今回液状化の被害が顕著であった地域の中には、これまでの地震被害と同様、旧河道沿いに集中しているケースが多いので、液状化による被害地域と旧地形や土地の履歴などの関係に関する検討が必要である。ただし、液状化によって大きく傾いた住宅の周辺であっても、傾斜や沈下が全く生じていない建物も数多く存在しており、上部構造の特性や基礎の構造方法、さらには地盤改良等の採用の有無などを含めた情報の収集が重要と考えられる。聞き取り調査によると、地盤改良を採用しているにも係わらず沈下障害が生じた例や地盤改良を採用したためか沈下障害が認められなかった例があるので、被災地における住宅の被害と住宅建設時の地盤調査の結果及び地盤改良の詳細仕様を把握することが重要と考えられる。

3) 宅地擁壁

宅地擁壁の沈下や滑り出し、さらには構造的障害により宅地上の住宅に被害が生じた例は多い。被災した擁壁の構造方法に関して、今回の地震被害には直接係わりがない可能性もあるが、水抜き孔が完全に目詰まりしている場合や背面に排水層が設置されていない場合のほか、壁厚等が壁高に対する一般的な擁壁の標準仕様と比較すると不十分と思われるケースもあったので、擁壁に必要な仕様を設計段階で確保し、施工時に確認することが重要である。一旦被災してすべりやすくなると、雨水の浸入による被害が生じやすくなるので、被災した擁壁に関しては、排水機能にも配慮した修復や復旧が重要である。

4) 基礎構造

戸建住宅の基礎の被害の多くは、ブロック基礎や石積み基礎、無筋コンクリート造の基礎など、現在の一般的な一体の鉄筋コンクリート造でない古いタイプの基礎に認められている。

先般の建築基準法の改正により、建設省告示第1347号(2000)が新たに規定され、原則、一体の鉄筋コンクリート造の布基礎やべた基礎とすることが求められており、寸法や配筋

の最低仕様も示されている。この規定を満足する一体の基礎については、地すべり地帯などを除くと、構造被害や傾斜が軽微であったと考えられるが、換気孔周辺のひび割れだけでなく、コーナー部のコンクリートの剥落など構造的な被害も少なからず認められている。

この原因としては、コーナー部の基礎に押し込み力や引抜き力が作用するだけでなく、水平力が基礎に作用し、アンカーボルトから伝達されるせん断力によってコンクリートが破壊した可能性も考えられる。引抜き力によってコンクリートが損傷するとせん断力によりアンカーボルト周辺のコンクリートが破壊しやすいと考えられる。コーナー部に関しては、鉄筋の継ぎ手やハンチ補強など、これまでの様々な基礎の障害事例を教訓にして多くの補強方法が提案されているが、損傷した基礎の仕様の詳細を把握することが今後重要と考えられる。

5) 今後の検討項目

宅地地盤及び基礎の被害に関する所見や課題等については前節までに述べたが、今後の検討すべき事項を以下に示す。

- ① 被災した基礎や宅地の中には地盤情報が全くないものも少なくないので、基礎設計や宅地造成の今後にとって重要と考えられる地点で地盤調査や基礎仕様等に関する詳細調査を実施し、被害原因などを検討する。
- ② 液状化による宅地及び住宅の被害に関しては、既存の液状化予測方法などを用いて判定方法の検証を行い、判定方法の信頼性などを検証する。また、液状化対策や軟弱地盤対策として採用されている工法等に関する情報を収集し、効果の検証を行う。
- ③ 戸建住宅の基礎の被害に関しては、損傷がコーナー部に多く認められたので、被災した基礎のコーナー部の寸法及び配筋の詳細などを把握し、現在提案されているコーナー部の補強方法等の妥当性を検証する。
- ④ 基礎の被害と敷地の生い立ちや履歴などの関係を詳細に調査し、土地条件図などを利用した基礎設計のあり方や敷地の実況に応じた地盤調査の方法を含めて、適切な調査・設計法を検討する。その際、建設時における地盤調査と基礎設計に関する情報を収集することが有効である。
- ⑤ 一般建築物でも過大な傾斜や沈下が生じた例がいくつか認められたので、詳細調査を行う。
- ⑥ 不同沈下や傾斜が生じた建築物の沈下修正などが今後実施されると考えられるので、沈下修正の実態を把握して、沈下障害の原因等に関する詳細な検討や沈下修正のあり方や合理的な沈下修正工法を検討する。
- ⑦ 宅地の被害と建築物の被害との関係を双方の危険度判定の結果などに基づいて調査し、宅地の性能と基礎の性能との関係を検討する。