

4. 木造建築物の被害

4.1 調査概要

4.1.1 調査目的

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、構造要素の配置などを把握し、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。

本章では、これらの調査によって得られた調査結果をとりまとめるとともに、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を報告する。

4.1.2 調査日程

緊急・初動調査：平成19年7月16日（月）～18日（水）

2次調査：平成19年7月20日（金）～23日（月）

4.1.3 調査チームの構成

① 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 榎本敬大（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）

② 調査協力者 独立行政法人防災科学技術研究所 箕輪親宏（7/20～7/22）

4.1.4 調査スケジュール

① 緊急・初動調査

7/16：10:13頃地震発生、陸路にて長岡市入り

7/17：刈羽村刈羽、十日市、西元寺、井岡、西谷、大塚、新屋敷、上高町、並びに

柏崎市土合、西中通駅付近、松美の国道113号線沿い、及び橋場町、東本町1～3丁目、西本町1、2丁目、小倉町、諏訪町付近の概要調査

7/18：柏崎市茨目、上田尻、比角、新花町、栄町、中央町、大和町、春日、松波、橋場町付近

の概要調査

② 第2次調査

7/21：柏崎市茨目、上田尻、田塚付近において詳細調査、柏崎市新花町、諏訪町の概要調査

7/22：柏崎市東本町付近において詳細調査、K-net柏崎設置状況の調査、柏崎市諏訪町、小倉町、松波、橋場町付近の概要調査

7/23：刈羽村上高町、下高町、新屋敷、赤田北方、大塚、西谷、井岡の概要調査、刈羽村刈羽、柏崎市荒浜において詳細調査

4.1.5 調査内容

① 初動調査

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。

② 第2次調査

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、残留変形が大きいなど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、地下または基礎の構造方法等）、敷地の条件（地盤の状況、擁壁の有無等）とその被害状況、基礎、土台、外壁、内壁、屋根の仕様とその被害程度、主要構造部分の仕様（柱、筋かいの寸法と留め付け方法等）とその被害程度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の収集し、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ている。

以上、調査を行った主な地域と震源の関係を図-4.1.1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	—

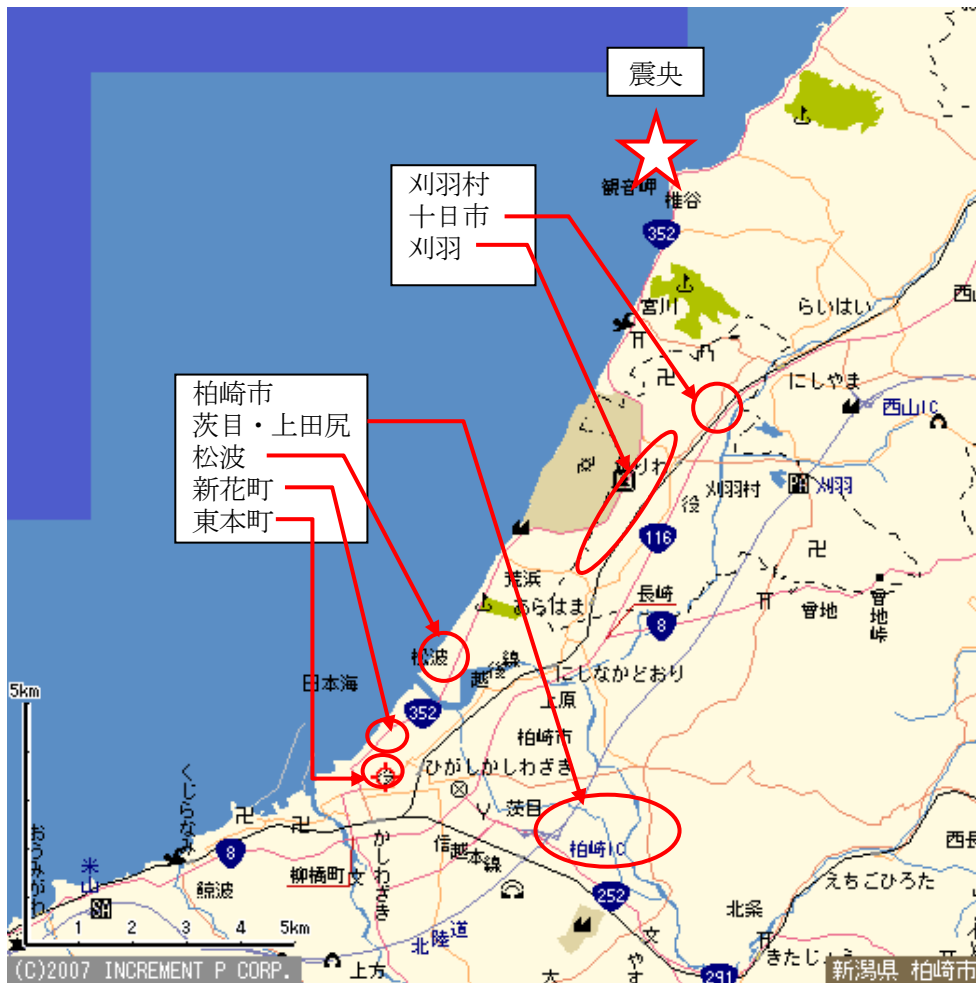


図-4.1.1 震央と主な調査地の位置関係

4.2 各地区の木造建築物の被害概況

4.2.1 刈羽村の被害

- ・ 自衛隊が全半壊棟数を数えた結果について入手した情報は表-4.2.1の通り。
- ・ 一方、県庁によれば、図-4.2.1の緑で囲った部分の街道沿いに被害が集中しているとのこと。
- ・ 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（写真-4.2.1）していた。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。道路交通を遮断している例が見られた。また、比較的築年が新しくても、大きな残留変形があるなど大きな被害を受けた家屋（写真-4.2.3）は前面の開口部が比較的大きいような印象を受けた。その他、小屋組が崩落するような希少な被害例（写真-4.2.4）も確認された。
- ・ 刈羽村刈羽等の地区では、一部に液状化するなどの地盤の被害も見られた。

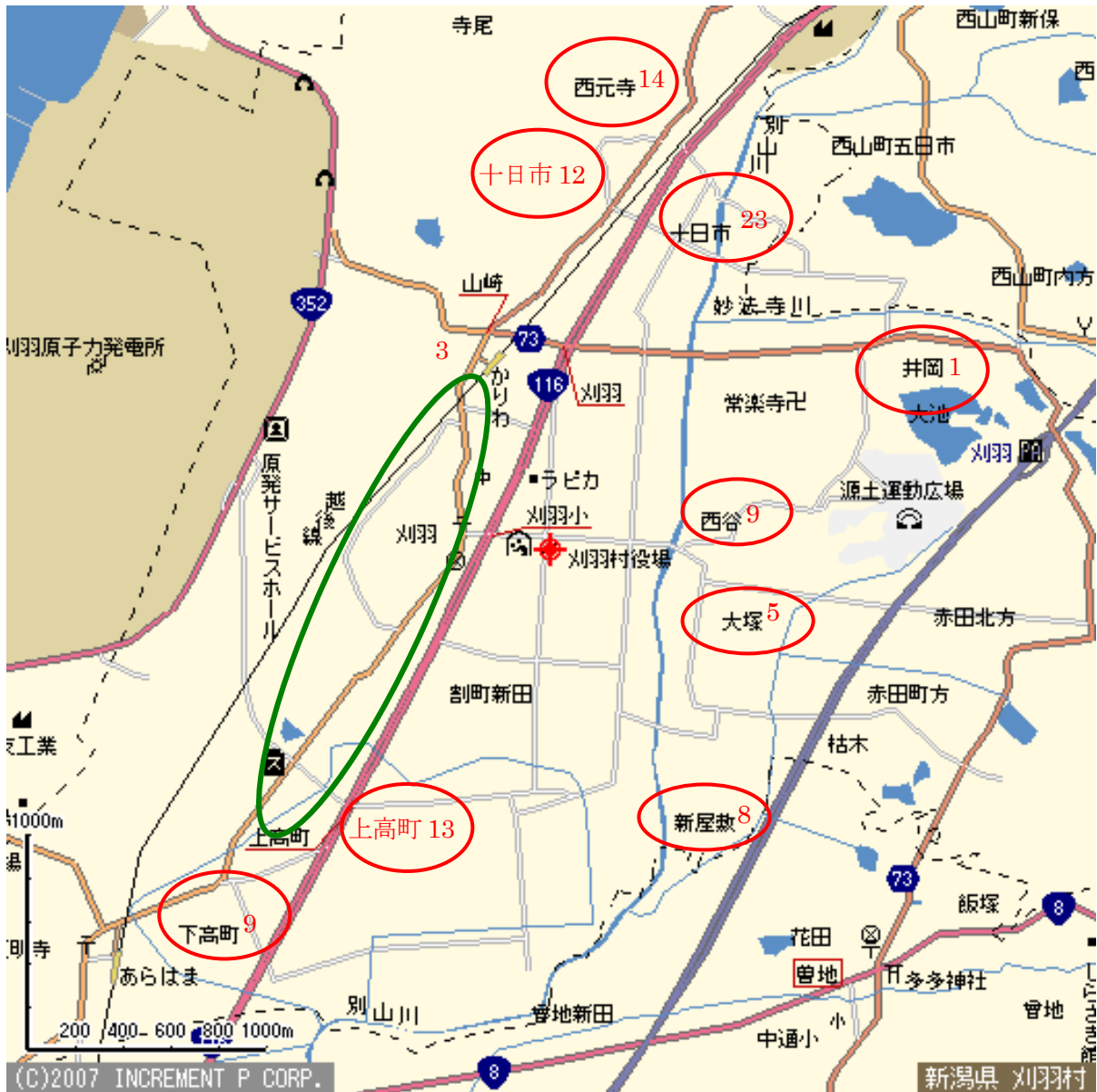


図-4.2.1 刈羽村の被害分布（集落名横の数字は自衛隊が確認した全半壊棟数）

- ・ 刈羽村発表の被害集計（7/17、11:00 現在）は表-4.2.1 の通りであるが、一部損壊の棟数については、前日（7/16 夕刻）のデータから更新されていないとのこと。
- ・ まれに1階をRC造、2、3階を木造とする高床式の住宅（写真-4.2.5）も見られたが、ほぼ被害は無いと言える。
- ・ また、作業場（写真-4.2.6）で土間コンクリートに大きなひび割れ（写真-4.2.7）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（写真-4.2.8）ために外観上は無被害にみえたものがあった。

表-4.2.1 刈羽村の被害の集計 (7/17、11:00 現在)

集落	家屋			非住宅		
	全壊	半壊	一部損壊	全壊	半壊	一部損壊
正明寺	2	0	0	6	0	
下高町	1	0				
上高町	2	0				
新屋敷	3	0				
大塚	2	5	5	13	0	5
西谷			0	6	1	
割町新田	2	1				
刈羽	8	25	0	0	0	
井岡	1	20				
十日市	7	27				
西元寺	5	7				
寺尾	0	2				
滝谷	0	2				
滝谷新田	0	0		1	2	4
入和田	0	0	0	0	0	0
赤田北方	0	0				
赤田町方	0	6				
枯木	0	0				
黒川	0	0	0	0	0	0
油田	0	0	0	0	0	0



写真-4.2.1 倒壊して道路を塞いだ木造家屋



写真-4.2.2 新しい構工法でも倒壊した1階を車庫等にした家屋



写真-4.2.3 比較的築年数が浅いように見受けられるにもかかわらず、残留変形が大きい木造家屋



写真-4.2.4 小屋組の一部が崩壊する希少な被害例



写真-4.2.5 ほぼ無被害の高床式住宅



写真-4.2.6 外観上無被害の車庫



写真-4.2.7 写真-4.2.6の土間コンのひび割れ



写真-4.2.8 写真-4.2.6の筋かい

4.2.2 柏崎市の被害

1) 東本町、西本町、小倉町、四谷地区

- ・ 柏崎市役所における被害の集計は、まだできていないようであった。7/17朝の北陸地整の情報によれば、住家全壊棟数は307棟で、半壊、一部損壊等は未集計のようである。
- ・ 県庁、北陸地整によれば、被害の大きい、または多い地域は、市役所周辺の東本町～西本町の辺りであるとのこと。

- ・ 応急危険度判定については、7/16 に概要把握、7/17 朝から実施を開始した模様。ただし、人手が
 不足、被害が大きいとされる地域から順に実施し、今後、応援等によりどこまでできるかが分
 かるのが1週間後との見通し。
- ・ 刈羽村方面から市役所にアクセスするが、激しい渋滞が発生しており、全く近づけないため、1km
 強手前（日吉町付近）から、概要調査を兼ねて徒歩で市役所へ向かう。（調査地は図-4.2.2）
- ・ 日吉町は倉庫や車庫の倒壊を含む被害はあるものの、目立った被害は無し。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3丁目になり、道の両側から交通を遮断する
 ように倒壊した家屋（写真-4.2.9）が確認された。
- ・ 線路に向かって倒壊している家屋（写真-4.2.10）も確認された。
- ・ その他、軒並み倒壊している状況（写真-4.2.11）も確認された。
- ・ 東本町～西本町にかけては、駅前の目抜き通りに直交する商店街であり、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-4.2.12）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は、倒壊は免れたものの、極めて大きい残留変形
 （写真-4.2.13）を有していた。
- ・ 樹木を押し倒して倒壊した例（写真-4.2.14）も確認された。
- ・ 倒壊した家屋（写真-4.2.15）の構造部材に腐朽、蟻害（写真-4.2.16）が確認された。



写真-4.2.9 東本町3丁目の倒壊家屋群



写真-4.2.10 線路に向かって倒壊した家屋



写真-4.2.11 軒並み倒壊した古い構法による家屋



写真-4.2.12 倒壊した店舗併用住宅



図-4.2.2 柏崎市役所周辺の調査地（赤丸の箇所）



写真-4.2.13 残留変形が大きい総2階の木造



写真-4.2.14 樹木を倒して倒壊



写真-4.2.15 土壁を有する古い構法の倒壊家屋



写真-4.2.16 写真-4.2.15の建物の部材の腐朽・蟻害

2) 茨目、上田尻、田塚地区（位置は図-4.1.1）

車庫、倉庫、納屋、作業所の類の被害が中心で、その被害は倒壊を含むおおきなもの（写真-4.2.17）が多かった。比較的新しい車庫、倉庫で倒壊している例（写真-4.2.18）も確認された。確認した範囲では、倒壊した住宅は極わずかである。大破など住宅の被害は、土塗り壁を有する比較的古い構法（写真-4.2.19）によるもので、この地域には少なかった。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、たまに残留変形が大きな住宅（写真-4.2.20）がある。また、通りに面した間口に筋かいが確認できない（写真-4.2.22）住宅に、せん断変形が大きく残った例（写真-4.2.21）、地盤変状（写真-4.2.26、噴砂痕有り＝写真-4.2.27）による被害（写真-4.2.23、24、25）などが確認された。



写真-4.2.17 多くの車庫、倉庫が倒壊



写真-4.2.18 倒壊した比較的新しい車庫兼作業所



写真-4.2.19 大破した比較的古い構法による住宅



写真-4.2.20 残留変形が大きい住宅



写真-4.2.21 多少の残留変形が残る住宅



写真-4.2.22 写真-4.2.21 の住宅の玄関部分



写真-4.2.23 地盤変状により被害を受けた
店舗併用住宅建て



写真-4.2.24 写真-4.2.23 の側面（平屋と2階
部分の境界付近が不同沈下）



写真-4.2.25 写真-4.2.23 の店舗部分で散乱した商品



写真-4.2.26 写真-4.2.23 の敷地の変状



写真-4.2.27 写真-4.2.23 の敷地の噴砂痕

3) 新花町、中央町（位置は図-4.2.2）

- ・ この地区には、倒壊家屋が極めて多い（写真-4.2.28）。倒壊家屋の頻度としては、東本町3丁目付近の次に多いと感じられた。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-4.2.29 右）が多いが、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-4.2.29 左）を受けていた。当然、車庫、納屋の類の倒壊もかなり多数有る。また、2階のみが崩落する被害例（写真-4.2.30）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-4.2.31）もまれにあるが、よく見ると外壁のみ改修したもので、被害を受け、土塗り壁が露出（写真-4.2.32）した例があった。
- ・ 金刀比羅宮は、壊滅的な被害（写真-4.2.33, 34）を受けていた。



写真-4.2.28 倒壊家屋が連続する新花町



写真-4. 2. 29 新花町の店舗



写真-4. 2. 30 2階が崩壊した例



写真-4. 2. 31 一見新しい住宅に見える倒壊
家屋



写真-4. 2. 32 写真-4. 2. 31 近景（土塗り壁の残骸
が確認された）



写真-4. 2. 33 壊滅的な被害を受けた新花町の
金比羅宮



写真-4. 2. 34 写真-4. 2. 33 の側面

4) 春日地区（位置は図-4. 2. 2）

- 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-4. 2. 35）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例（写真-4. 2. 36）が確認された。倉庫、車庫、作業所の類の倒壊例（写真-4. 2. 37）も複数確認された。

- ・ 比較的大空間の車庫を設けているがほぼ無被害の例（写真-4.2.38）では、中通り柱と横架材に鉄骨柱、外周部に木材の柱と筋かいを配した建物（写真-4.2.39）があった。一部鉄骨柱脚部のコンクリートにひび割れ（写真-4.2.40）が見られた。その他、残留変形を有する車庫（写真-4.2.41）の被害も確認されたが、その開口脇には正角筋かい（写真-4.2.42）を配してあった。



写真-4.2.35 比較的新しい住宅が立ち並ぶ春日地区



写真-4.2.36 倒壊した店舗併用住宅



写真-4.2.37 車庫又は倉庫と推測される倒壊家屋



写真-4.2.38 1階に大きな車庫を取り、鉄骨と木造を併用した例



写真-4.2.39 写真-4.2.35の1階部分の大空間



写真-4.2.40 柱脚コンクリートのひび割れ



写真-4.2.41 1階が大きく傾いた車庫



写真-4.2.42 写真-4.2.41の前面開口脇の
無開口壁に入る正角筋かい

5) 松波地区 (位置は図-4.1.1)

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（写真-4.2.43～52）が走り、木造（写真-4.2.53）、1階をRC造とする高床式の木造（写真-4.2.54）、軽量鉄骨造の社員寮（写真-4.2.55、5.56）、集合住宅（写真-4.2.57）などの建物が被害を受けていた。集合住宅（写真-4.2.57）の被害は、下屋部分の継ぎ目が分裂（写真-4.2.58）し、鉄筋入りの基礎も破断（写真-4.2.59）していた。地割れは建物の下部を通り抜け、反対側の擁壁も破壊（写真-4.2.60）していた。建物の地面のひび割れの位置を図-4.2.3に示す。この地割れは、クリーンセンターの損傷した煙突の方向へ延び、煙突近辺では約3mの高低差の断層（第8章参照、写真8.37、8.38）を生じていた。



写真-4.2.43 駐車場地面のひび割れと擁壁の崩壊



写真-4.2.44 アスファルトを貫くひび割れ
(写真-4.2.37の北東方向)



写真-4.2.45 写真-4.2.38の北北東へ続くひび割れ



写真-4.2.46 鯖石川記念公園駐車場へ続く
地面のひび割れ



写真-4.2.47 鯖石川記念公園駐車場の噴砂痕



写真-4.2.48 鯖石川記念公園の遊具施設を
貫く地面のひび割れ



写真-4.2.49 鯖石川記念公園中央を貫くひび割れ



写真-4.2.50 鯖石川記念公園の北端部付近



写真-4.2.51 鯖石川記念公園北側の土手を貫くひび割れ（深さ1 m以上）の北端部付近



写真-4.2.52 ひび割れの進む方向にある損傷したクリーンセンターの煙突



写真-4.2.53 地盤変状により大きな被害を受けた木造住宅



写真-4.2.54 地盤変状により大きな被害を受けた高床式木造（1階部分RC造）



写真-4.2.55 一部損壊（裏手部分）した軽量鉄骨造



写真-4.2.56 写真-4.2.55 の裏側の被害



写真-4.2.57 一部損壊（裏手部分）した木造共同住宅



写真-4.2.58 写真-4.2.57 の下屋部分の継ぎ目部の破壊



写真-4.2.59 写真-4.2.57 の建物の破壊された基礎



写真-4.2.60 写真-4.2.57 の建物の敷地の擁壁の崩壊



図-4.2.3 柏崎市松波～橋場町で確認した地割れの位置

4.2.3 各地域の被害のまとめ

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震による建築物の被害の概要を調査した結果をまとめると以下の通りとなる。

- ・ 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、日吉町の木造家屋の多くは築 50～60 年と推定される店舗併用住宅が多く、特に柏崎市東本町 3 丁目、新花町付近では、倒壊した被害例が多く見られた。
- ・ 柏崎市茨目、上田尻、春日等の地区の木造家屋は、築 30 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、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、これにより損傷を受けた建物が見られ、振動的被害は確認されなかった。

4.3 個別物件の詳細調査

4.3.1 調査内容

各地区の被害概況を把握し、同一地区内で建設年代、構造仕様、規模、被害程度（倒壊したものを除く）が極力偏らないよう複数の建物を選定し、詳細に調査した。調査内容は概ね以下の通りとした。

- ・ 建物の平面図を採取、又は所有している場合には拝借・複写、または撮影
- ・ 構造仕様、構造要素の配置等を把握
- ・ 残留変形の測定、被害状況の観察・記録
- ・ 築年数、増築履歴、地震時の状況等についてヒアリング

なお、残留変形の測定に際しては、やむを得ない場合を除いて、測定高さをなるべく大きめにとるなどして、層間変形と相違ない変形角が得られるように配慮し、層内の最大値が得られるよう複数箇所測定した。調査物件の概要を表-4.3.1に、外観を写真-4.3.1に示す。

表-4.3.1 詳細調査物件の概要

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	(同上)	東へ 1階 1/400、2階 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



写真-4.3.1 詳細調査対象物件の外観

4.3.2 柏崎市田塚、上田尻の物件の被災状況

1) T-1 (柏崎市田塚)

- ・ 築41年。残留変形：東へ1/30、南へ1/77程度（写真-4.3.2, 4.3.3）。液状化痕有り。庭にあるコンクリート製槽状の池の北側が約42cm浮き上がった（写真-4.3.6）。
- ・ 南から4pの箇所を最下点とする不同沈下があり、床に不陸を生じている（写真-4.3.5）。地盤変状による被害と振動的被害の両者を含む被害と考えられる。
- ・ 北側玄関脇の外壁のみサイディングであるが、その他は建築当初からサイディング張り。サイディング自体は十数年前に張り替え。玄関に向かって右側でモルタルが剥落した部分について、初動調査時は筋かいがないものと見られたが、詳細を見ると35×105mmの筋かいが確認された。
- ・ 内壁は、1階が4mm合板大壁作りで一部に座屈が見られ（写真-4.3.4）、2階がラスボード+塗り壁仕上げであった。
- ・ 居住者によれば、有筋コンクリートの布基礎とのことだが、地震で生じたひび割れ（写真-4.3.7）から見る限り鉄筋は確認されなかった。同じ亀裂から先端がL字形状のM12と推定されるアンカーボルトが確認された。
- ・ 常時微動測定による固有振動数は約3Hz。



写真-4.3.2 T-1 外観



写真-4.3.3 T-1 内部



写真-4.3.4 内壁面材の座屈



写真-4.3.5 床の傾斜と内壁のひび割れ



写真-4.3.6 池の浮き上がりと噴砂痕



写真-4.3.7 基礎のひび割れ

2) T-2 (柏崎市田塚)

- ・ 築 43 年。金融公庫の融資を受けた。残留変形は東へ約 1/40、南へ 1/77 程度 (写真-4.3.8)。
- ・ 外壁は金属サイディングで、内壁は木毛セメント板に漆喰・砂壁仕上げで、一部にひび割れ (写真-4.3.13) が確認された。
- ・ 地盤の液状化 (写真-4.3.11) により、激しい不同沈下が確認される (写真-4.3.9)。東側と店舗部分等の土間コンクリートが激しく割れている。敷地は元々水田であったが、柏崎市番神の港湾建設のため発生した砂を入れて埋め立てた。極低い用壁が倒壊する (写真-4.3.10) などの被害があった。
- ・ 新築当初は南側が片流れ屋根であったが、S46 年に店舗部分を増築し、S48 年に南側片流れ屋根部分に 2 階を増床した。
- ・ 店舗増築部分の当初建築部分との接続部分で沈下し (写真-4.3.9)、内部では多くの商品が散乱した (写真-4.3.12)。当初部分も部分的に基礎が約 30 cm 沈下した模様。
- ・ 7/21~22 の期間の予定で強震計を設置した。



写真-4.3.8 T-2 外観



写真-4.3.9 側面外観



写真-4.3.10 低い擁壁の被害



写真-4.3.11 庭の噴砂痕



写真-4.3.12 店舗内部の商品の散乱



写真-4.3.13 内壁のひび割れ

3) T-3 (柏崎市上田尻)

- ・ 上田尻の住家被害が多い地区の一角に位置する。建築後70年が経過した在来軸組構法の2階建て専用住宅である(写真-4.3.14)。梁間方向が南北方向、桁行き方向が東西方向である。20年前に南東側の台所と浴場などを改築した。外装は下見板張り、内装は土塗り壁であるが、改築部は石こうボードを使用している。南西側の平屋の部分は、築70年のものであるが、仕上げを改装している。
- ・ 築70年の部分は土塗り壁($t = 70 \text{ mm}$)を使用し、基礎は切石上に束を建てている。築20年の部分は、鉄筋コンクリート製の布基礎とラス下石こうボード($t = 20 \text{ mm}$ 一部仕上げ塗りを含む)上に砂を塗った壁を使用している(写真-4.3.16)。
- ・ 2004年の新潟県中越地震の時は、家屋に被害は生じなかったが、庭の灯籠が倒れた。敷地の南東隅の納屋は、被害を受けた。(赤判定=危険)
- ・ 地盤に10mm程度の割れが見られた。門柱の石および石積の塀が倒れた(写真-4.3.15)。中越地震の場合よりも、灯籠の被害が大きい。
- ・ 切石上の束がはずれた様子はない。増築部の布基礎にも、亀裂等は見られない。
- ・ 応急危険度判定は黄色(要注意)。建物は全体に南東方向に傾斜。1階は、1/50程度、2階は1/60程度傾斜。
- ・ 床の間などの土塗り壁に亀裂が大きく入る(写真-4.3.17)。南西部の柱1本に亀裂が入る。
- ・ 屋根瓦の被害は見られない。



写真-4.3.14 T-3 外観



写真-4.3.15 門柱の鉄筋と石塀の倒壊



写真-4.3.16 T-3 内部



写真-4.3.17 内壁のひび割れ

4) T-4 (柏崎市上田尻)

- ・ 昭和 55 年建築、昭和 56 年に 1 階の 1 間分を増築、15 年前にも一部増改築 (写真-4.3.18)。
- ・ 外壁サイディング、内壁せっこうラスボード (写真-4.3.20)、瓦屋根、布基礎。筋かい 38×120 が 1 本確認された (写真-4.3.21)。2 階床ばり端部の接合部には羽子板ボルト使用。
- ・ 背面の水田 (写真-4.3.19) に面してコンクリートブロックを 4 段ほど積んだ擁壁があり、これが水田の方へ傾斜。地盤も少々沈下している。基礎の傾斜はほとんど感じられないが、建物は水田に向かってせん断変形を生じた。1 階で残留変形 1/60 強。内壁のせっこうラスボードが一部剥落している。



写真-4.3.18 T-4 外観



写真-4.3.19 水田側の擁壁



写真 4.3.20 T-4 内部



写真 4.3.21 筋かい端部

4.3.3 柏崎市東本町の物件の被災状況

1) H-1 (柏崎市東本町)

- ・ 昭和9年に（築73年）病院（産婦人科）として建築（写真-4.3.22）。その後増改築を繰り返している。南側にある3つの土蔵は手前から明治22年、明治30年、明治30年の建築。土蔵の南側にある主屋（住宅）は昭和36年建築。その1角の1部屋分だけが、大正5～6年の建築で、昭和36年に2階を増築している。
- ・ 残留変形：西へ1/5（写真-4.3.23）。地盤被害は特にないが、緩やかな傾斜地に建つ。北側の基礎高さが63 cmであるのに対し、南側の基礎高さは92 cm。
- ・ 幅150～160 mmの比較的分厚い基礎の割れ目から、約9 mmの鉄筋が確認された。その側に約20 mmのL字型アンカーボルトも確認された（写真-4.3.24）。
- ・ 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。2階は書籍等が大量に散乱していた。作り付けの本棚からは書籍が落下し、独立型の本棚は半分以上が転倒していたか、または転倒した形跡が確認された（写真-4.3.25）。
- ・ 外壁は下見板（上部厚さ6 mm、下部厚さ15 mmの不等厚）張り、屋根は瓦葺き、内壁は土塗り壁で4段の貫（約15×108 mm）を有する。外周壁には55×118 mm程度の筋かい（釘留め）が入っている。傾斜方向に対して引張り力が作用した筋かいは抜け、圧縮力が作用した筋かいの一部は大きく面外に座屈していた（写真-4.3.26）。傾斜方向の土塗り壁の崩落（写真-4.3.27）も著しかった。
- ・ 北東の角の通し柱から、東西方向の胴差しが抜けていた（写真-4.3.28）。
- ・ 実際に作用した荷重を推定するため、2階の全ての書棚のサイズを測定した。書棚の内法寸法から求めた容積は20.6 m³。これに対して、書籍の充填率を0.7と推定し、紙の密度（0.8 g/cm³）¹⁾を乗ずると、推定重量11.5 tの書籍が本建物2階の道路側4部屋と廊下96 m²に積載されていたことになり、これは約120 kg/m²に相当する。

1) 「紙の基礎講座」ホームページ：<http://homepage2.nifty.com/t-nakajima/kamikiso05.html>



写真-4.3.22 H-1 外観



写真-4.3.23 H-1 内部



写真-4.3.24 基礎のひび割れ



写真-4.3.25 転倒した書棚と散乱した書籍



写真-4.3.26 筋かいの座屈



写真-4.3.27 壁土の剥落



写真-4.3.28 通し柱から抜けた梁

2) H-2 (柏崎市東本町)

- ・ 築 120 年の平屋部分（土蔵を含む）と築 80 年の 2 階建ての増築部分があり、被害の大きい築 80 年の増築部分（2 階建て、写真-4.3.29）を調査した。
- ・ 外周はコンクリート（鉄筋の有無は不明）布基礎で、内部は切石上に束立て、もしくは切石を立てて使い、直接大引きを支持している。
- ・ 内壁は土塗り壁、外装は窯業系サイディング（昭和 35 年に改装）。

- ・ 柱の太さは 115 mm×115 mm。屋根は方形で、和瓦葺き。
- ・ 1 階・2 階共に西へ 1/6 程度の大きな傾斜（写真-4.3.30、31）あり。土壁の土が大量に崩落し、廊下に堆積した。土壁内部の小舞が、大きく露出していた。玄関部分は、建物本体と分離しており、玄関部分との境界にある柱 1～2 本が接合部で折損していた。
- ・ この建物の特徴として、建物の四隅の垂れ壁の中に、小さな筋かい状の木が設けられている。この筋かい状の木は、座屈を起こしていた（写真-4.3.32）。
- ・ 屋根の瓦に、一部被害が生じた。
- ・ 築 120 年の部分は、化粧合板を使って大壁に改装されており、軸材を確認することはできなかった。この部分の被害に、大きな被害は見うけられなかった。



写真-4.3.29 H-2 外観



写真-4.3.30 縁側



写真-4.3.31 H-2 内部



写真-4.3.32 垂れ壁の筋かい

3) H-3（柏崎市東本町）

- ・ H-2 邸と庭を挟んで、隣接している。
- ・ 敷地は、西側が 1m ほど高い。
- ・ 築 20 年の軸組構法総 2 階建て建物（写真-4.3.33）。1 階を倉庫兼車庫に使用し、2 階をアトリエ（写真-4.3.34）に使用していた。
- ・ 基礎は、コンクリート製布基礎（ $H = 270 \text{ mm}$ ）。外装は、窯業系サイディング（ $t = 13 \text{ mm}$ ）張り。内装は石こうボードで、2 階は石こうボードの上にクロス貼り。
- ・ 屋根は切り妻の金属板葺き。
- ・ 地盤・基礎に被害なし。

- ・ 建物本体にも、被害は見受けられない。
- ・ 1階のボード張り部分、2階のクロスも切れていない。
- ・ 外装のサイディングにも、ずれ・浮き上がり等はない。
- ・ 建物の残留変形は、1/1000～1/600程度で、無視できる程度。



写真-4.3.33 H-3 外観



写真-4.3.34 H-3 内部

4) H-4 (柏崎市東本町)

- ・ 昭和31年建設の店舗併用住宅(写真-4.3.35)。平成元年に階段位置移動。鉄骨を入れるなどの補強を加えた。
- ・ 基礎は切石を並べる。総2階建てで、1階部分は店舗として使用するため、内部に壁はほとんどなく、間口方向は、全面、背面にも壁がほとんどない。
- ・ 1階の残留変形は東(道路から見て右)に最大1/17。2階は約1/90。通し柱の折損があると思われる。基礎の切石が端部で転倒(写真-4.3.36)している。
- ・ 西側(道路から見て左)の隣家(S造と思われる)への衝突痕が見られた。隣棟間隔から推定して、地震時には2階屋根で30cm程度の最大水平変形が生じたと思われる。



写真-4.3.35 道路からの全景



写真-4.3.36 切石基礎の転倒・移動



写真-4.3.37 H-4 内部



写真-4.3.38 隣家との衝突痕

5) H-5 (柏崎市東本町)

- ・ 築 100 年以上。昨年、屋根の葺き替え（瓦から瓦へ）を行った。建物中央部はケヤキの柱と差鴨居を有し、吹き抜け上部に井桁状の梁を渡したサシヅクリ（写真-4.3.40）とする。大屋根を掛け、一部を2階とする。ケヤキの柱は約 21cm 角、その他の主要な柱は約 12 cm 角である。
- ・ 残留変形の最大は東（道路から見て左）に約 1/10（写真-4.3.39）。ケヤキの柱が少なくとも 1 本折損（写真-4.3.41, 42）し、差鴨居が 1 本、外壁の柱を押し折って、落下していた。



写真-4.3.39 道路からの全景



写真-4.3.40 サシヅクリの部屋の見上げ



写真-4.3.41 H-5 内部の様子



写真-4.3.42 柱の折損（写真-4.3.41 の拡大）

4.3.4 柏崎市東本町の物件の被災状況

1) A-1（柏崎市荒浜）

- ・ 築 75 年の平屋（写真-4.3.43, 44）。昭和 45 年に西側部分を増築（写真-4.3.46）し、民宿を営業開始。増築部分は金融公庫の融資を受ける。
- ・ 外壁は下見板張りの部分とサイディング張りの部分がある。下見板張りが当初建築で、その後改修したものと想像される。増築部分の外壁はサイディング張り。
- ・ 当初部分の内壁はラスボードにプラスター塗りであるが、場所によっては真壁作りの化粧合板で改修してある。柱は 100 mm 角のスギ。増築部分はプリント合板張りで一部座屈しているものが確認された（写真-4.3.48）。
- ・ 地盤は砂地盤（写真-4.3.47）。当初部分の基礎はコンクリート造かコンクリートブロック（軽量ブロックではない）を置いたもので、増築部分の基礎はコンクリート造で高さ 28 cm。
- ・ 田の字の間取りで、道路側から二間目台所寄りの部屋の天井が落ちている（写真-4.3.45）。屋根が崩壊したためであり、道路側から一間目南側も雨漏りがしている。
- ・ 玄関部分の傾斜は南西へ 1/100、南東へ 11/1000 程度で、北東側のセメント瓦が一部落下している。東側部分は外壁のみならず、瓦も和瓦に改修している。増築部分の屋根は金属板葺きの寄棟。少なくとも建築当初部分は葺き土なし。
- ・ その他、道路側の高さ約 87 cm の軽量コンクリートブロック造の擁壁が大きく道路側に傾いていた。
- ・ 強軸方向がほぼ主振動方向（北西－南東方向）と推定される。増築部分は内装せっこうボードのひび割れなどがあるが、玄関部分よりは残留変形は大きくない。



写真-4.3.43 A-1 外観



写真-4.3.44 A-1 内部



写真-4.3.45 落ちた天井



写真-4.3.46 手前の青い金属屋根が増築部分



写真-4.3.47 庭の砂のひび割れ



写真-4.3.48 内装合板の座屈

2) A-2 (柏崎市)

- ・ 築 110 年の伝統的構法による部分 2 階建て住宅 (写真-4.3.49)。建築当初部分は道路側から 1～15p の部分で、海側に増築したほか、道路側にも 1p 分増築。増築の時期は居住者が覚えていないとのこと。

- ・ 基礎は切石で高さは約 18 cm で、道路側の一部が割れていた (写真-4. 3. 51)。
- ・ 外壁は下見板張りで内壁は土壁漆喰塗りであるが、一部はプリント合板で改修しており、そのプリント合板が座屈 (写真-4. 3. 52) しているものが確認された。屋根は和瓦葺きで葺き土無し。野地板が吹抜部分は直接見えるが、新材に葺き替えたとのこと。
- ・ 柱は、195 cm 角で、樹種は不明だが朱塗り。梁も相当太い。道路から二間目は吹抜になっており、梁、桁が露出し、サシヅクリと呼ばれる構法 (写真-4. 3. 50)。
- ・ 玄関土間を上がった部分のサシヅクリ部分の柱の残留変形は、北東へ 10/1000、北西へ 9/1000 程度。強軸方向がほぼ主振動方向 (北西-南東方向) と推定される。壁がない割に被害軽微。
- ・ 増築部分では、ピアノが転倒し (写真-4. 3. 53)、2階の道路側では内壁の土壁が崩落していた (写真-4. 3. 54)。



写真-4. 3. 49 A-2 外観



写真-4. 3. 50 吹抜部分上部 (サシヅクリ)



写真-4. 3. 51 道路側の切石基礎の割れ



写真-4. 3. 52 内装合板の座屈



写真-4.3.53 ピアノの転倒



写真-4.3.54 土壁の崩落

4.3.5 刈羽村刈羽の物件の被災状況

1) K-1 (刈羽村刈羽)

- ・ 築約 100 年。南東（左手前）の突出部分は約 25 年前の増築（写真-4.3.55）。北側（右）の 2 階建て部分は 15 年前の改築（次の物件として記載）。7～8 年前に瓦の葺き替え。土は載せていない。
- ・ 平屋建て。中央の部屋はケヤキの柱と差鴨居を用いた天井の高い空間で、当地では「サシヅクリ」と呼ぶ（応急補強工事の大工による、写真-4.3.56）。
- ・ 礎石の上に、上屋の周囲では土台を回し、内部では礎石に直接柱を立てる。壁は土塗り壁漆喰仕上げで、厚さ 75mm 程度。外壁仕上げは下見板張り。南東増築部分は金属系サイディング。
- ・ 玄関前のアスファルト舗装に割れがあり、床下にも地割れが生じていた。
- ・ ケヤキの 165 mm 角の柱を含めて、少なくとも 3 本が差鴨居の高さで折損している（写真-4.3.57）。
- ・ 残留変形角は、折損した柱の差鴨居から下の部分（写真-4.3.58）で南（左）に約 1/10、西（奥）に約 1/15、折損のない中央の柱で南（左）に約 1/30、西（奥）に約 1/40 である。



写真-4.3.55 外観（右が増築部分）



写真-4.3.56 内部（サシヅクリの部屋）



写真-4.3.57 柱の折損、壁の剥落



写真-4.3.58 柱折損の詳細

4) K-2 (刈羽村刈羽)

調査した建物は、K-1（平屋部分）の北西に平成4年に増築された部分2階建ての軸組構法による住宅（写真-4.3.59）である。1階床面積 72.6 m²、2階床面積 39.6 m²、基礎は布基礎で、基礎高さは500 mm（東側基礎にての測定）。外壁は上部が漆喰仕上げ、それ以外は下見板張り。内壁仕上げは、洋室ではせっこうボード+クロス、和室では京壁（下地は不明）。筋かいの有無、接合仕様は不明。壁には断熱材使用（グラスウール）。屋根は切妻4寸勾配、和瓦葺き（葺き土なし）。

被害状況は、1階、2階ともに残留変形があり、1階では北方向に1/400、東方向に1/400、2階では北方向に1/240、東方向に1/170である。平屋部分との接合部分（増築した際の繋ぎ目部分）において調査対象建物と平屋部分が分離していた（写真-4.3.60）。この近傍における廊下のせっこうボードが剥落していた（写真-4.3.61）。また、廊下および食堂のせっこうボードに大きな亀裂が生じていた（写真-4.3.62）。せっこうボードに亀裂または剥落が生じていた部位は平屋部分と当該建物が接合されていた壁線に集中していた。その他、浴室の壁タイルに亀裂および剥落の損傷（写真-4.3.63）が認められた。



写真-4.3.59 増築部分の外観



写真-4.3.60 平屋部分と増築部分の接合部分



写真-4.3.61 増築部分の廊下の
せっこうボード剥落



写真-4.3.62 食堂のせっこうボードの亀裂・剥落



写真-4.3.63 浴室タイル目地亀裂・剥落

5) K-3 (刈羽村刈羽)

- ・ 刈羽駅近くにある、1982年築の軸組工法2階建て住宅（写真-4.3.64）。元は宅地であるが、それ以前は田であった。
- ・ 2004年新潟県中越地震時に、敷地内に噴砂口ができるなど、地盤が液状化する被害を受けた。建物の損傷は大きくなかった。その後、液状化対策のために、基礎と上部の建物を支持した状態で、以下の写真に示す鋼製パイプ（長さ0.9m）を布基礎の下に50カ所（各長さ17m）に挿入して、復旧した（写真-4.3.65）。
- ・ 建物は、2004年新潟県中越地震後の液状化対策工事において、上部構造の補強は特に実施しなかった。瓦葺き、外装は下見板張り。基礎は逆T字状の鉄筋コンクリート製布基礎。軸組には、比較的多数の筋かいが使用されている。内装は、真壁部分は石こうラスボードの上に砂壁風のクロス貼りもしくは漆喰塗り。大壁部分は石こうボードの上にクロス貼り。
- ・ 今回の地震で、地盤に噴砂等の液状化は発生しなかったが、杭支持した布基礎部分に対して、犬走りなどの周辺部分が10cm程度沈下した（写真-4.3.68, 69）。
- ・ 上部構造では、玄関の底を支える両独立柱が脱落・分離。玄関左右の両袖壁前端の柱が土台を踏

み外し、玄関が建物本体から分離して傾く（写真-4.3.66）。

- ・ 建物本体では、1階・2階ともに壁の損傷が大きく、多くの石こうボードに亀裂が生じ、また脱落が生じた（写真-4.3.70）。1階の柱数本が折損している。（写真-4.3.71）
- ・ 1階では西向きに1/30程度、2階では南向きに1/340程度の残留変形が生じた。
- ・ 北側の筋かい（たすき掛け）が座屈して、外壁（下見板張り）を面外に押し出した（写真-4.3.67）。
- ・ 瓦（主に隅棟）の一部が破損・落下した。



写真-4.3.64 K-3 全景（玄関部分に大きな被害）



写真-4.3.65 中越地震後の液状化対策用鋼製パイプ



写真-4.3.66 脱落した独立柱と傾斜した玄関



写真-4.3.67 座屈した筋かいにより押し出された外装材



写真-4.3.68 周辺地盤と分離した布基礎



写真-4.3.69 床下（束が浮き上がっている）



写真-4.3.70 脱落した石こうボード



写真-4.3.71 縦に裂けた柱

6) K-4 (刈羽村刈羽)

- K-3 邸の敷地内に建つ、2005 年 6 月建築の一部 2 階建て丸太組構法（写真-4.3.72）。
- 元畑を 40cm 程度盛土し、厚 24cm 程度のスラブを持つ円形の鉄筋コンクリート独立基礎の上に建つ（写真-4.3.73）。
- ログハウスは、直径 150mm のスギの丸太（九州産）を積層した構造。屋根は金属板葺き。内外装はなく、丸太が直接見える。
- 地震によって、敷地内で液状化は発生していない。基礎のスラブと周辺地盤の間が多少開き（写真-4.3.74）、スラブが若干傾斜した。
- 計測した丸太の壁の傾斜は、8/1000 程度であったが、実質的に問題が生じない範囲である。
- 丸太相互のズレも観察されていない（写真-4.3.75）。
- 建物に被害は生じていない。テラス部分との間にズレが生じたため、開き戸が開き難くなったのが、唯一の被害。



写真-4.3.71 全景 (ほとんど被害なし)



写真-4.3.71 コンクリート製の独立基礎とベタ基礎



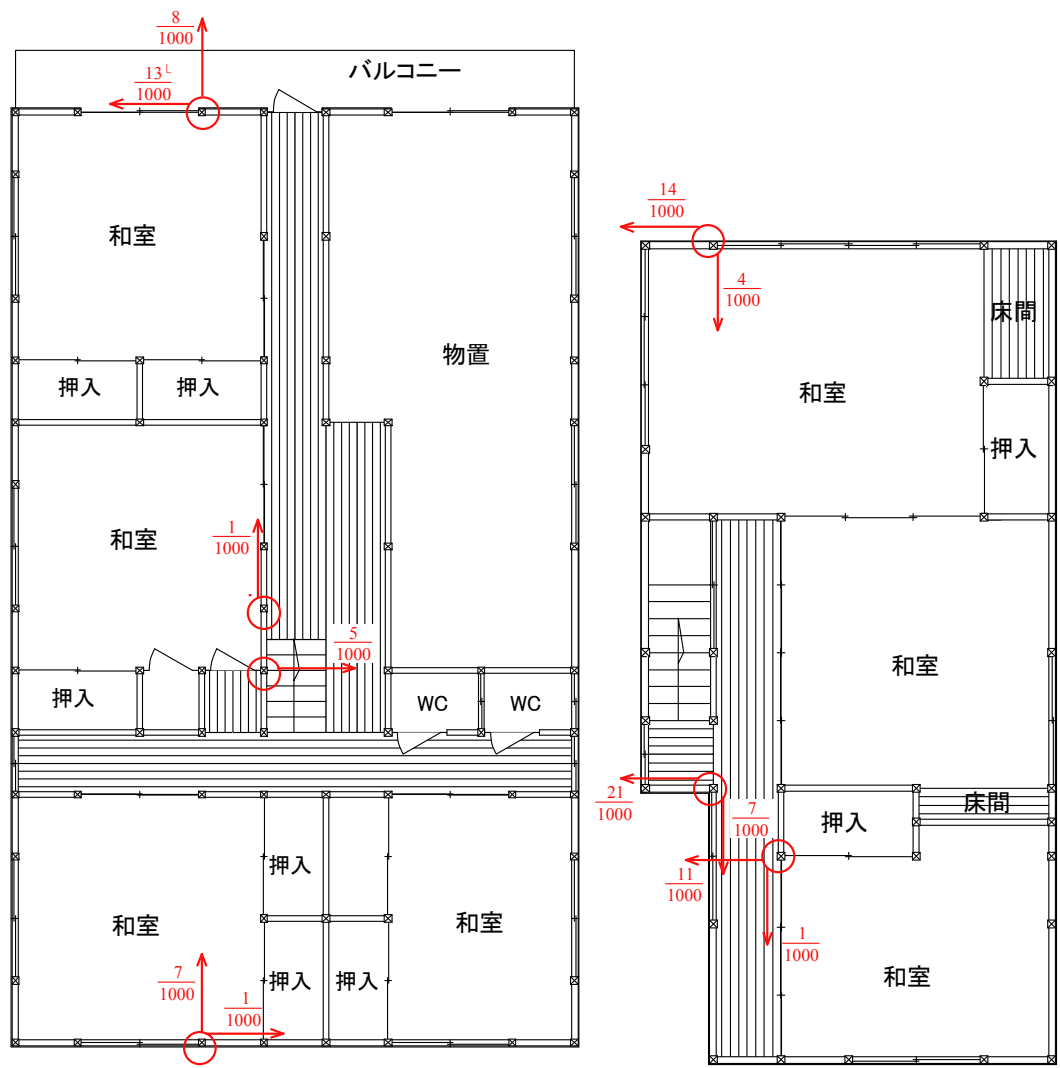
写真-4.3.71 スラブと周辺地盤のずれ



写真-4.3.71 K-3 内部 (1階:被害なし)

4.3.6 詳細調査建物の平面図

次頁以降に前節までに詳細調査を実施した建物の平面図を示す。



1F 平面図

2F 平面図



図-4.3.1 平面図 1

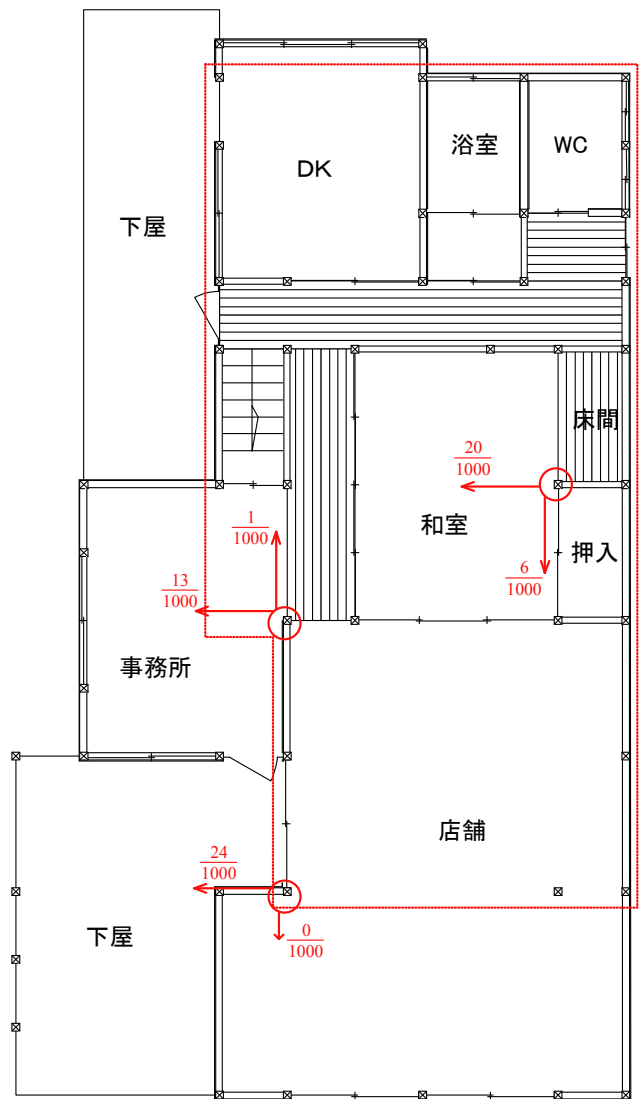
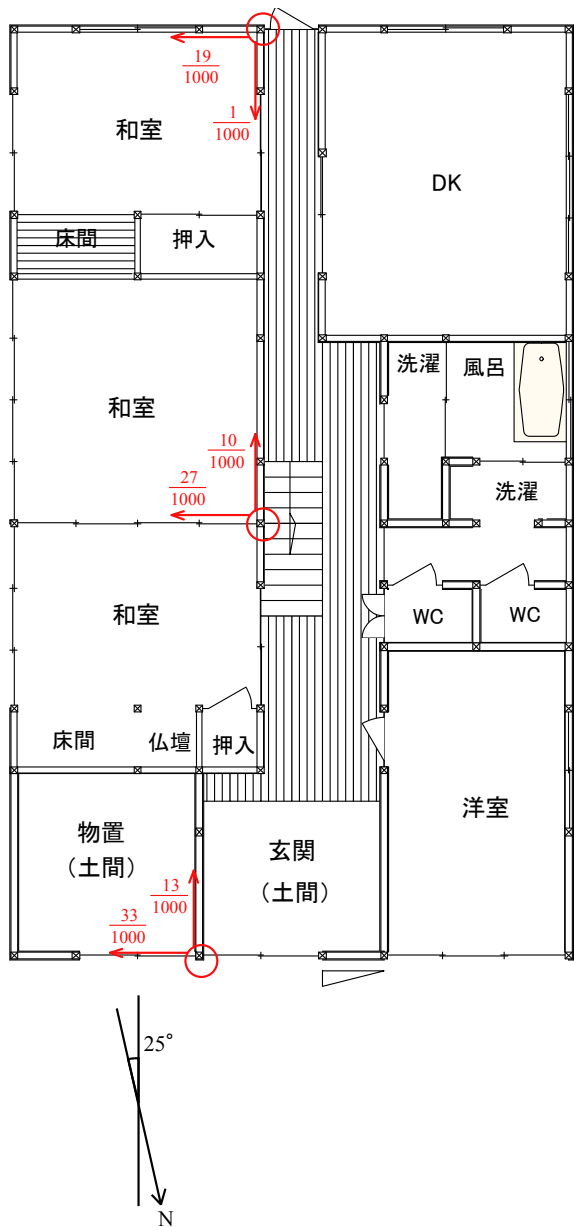


図-4.3.2 平面図 2

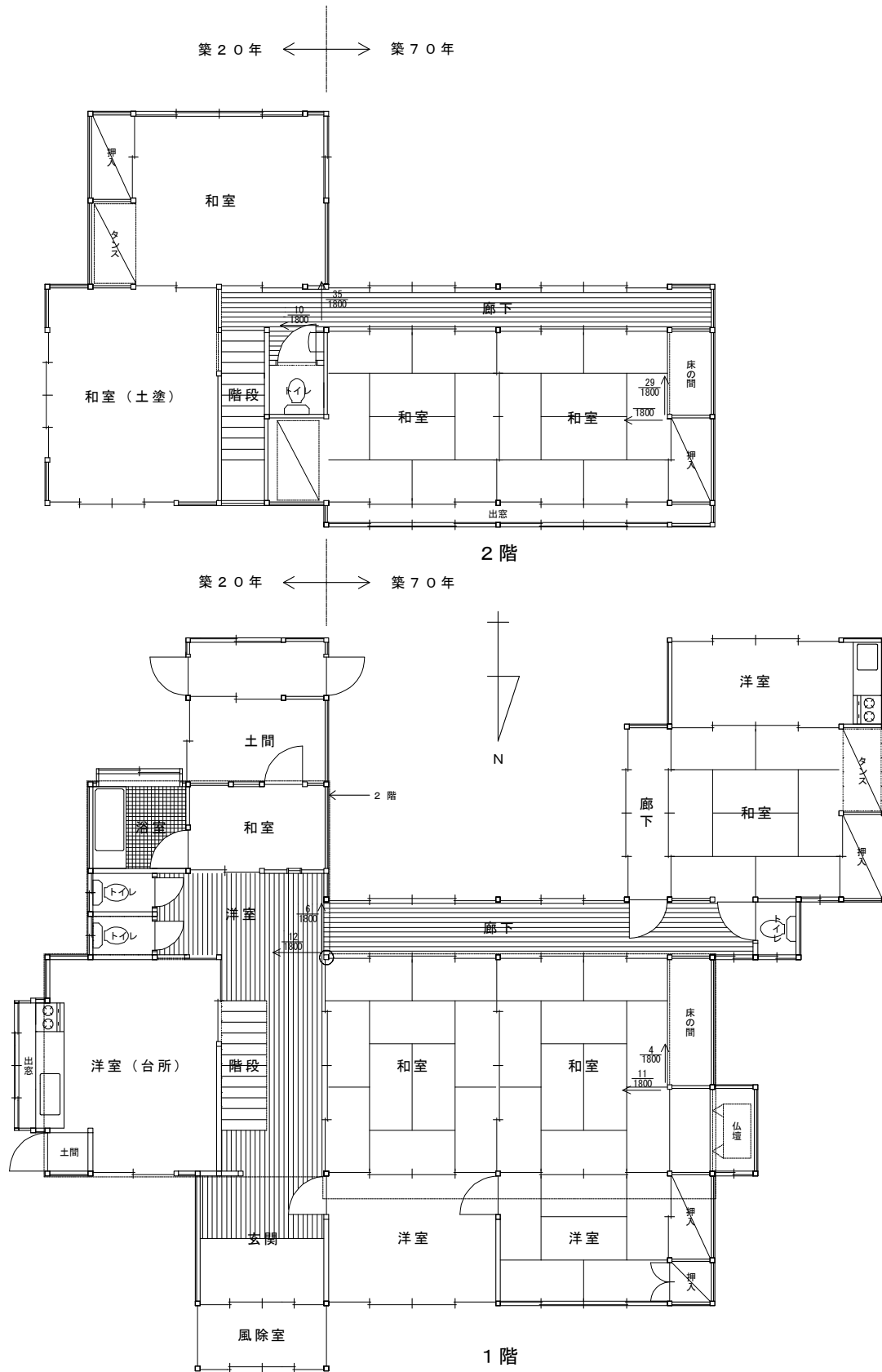
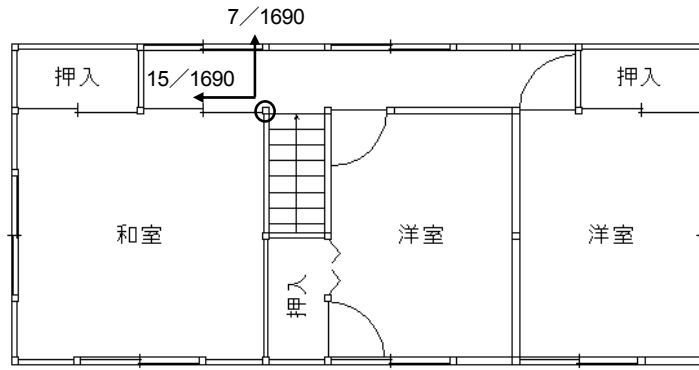
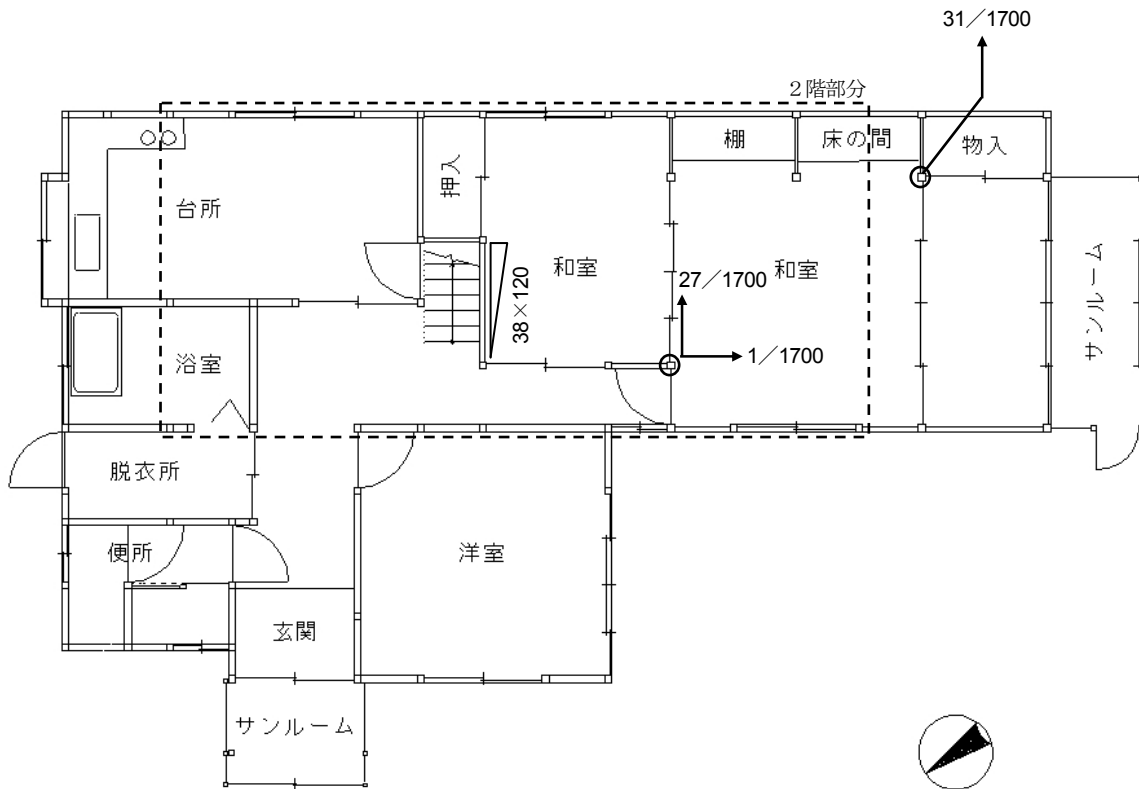


図-4.3.3 平面図 3



2階



1階

図-4.3.4 平面図4

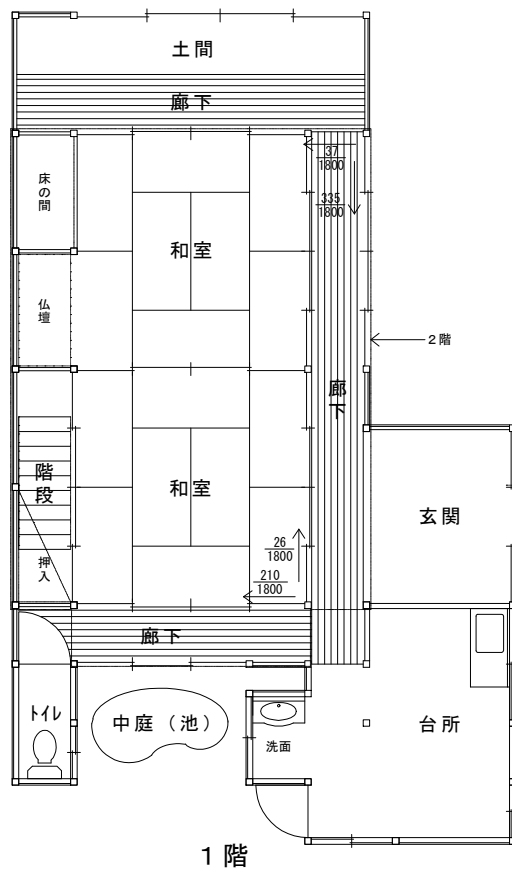
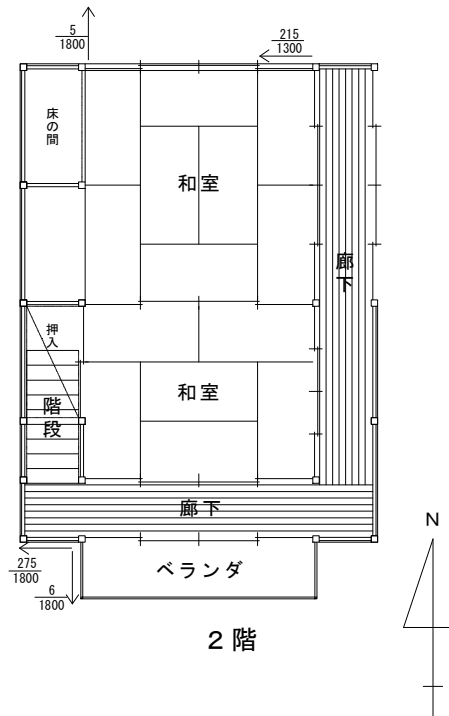
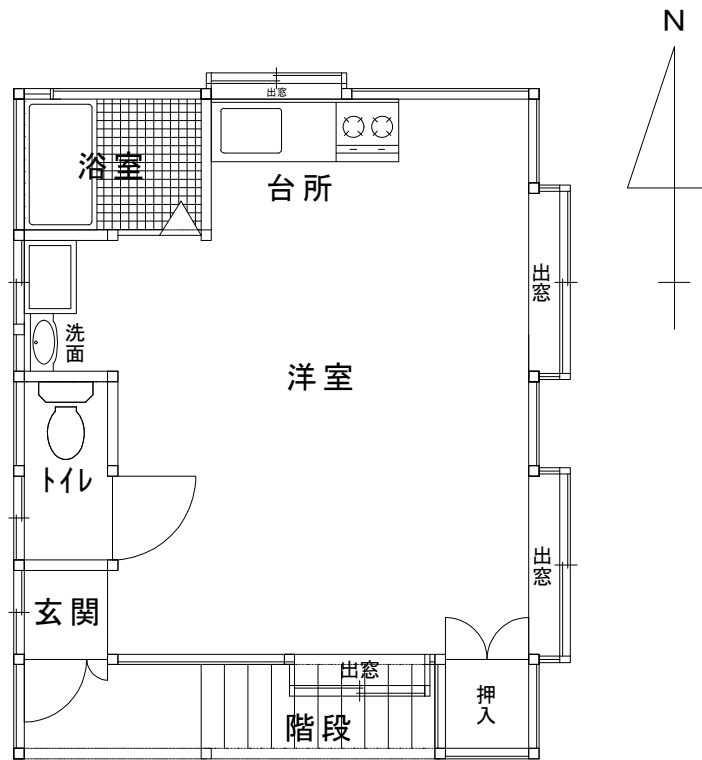
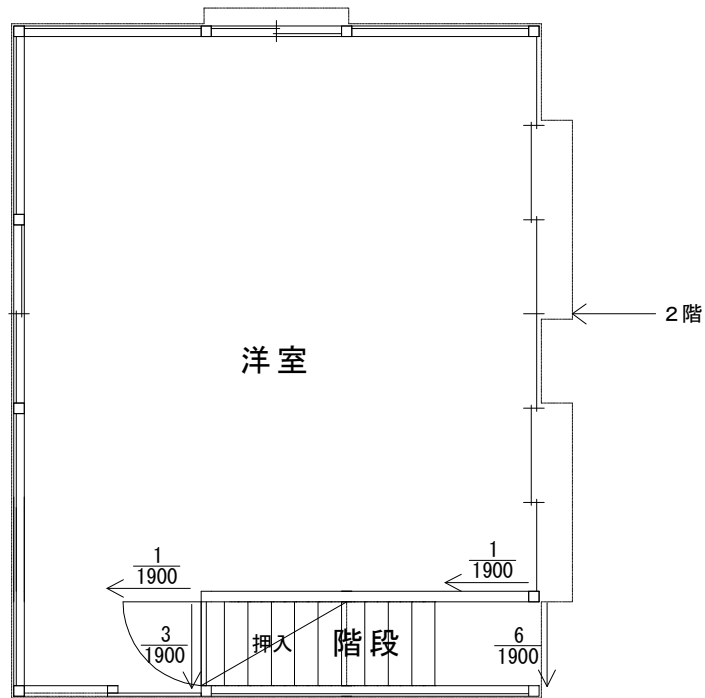


図-4.3.6 平面図6

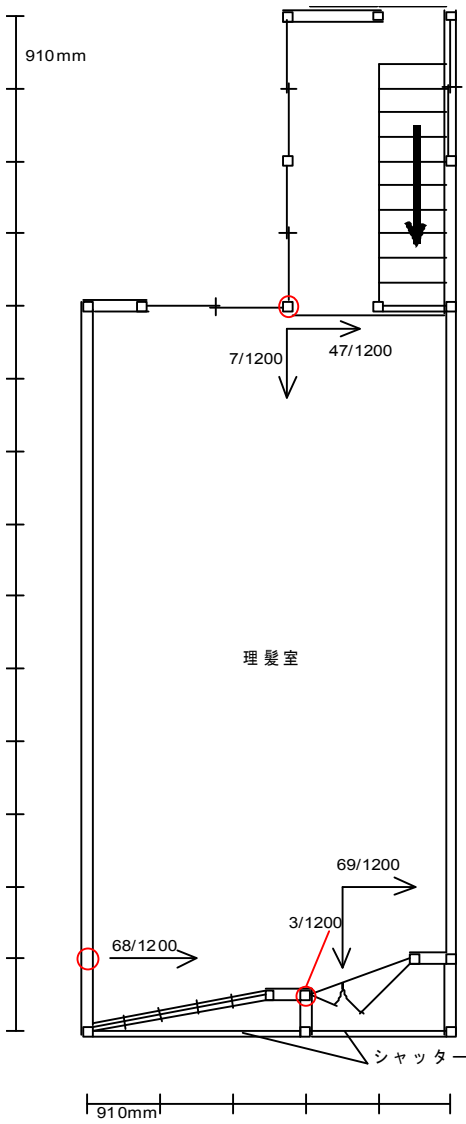


2階

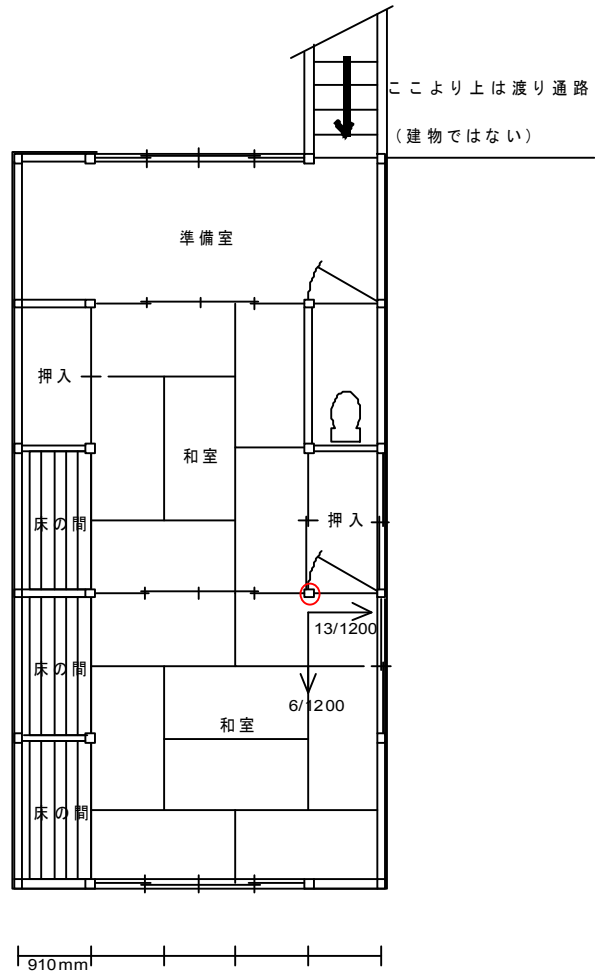


1階

図-4.3.7 平面図7

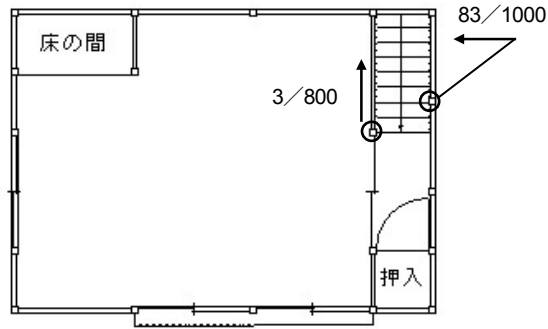


1階平面図

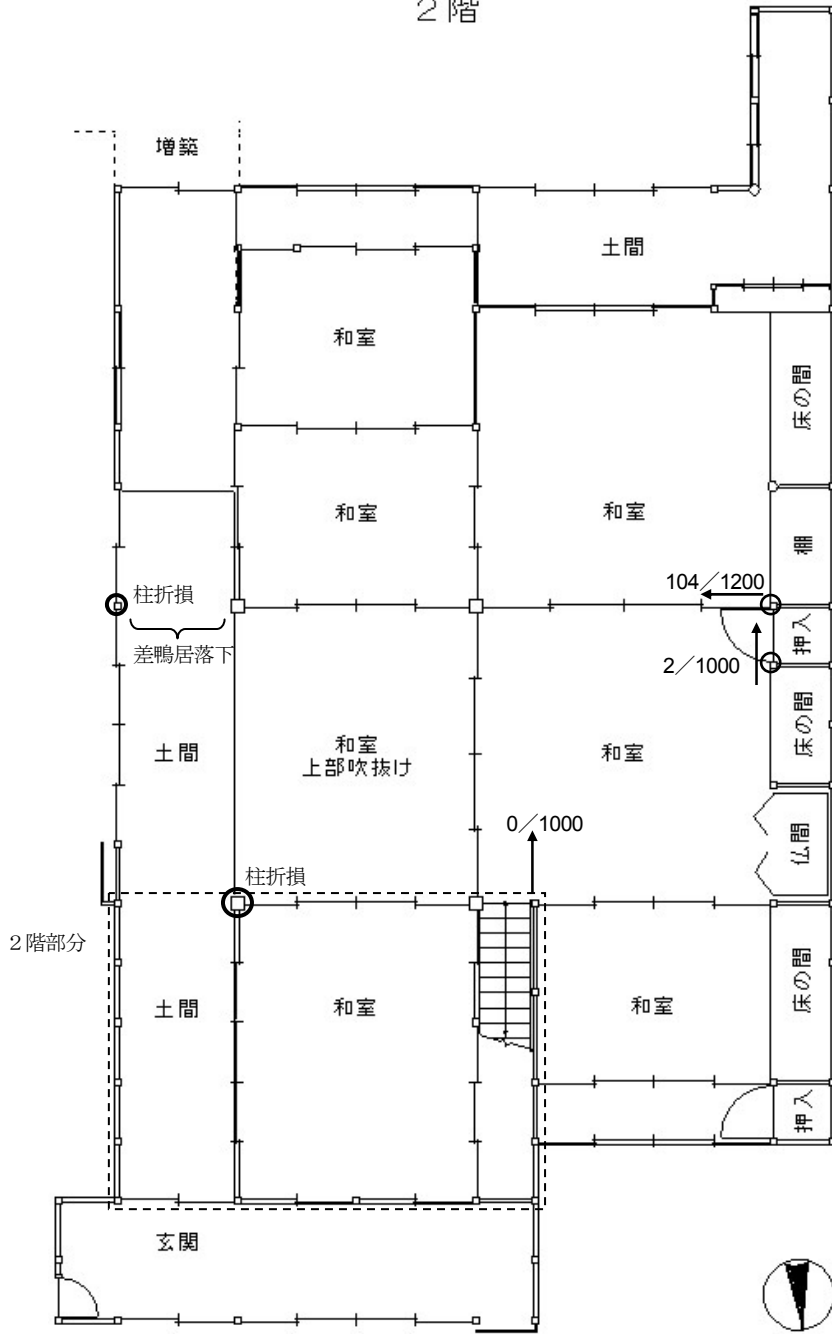


2階平面図

図-4.3.8 平面図8



2階



1階

図-4.3.9 平面図9

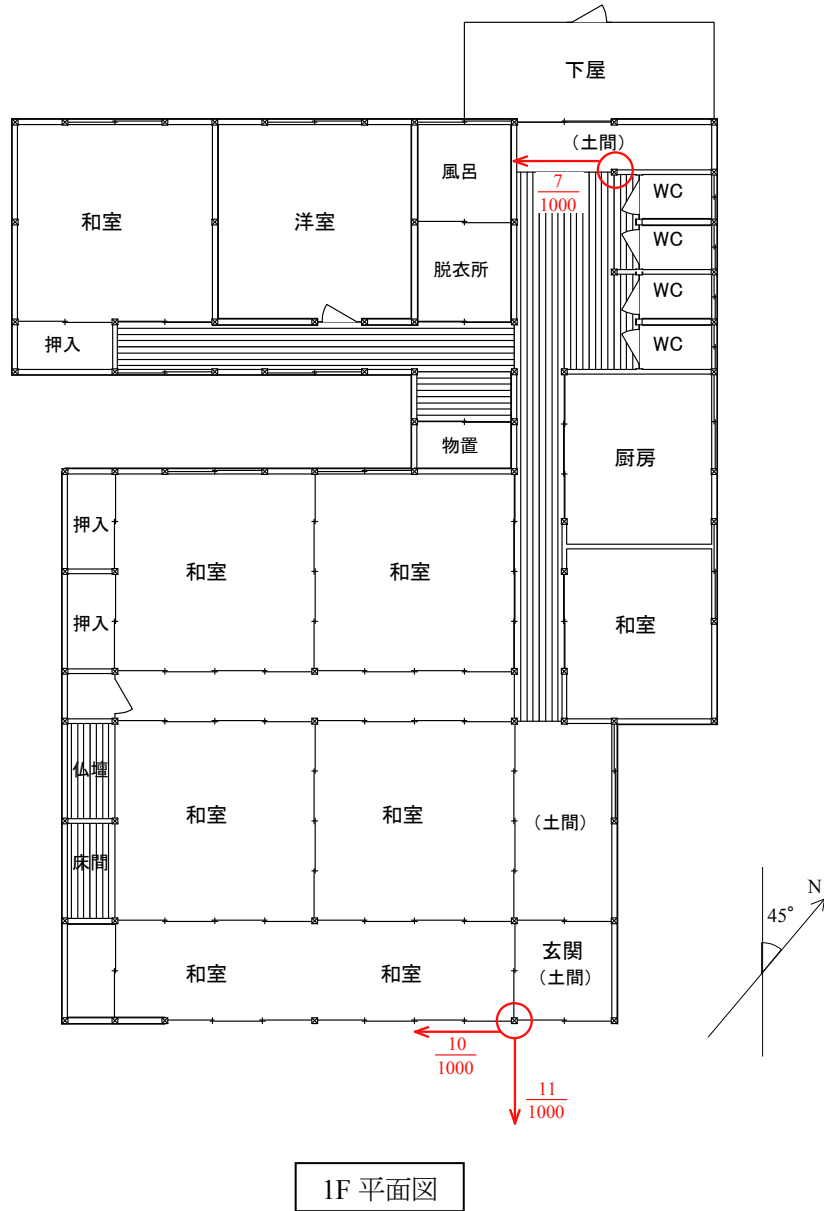
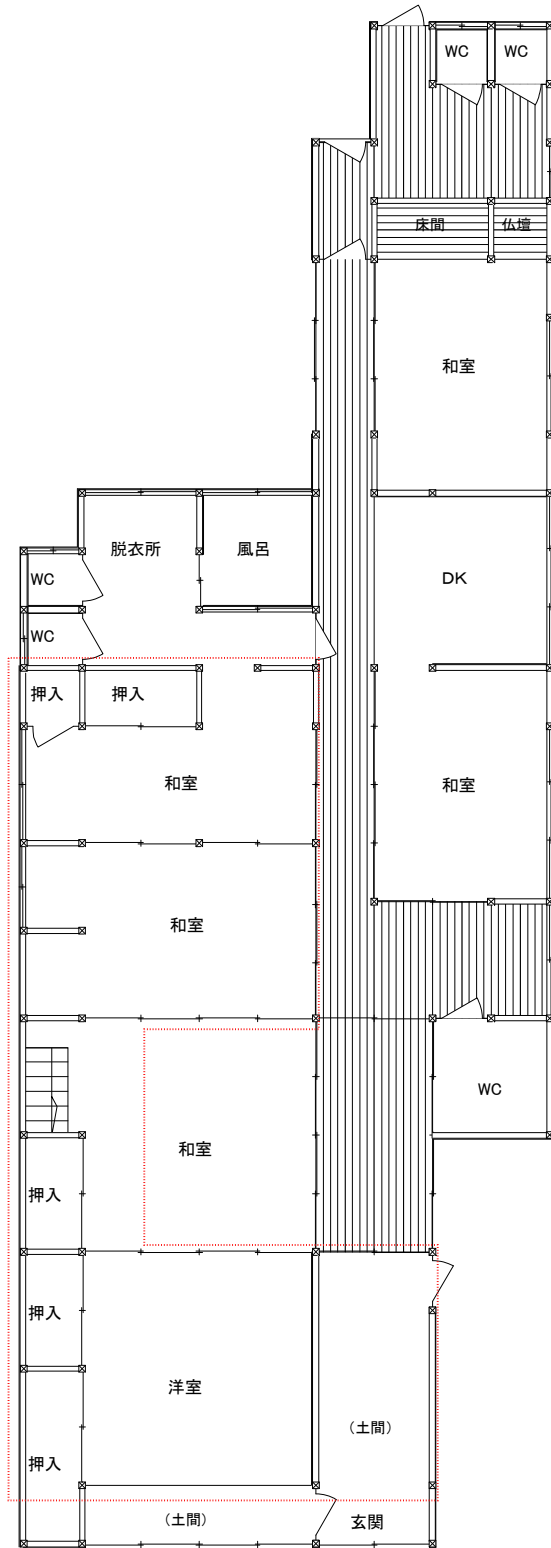
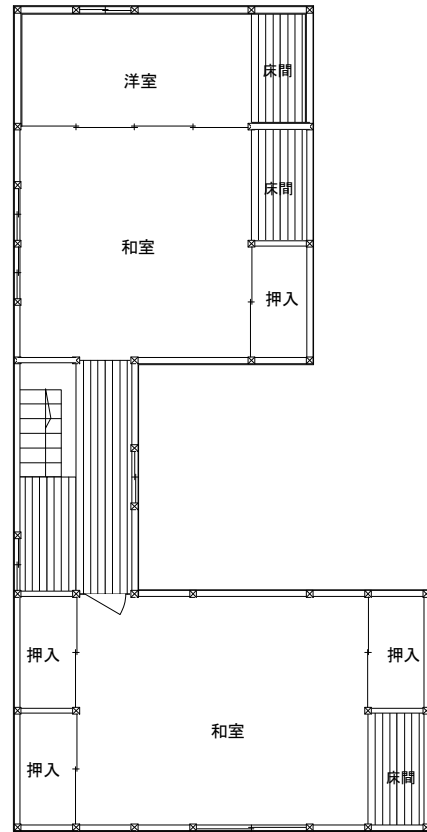
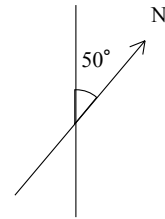


图-4.3.10 平面图 10

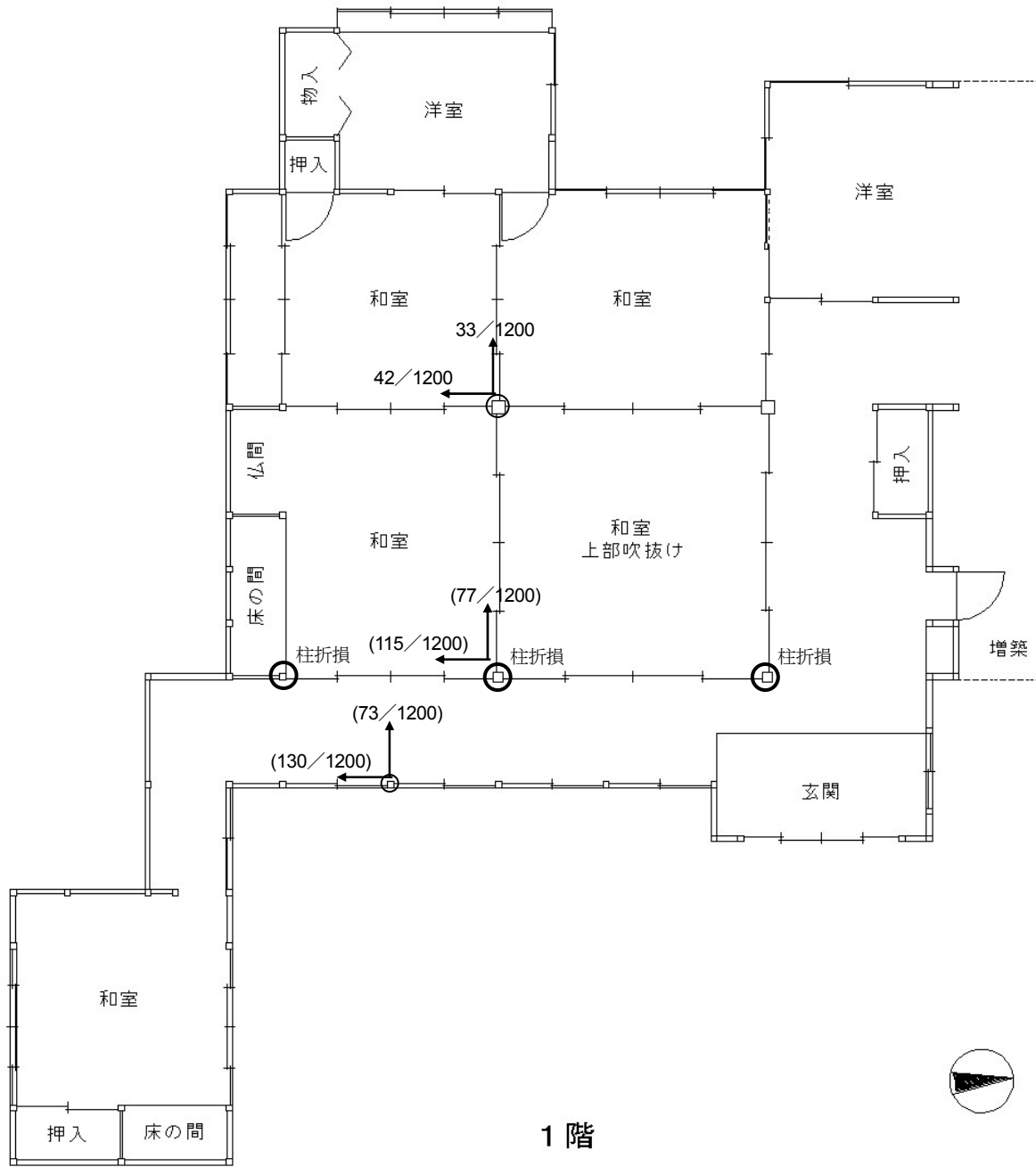


1F 平面図



2F 平面図

図-4.3.11 平面図 11



柱傾斜の () は、折損又は曲げ変形を生じた柱の鴨居下での傾斜の測定値を表す

図-4.3.12 平面図 12

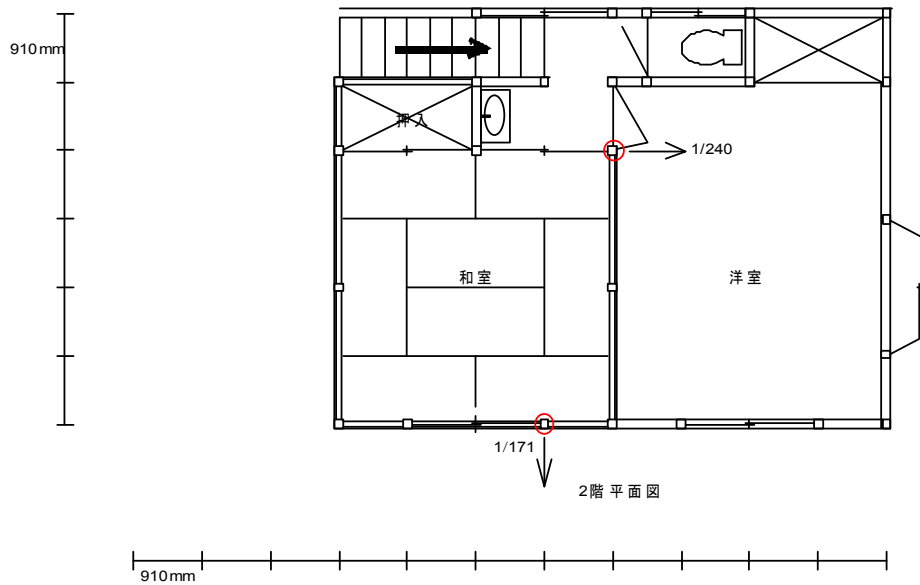
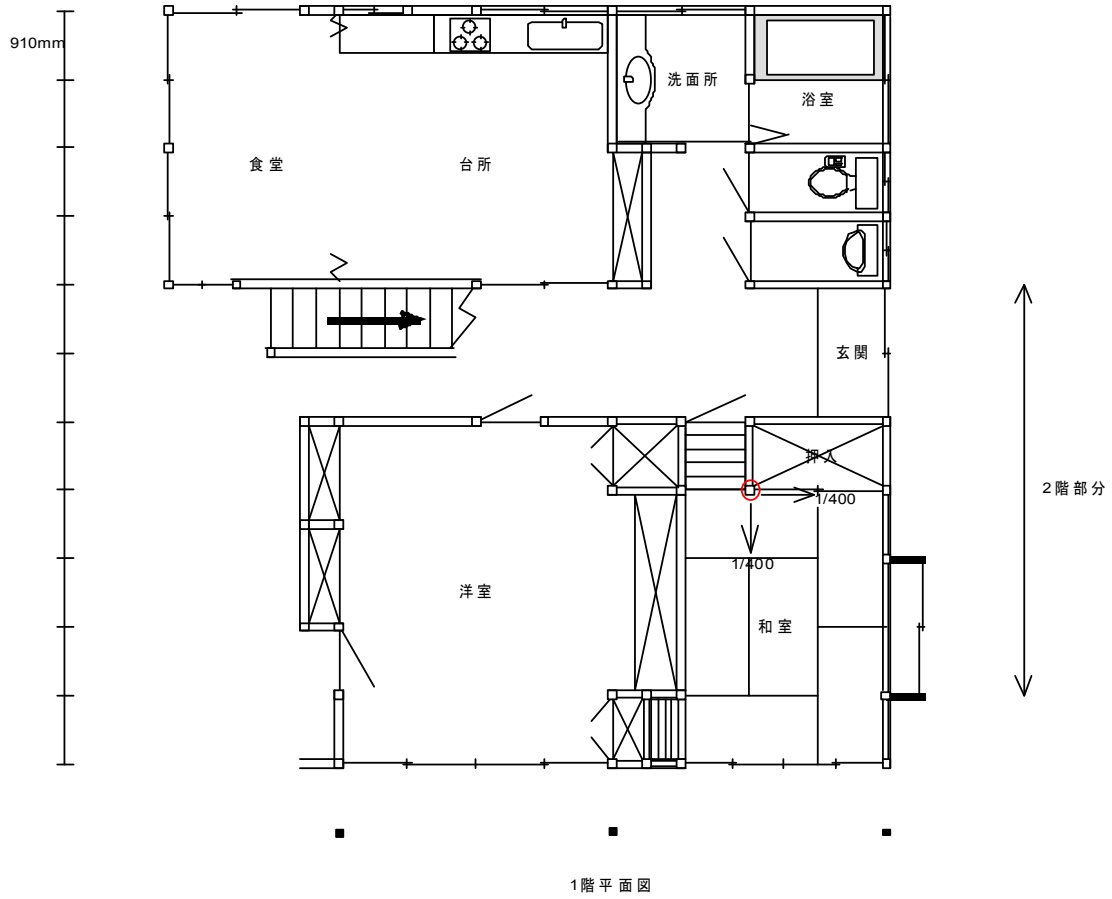
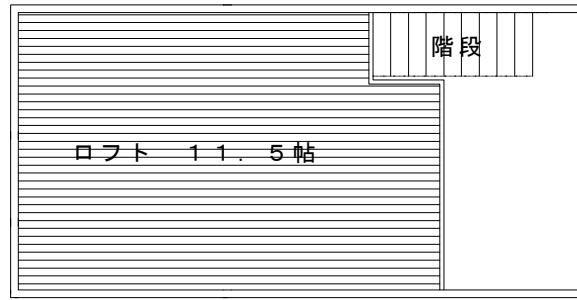
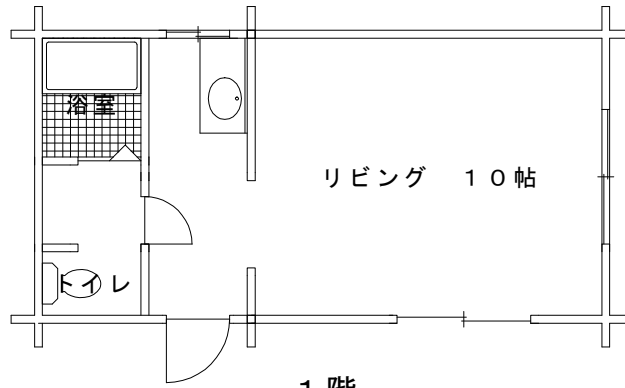


图-4.3.13 平面图 13



2階



1階

図-4.3.15 平面図 15

4.4 詳細調査建物の壁量の検討

4.4.1 調査建物の壁量

表-4.3.1 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との関係を考察した。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、その評価方法は、開口低減係数²⁾を準用して表-4.4.1 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-4.4.2³⁾）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-4.4.1 有開口壁の評価方法

開口の幅	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-4.4.2 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: 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)

詳細調査建物の各方向の基準法の壁量充足率を比較してそれぞれ図-4.4.1 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建物の壁量充足率を図-4.4.2 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、通りに面する方角に依存して壁量が決まる傾向にあるためである。平成19年に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。1階よりも2階の充足率が高い建物が多いのも前述の新潟県中越地震の場合とほぼ同じ傾向である。

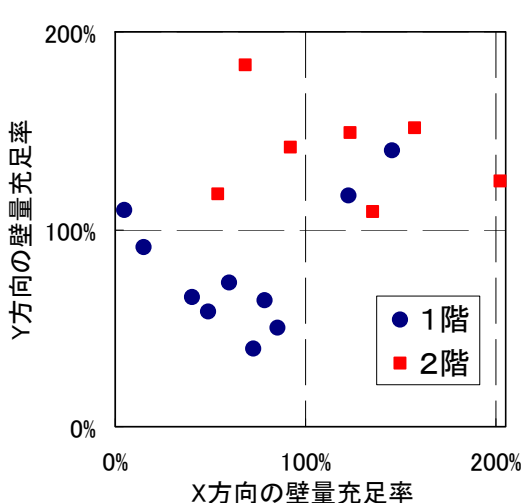


図-4.4.1 H19 新潟県中越沖地震詳細調査建物
における基準法の壁量充足率

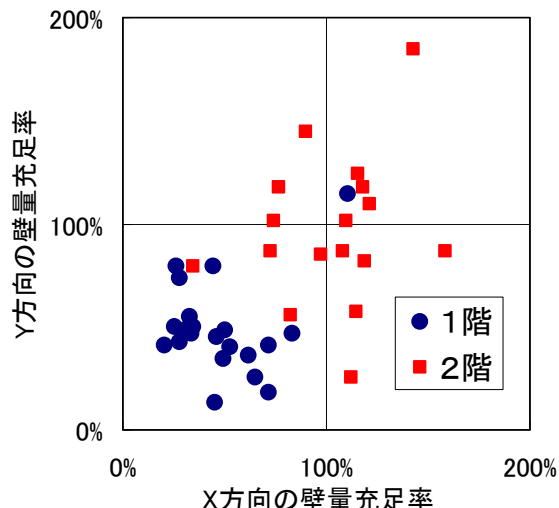


図-4.4.2 H19 能登半島地震詳細調査建物
における基準法の壁量充足率

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-4.4.3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-4.4.4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、能登半島地震の調査建物より平均値は高いが、極端に大きな値を示すものもない。

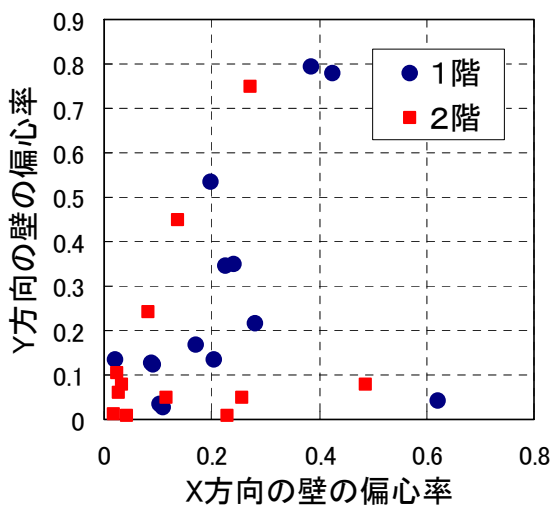


図-4.4.3 H19 新潟県中越沖地震詳細調査
建物の偏心率

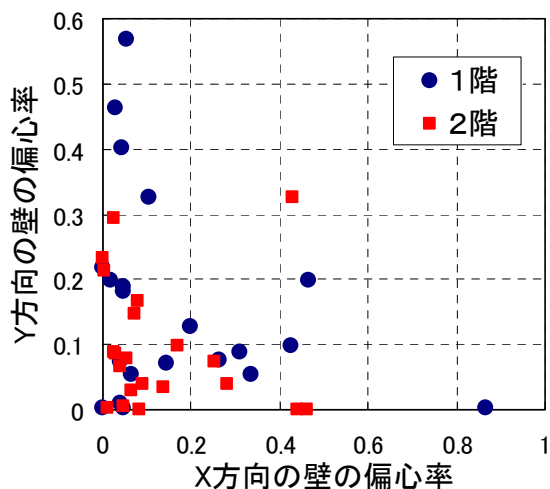


図-4.4.4 H19 能登半島地震詳細調査
建物の偏心率

4.4.2 壁量充足率と残留変形

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-4.4.5、図-4.4.6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1/100 rad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 1/200 rad 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するか、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 1/10 rad. 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⁴⁾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 能登半島地震、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 1/120 rad. 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。

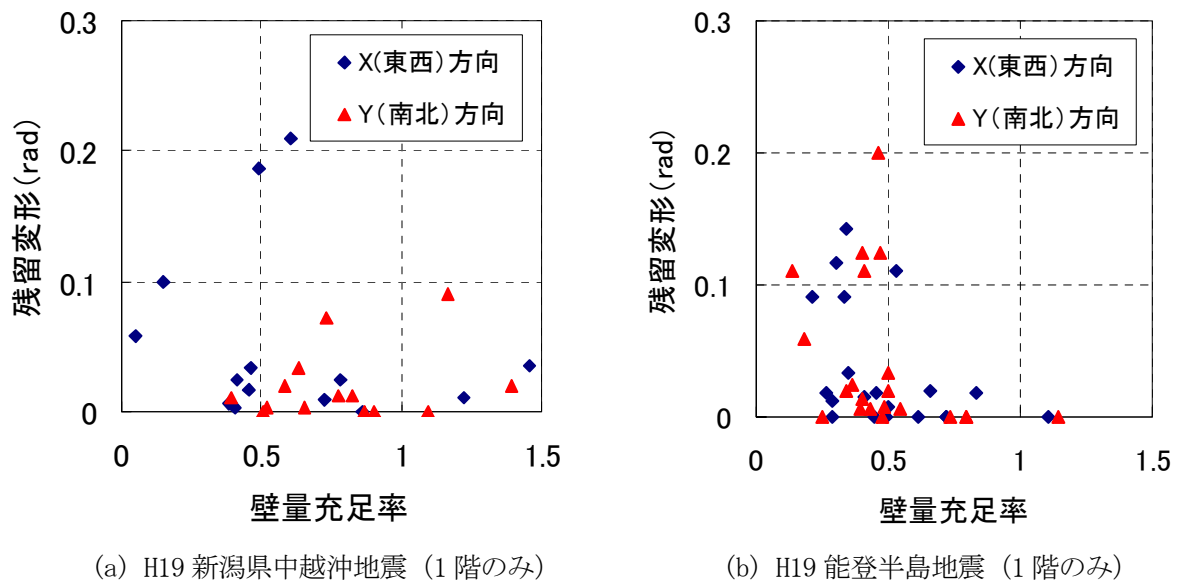
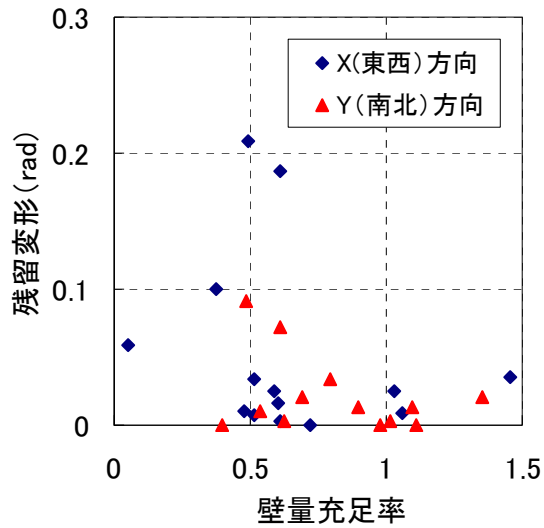
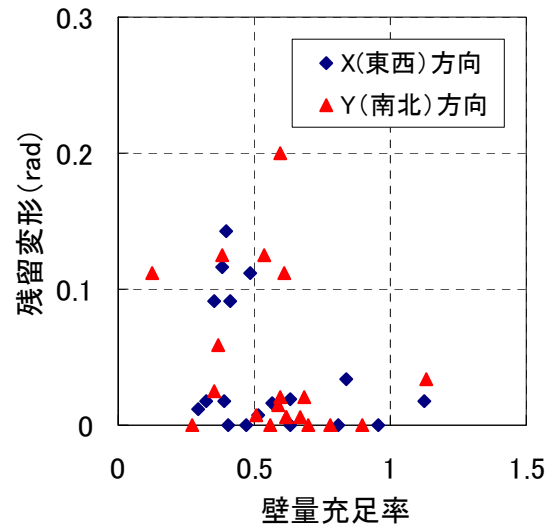


図-4.4.5 基準法の壁量充足率と残留変形の関係



(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-4.4.6 品確法の壁量充足率と残留変形の関係

参考文献 (4.4 節関係)

- 1) 「紙の基礎講座」ホームページ : <http://homepage2.nifty.com/t-nakajima/kamikiso05.html>
- 2) 木造住宅の耐震精密診断と補強方法、(財)日本建築防災協会、p. 60, 2004.
- 3) 河合直人 : 建築技術 No. 608, p. 124, 2000.
- 4) 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.

4.5 地震応答計算による耐力壁量と最大応答変位の関係

4.5.1 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。

4.5.2 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-4.5.1に示す。

表-4.5.1 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-4.5.2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-4.5.2 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-4.5.1に履歴モデルを、表-4.5.3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。

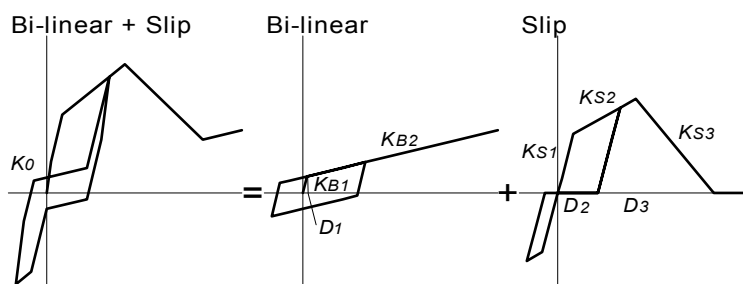


図-4.5.1 計算に用いた荷重変形の履歴特性 (バイリニア+スリップ)

表-4.5.3 構造用合板耐力壁1mに対するパラメータの値 (記号は図-4.5.1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

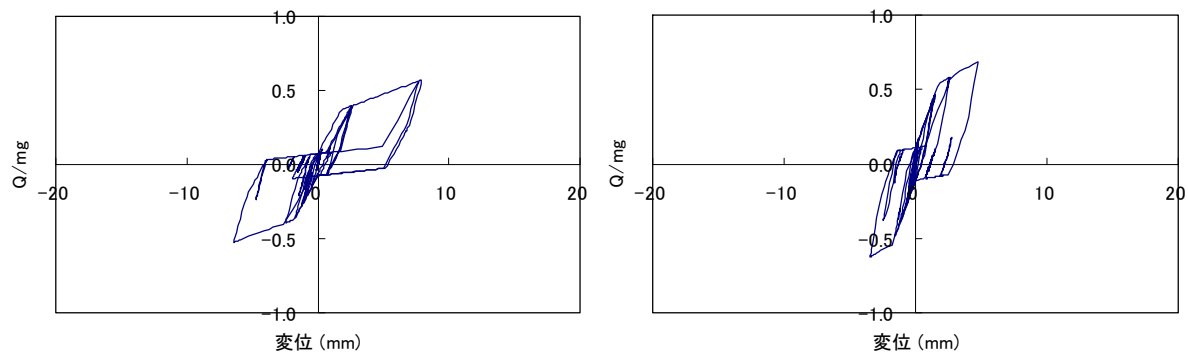
建築基準法上は、木造に対して単位床面積当たりの必要壁量が与えられているが、倍率1の壁で長さ1m当たりの基準耐力は1.96(kN)である。このことから、2種類の建物を対象に壁量充足率が1の場合の木造下階(2階建ての1階、又は1階鉄筋コンクリート造3階建ての2階)について、非耐力部分の寄与も考慮して許容せん断耐力を算出し、層の許容せん断耐力を支持する重量で除した値、すなわち充足率1の想定モデルについて許容せん断耐力に対応する地震層せん断力係数を算出すると2階建ての場合、総2階で0.215、部分2階で0.259となる。これを見ると、セットバックした住宅の場合には上階の重量が小さくなるために、いくらか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

4.5.3 計算結果

計算結果の荷重変形関係の例を図-4.5.2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-4.5.3~10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 $R_1=1.6$ 、2階 $R_2=1.6$ 、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 $R_1=1.4$ 、2階 $R_2=1.4$ 、入力地震動 刈羽村割町新田NS の場合

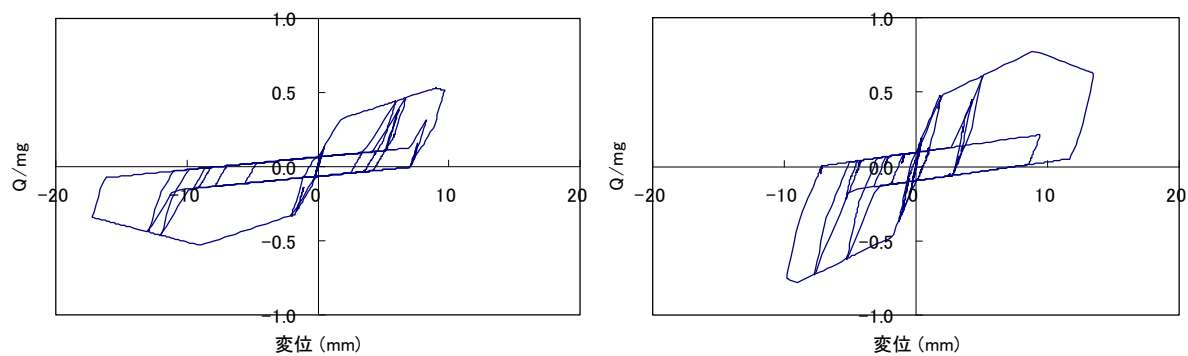
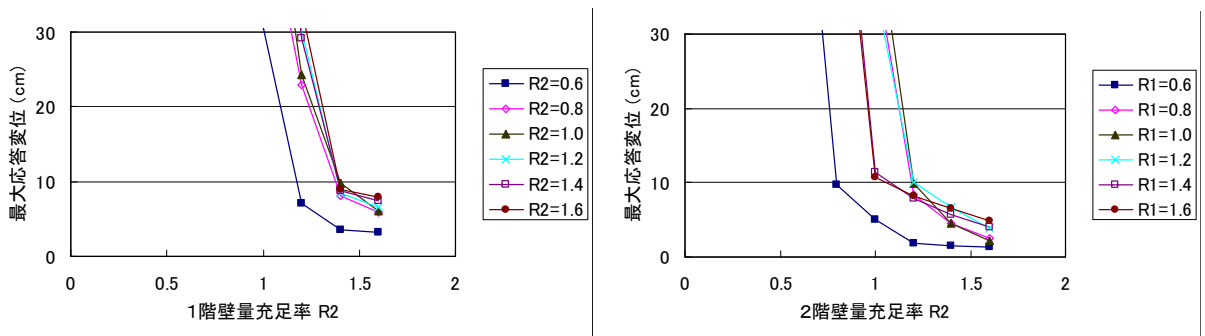


図-4.5.2 応答計算結果の荷重変形関係の例

(1) K-net 柏崎NS (左：1階、右：2階)



(2) K-net 柏崎EW (左：1階、右：2階)

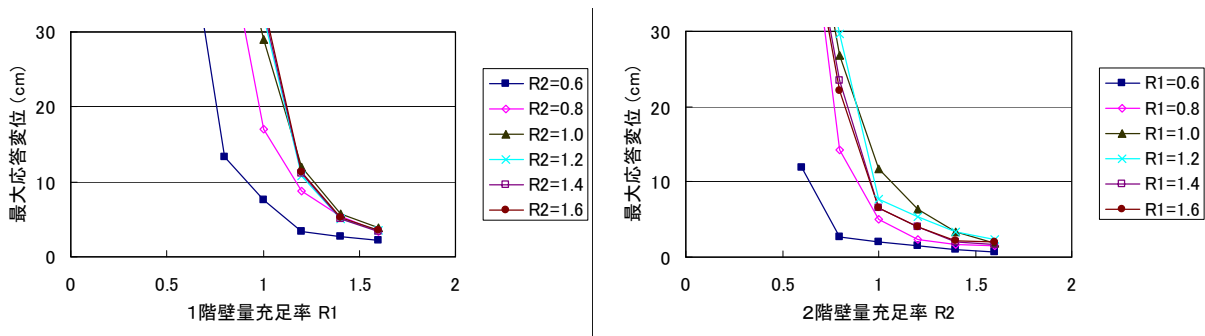
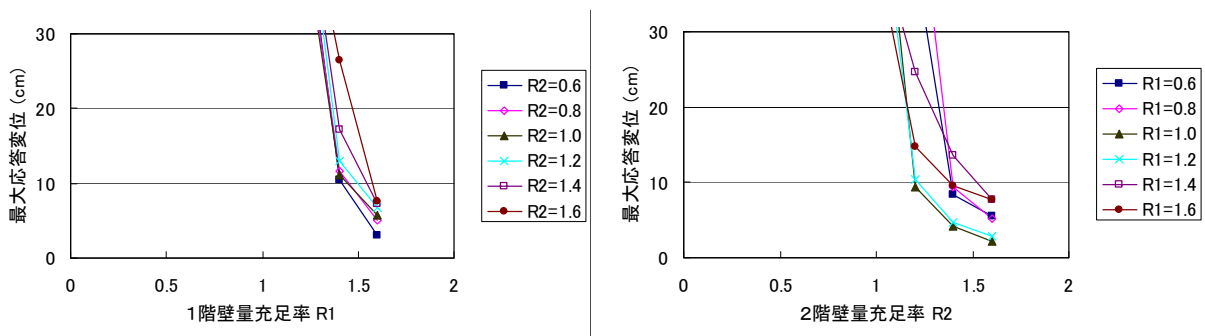


図-4.5.3 最大応答変位の計算結果-1 (総2階建て、入力地震動：K-net 柏崎)

(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)

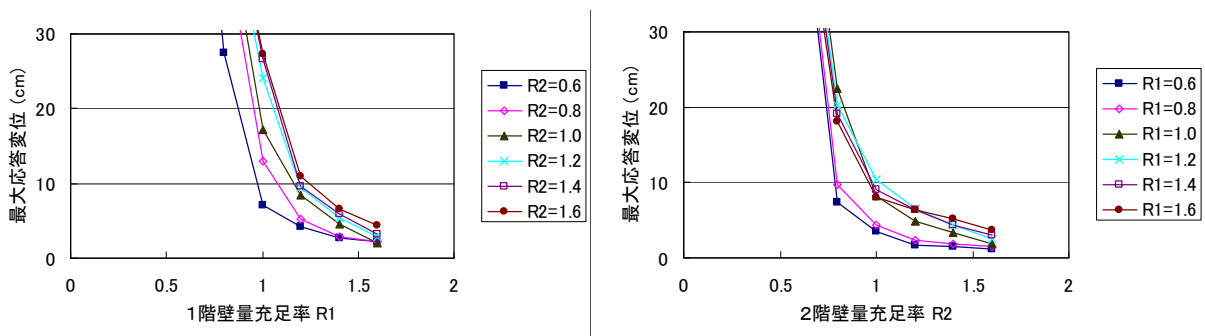
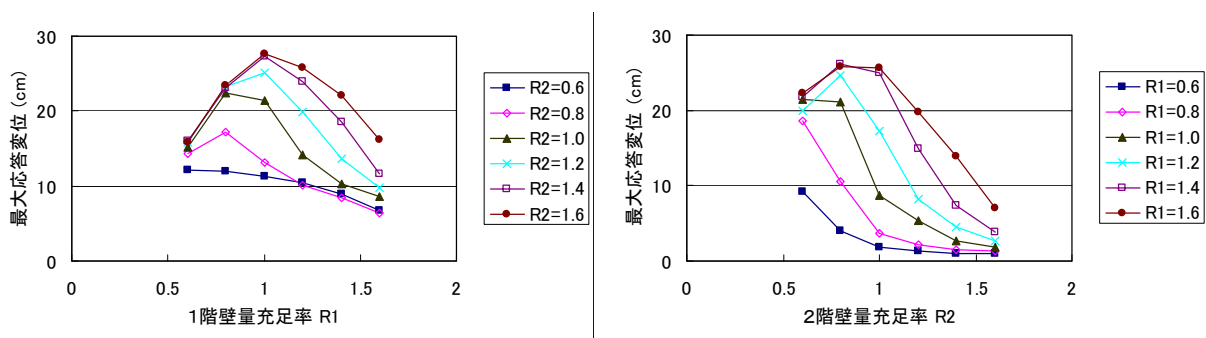


図-4.5.4 最大応答変位の計算結果-2 (総2階建て、入力地震動：刈羽村割町新田)

(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)

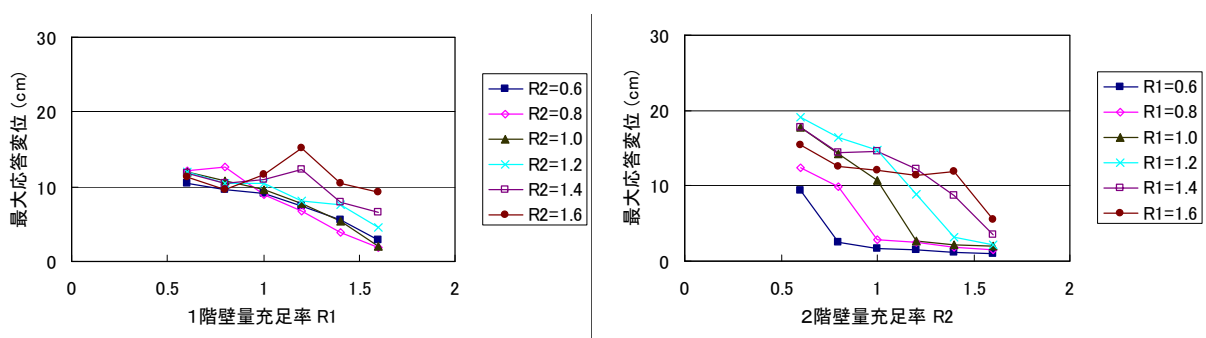
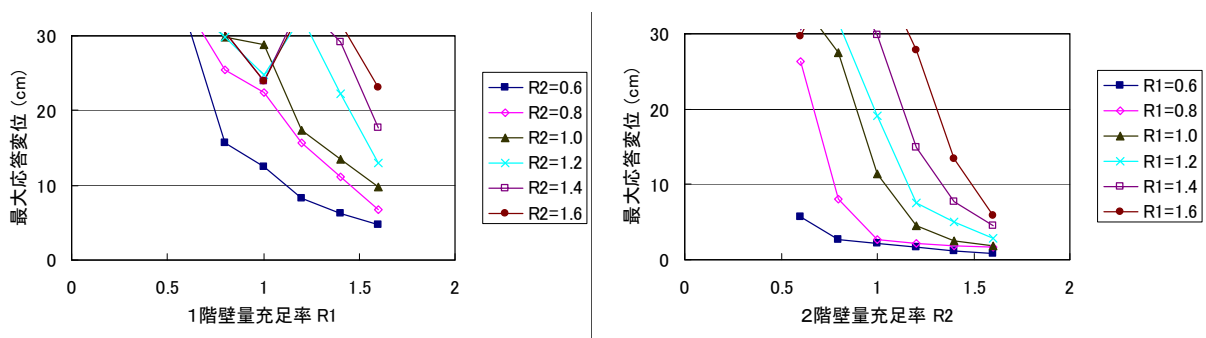


図-4.5.5 最大応答変位の計算結果-3 (総2階建て、入力地震動: 西山町池浦)

(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)

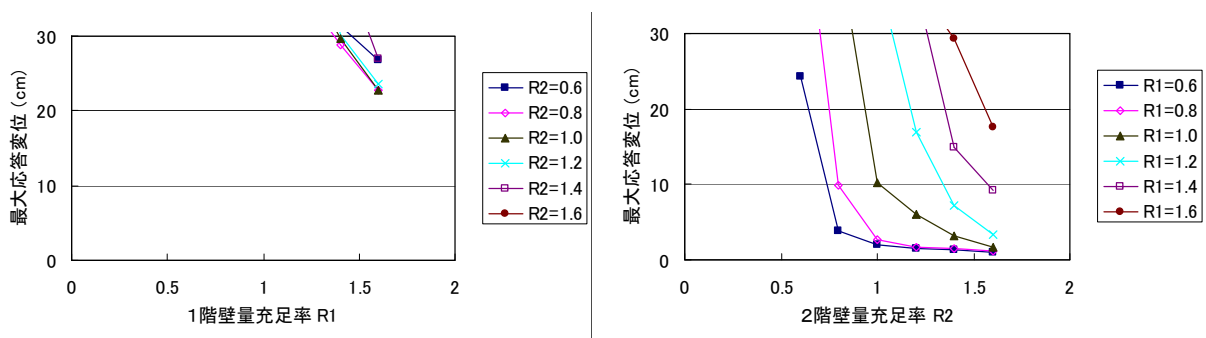
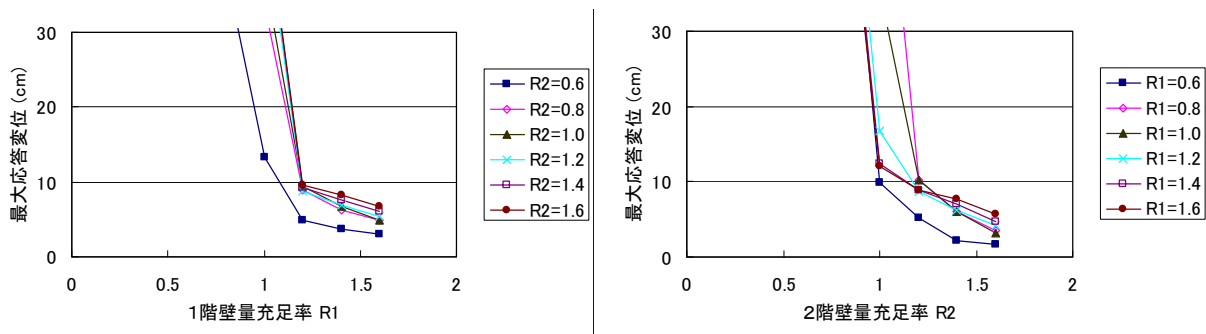


図-4.5.6 最大応答変位の計算結果-4 (総2階建て、入力地震動: 1号機地震観測小屋)

(1) K-net 柏崎NS (左 : 1階、右 : 2階)



(2) K-net 柏崎EW (左 : 1階、右 : 2階)

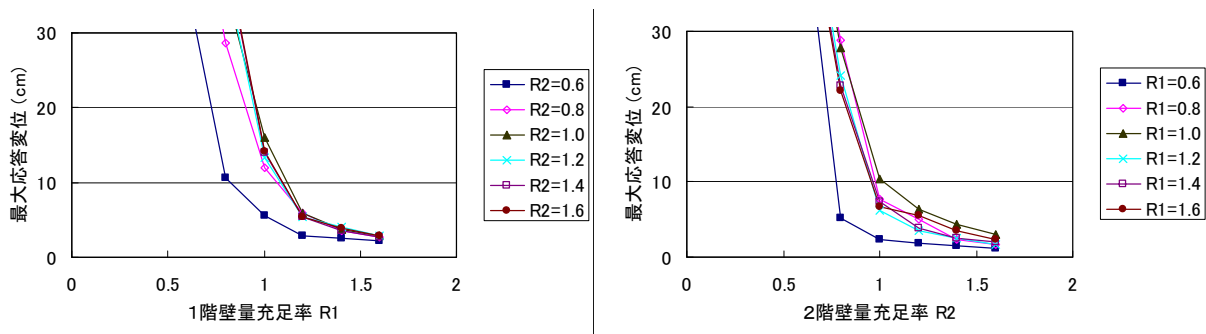
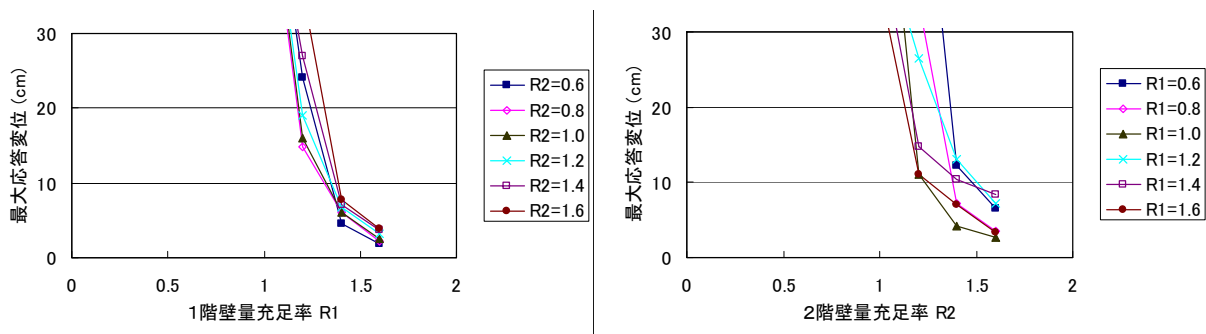


図-4.5.7 最大応答変位の計算結果-5 (部分2階建て、入力地震動 : K-net 柏崎)

(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)

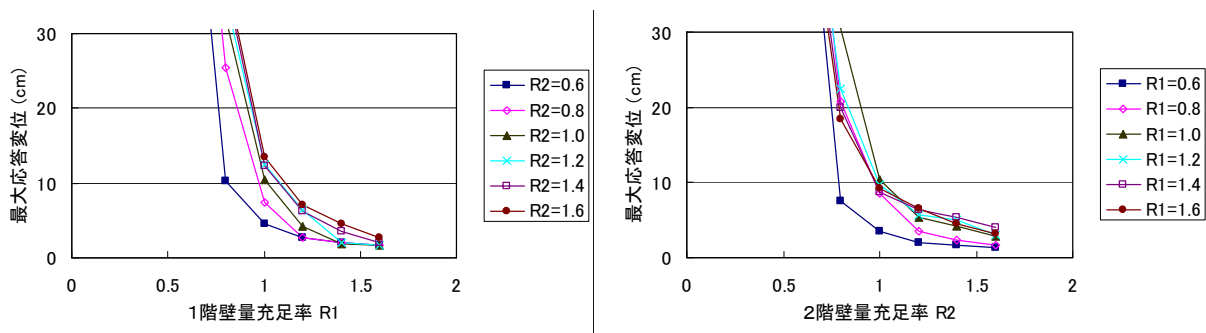
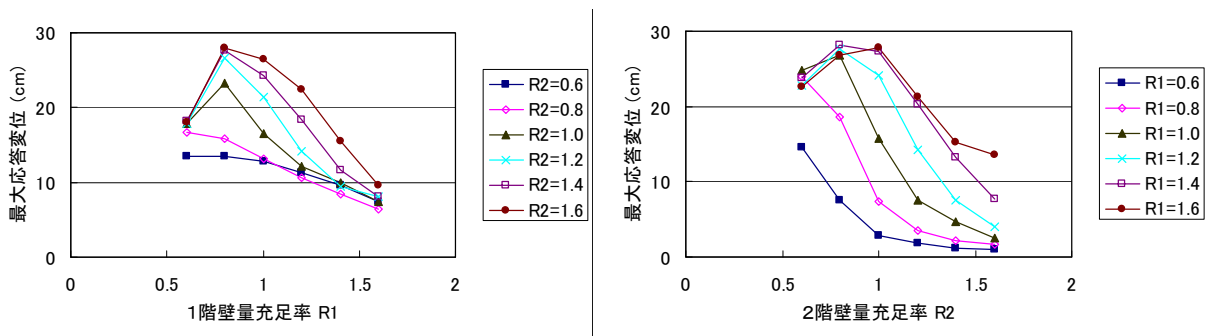


図-4.5.8 最大応答変位の計算結果-6 (部分2階建て、入力地震動 : 刈羽村割町新田)

(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)

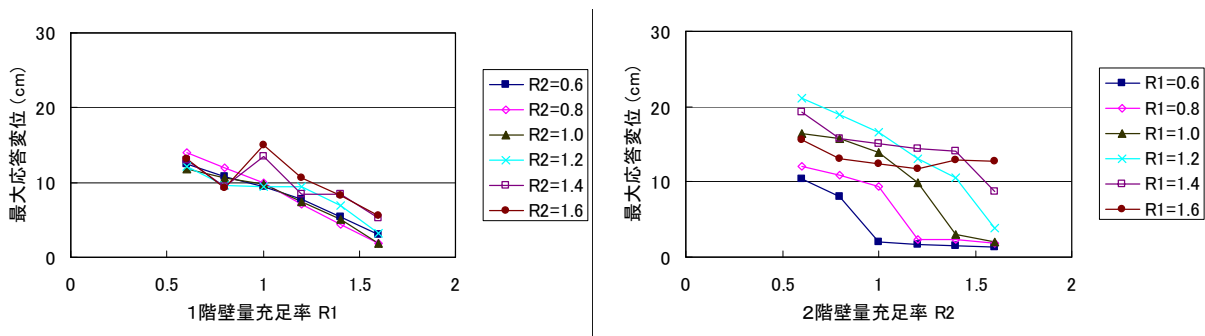
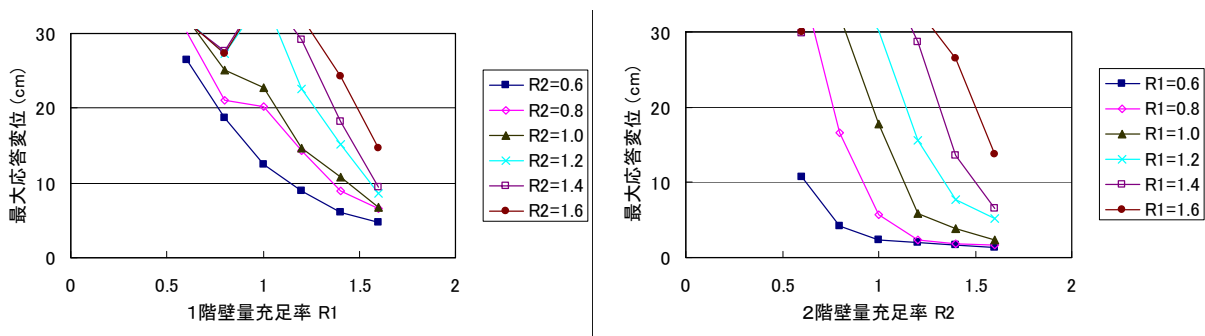


図-4.5.9 最大応答変位の計算結果-7 (部分2階建て、入力地震動: 西山町池浦)

(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)

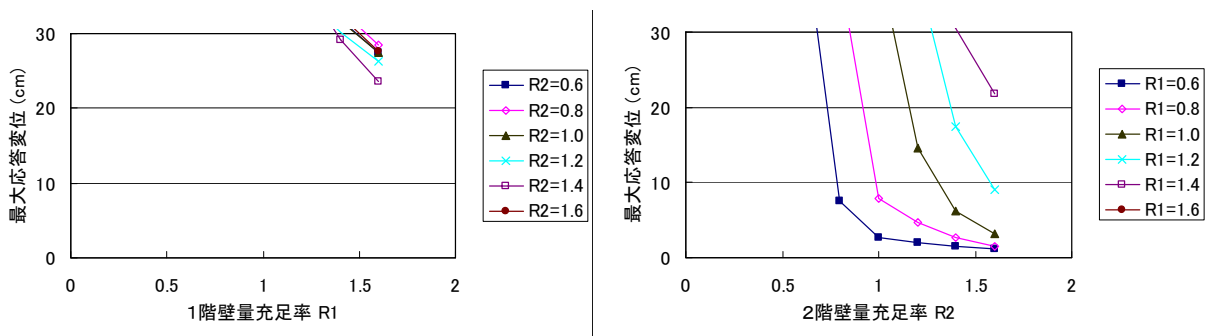


図-4.5.10 最大応答変位の計算結果-8 (部分2階建て、入力地震動: 1号機地震観測小屋)

図-4.5.3～10 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。

4.5.4 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。

4.6 まとめ

平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による建築物の被害の概要を調査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関係を比べると、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。