

## 5.4 木造建築物

### 5.4.1 調査の目的と概要

平成 23 年（2011 年）3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、木造建築物にも多数の被害が発生した。国土技術政策総合研究所と建築研究所は、地震発生後 3 日後にあたる 3 月 14 日から木造建築物の被害概況を把握する目的で、第一次調査を行った。今回の地震による震災は広範囲にわたったため、この第一次調査は複数回にわたって実施したが、被害の全容を把握し切れていない。

調査した範囲（宮城県栗原市、大崎市、遠田郡美里町、石巻市、仙台市、福島県須賀川市、栃木県那須郡那須町、矢板市、茨城県常陸太田市、那珂市、水戸市、常総市、龍ヶ崎市など）で木造建築物の地震動による被害をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 木造建築物の地震動による被害は宮城県大崎市、福島県須賀川市、栃木県那須郡那須町、茨城県常陸太田市、那珂市などで多く確認された。
- 2) 宮城県栗原市では、震度 7 を記録したにもかかわらず、木造建築物の被害は過去に震度 7 を記録した地震と比べて大きくない。
- 3) 造成宅地の地盤変状による被害は、宮城県仙台市、栃木県矢板市などで大きく、被害棟数もそれなりに多い。
- 4) 屋根瓦の被害などは、地震が頻繁に発生する宮城県よりも、むしろ福島県、茨城県の方が多いという印象がある。
- 5) 低湿地や水田を埋め立てたなどの宅地では、地盤変状が発生しなくても地震動が増幅した可能性があることが、宮城県栗原市、大崎市、栃木県那須町、茨城県常陸太田市、那珂市、常総市、龍ヶ崎市などで看取された。
- 6) 宮城県大崎市では、2 階の残留変形が 1 階よりも大きい希有な被害例が複数確認された。

## 5.4.2 抽出的な詳細調査

木造建築物の地震被害の原因を検討するために、建物の耐震要素や仕様等の必要な情報を収集する必要がある。本項では、過去に起こった大規模な地震による被害調査<sup>5.4.2-1)-5.4.2-3)</sup>と同様に実施した、東北地方太平洋沖地震の木造建築物の詳細調査（第二次調査）結果について報告する。第一次調査として、宮城県北部、福島県南部、栃木県北部、茨城県北部・南部で実施した概要調査（第一次調査）結果と、他機関による調査結果から、大きな地震動被害（倒壊、もしくは残留変形が視認できる程度）が生じているのは、宮城県大崎市付近、栃木県那須町付近、茨城県那珂市付近の3地域であることが分かった。よって、地震動による被害の大きかった建物の構造仕様と、被害状況を明らかにし、被害の原因を分析することを目的として、これら3地域において詳細調査を実施した。

### 5.4.2.1 調査建物の概要

詳細調査を行った建物の概要を表5.4.2-1に示した。表に示した記号に基づき、個別の建物の概要について以下に記す。情報は現地での調査と、建物所有者のヒアリングの結果に基づいてまとめた。

表 5.4.2-1 詳細調査を行った建物の概要

調査地	記号	調査日	所在地	築年数	階数	残留変形の最大値	応急危険度判定	被害概況
茨城県 那珂市	N-1	4月21日	那珂市門部	50	2	南1/33	要注意	南面にほとんど壁がない。土壁剥落。
	N-2	4月21日	那珂市門部	35	1	東1/59	要注意	屋根棟瓦落下、30~40cm盛土あり。
	N-3	4月21日	那珂市門部	60	1	北1/40	—	増築部と既存部のジョイント部を境として両側に開くよう
茨城県 常陸太田市	H-1	4月21日	常陸太田市松栄町	52	1	西1/160	危険	台所部と居室部が分離し、境界の柱が曲げ変形
	H-2	4月21日	常陸太田市松栄町	36	1	—	危険	外壁ラスボード剥落。建て起こし済み
	H-3	4月21日	常陸太田市松栄町	14	2	2F-1/300	—	外壁モルタル剥落、内装石こつボード割れ
	H-4	4月21日	常陸太田市松栄町	100	1	1/3.5	—	ほとんどの柱が垂れ壁下端、又は足固め部で折損、石場立て
	H-5	4月21日	常陸太田市松栄町	23	2	1/60	—	時計回りにねじれるように傾斜。補修済み
宮城県 大崎市	O-1	4月27日	大崎市古川中里	55	2	南1/21	—	40年前に一部増築、土壁、内装合板剥落、筋かい一部座屈破断
	O-2	4月27日	大崎市古川中里	47	2	2F-1/100	危険	2Fのオーバーハングをブレース付き鉄骨柱で支持、4/7余震で被害拡大。
	O-3	4月27日	大崎市古川中里	35	2	2F西1/167	—	1F店舗、6軒長屋の北端。一部撤去済み。
	O-4	4月27日	大崎市古川荒川小金町	約80	2	西1/83	—	37年前に増築。当初部分の真壁のボードの亀裂・落下。東側増築部との衝突。
	O-5	4月28日	大崎市古川七日町	74	2	南1/67	—	店舗併用住宅。南が小規模河川に隣接。
	O-6	4月28日	大崎市古川七日町	200超	2	—	—	総2階立ての土蔵。2階に筋かいあり。
	O-7	4月28日	大崎市古川七日町	約200	2	東1/19	—	3棟が連続・接続するうち、南東の角の建物が大変形
宮城県 石巻市	I-1	4月29日	石巻市田道町	30超	2	東1/67	—	店舗併用住宅。建具損壊、隅柱に生物劣化在り。津波浸水約70cm
	I-2	4月29日	石巻市清水町	46	2	西1/333	—	店舗併用住宅。内装プリント合板座屈、店舗部分の隅柱に腐朽あり。
	I-3	4月29日	石巻市清水町	25~26	2	2F南1/125	—	水害対策のため60cm盛土、開口隅の外壁モルタル亀裂、内装合板脱落、津波浸

### (1) N-1

外観から、本震と余震の振動的被害による躯体の残留変形が大きいと思われた住宅である。部分的に2階建てである伝統的な軸組構法の住宅で築50年経過している。基礎は大谷石で、その上に土台と軸組が生まれ、金物は殆ど見受けられず、土塗りの壁が主である。外壁開口部は数多く、間仕切り壁が少ないため、壁量が大きく不足していると思われる。各階共に、土塗り壁の剥落が散見し、1階は $3/1000\text{rad}$ 、2階で $28/1000\text{rad}$ 程度の層間変形が残留していた。また、2階の外壁材と屋根瓦の一部剥落が見受けられた。



写真 5. 4. 2-1 外観と仮筋かい補強



写真 5. 4. 2-2 土塗り壁等の剥落

### (2) N-2

久慈川に近い敷地(周辺は畑)に位置する在来軸組構法による築36年の平屋住宅(農家型)である。応急危険度の判定結果は「要注意」であった。新築時に30~40cm程度の盛土をしている。基礎のコンクリート製布基礎で、鉄筋の有無は不明。柱はずぎの正角材(105角)で、接合部の金物の使用は確認できなかった。外壁はサイディングとモルタルの併用で、内壁はラスボードに土塗り仕上げであった。地盤に顕著な被害を見られなかった。主な被害状況は屋根瓦の棟部の落下、布基礎の換気口周りの切れ、外壁のモルタルの亀裂であり、内部では家具の転倒、玄関のタイル床の亀裂、玄関脇の土の上塗り部分が脱落、和室建具の障子紙が切れ等の被害がみられた。柱の残留変形は、東側に $1/59\text{rad}$ 程度、北側に $1/360\text{rad}$ 程度であった。



写真 5. 4. 2-3 建物外観

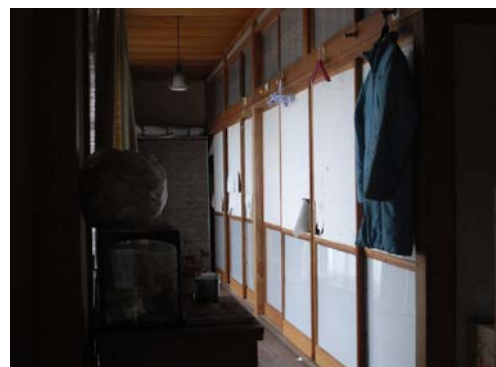


写真 5. 4. 2-4 建物内部の状況(障子紙の破損)

### (3) N-3

築 60 年の平屋の軸組構法木造住宅。西側を 30 年前に増築。増築部と既存部のジョイント部を境として、両側に開くように傾斜していた。ジョイント部では地震後雨漏りが起きるようになったとのこと。既存部は、地震直後は戸が開かないくらい傾斜していたが、ジャッキによって、傾斜を補正したとのこと。既存部は北に約 1/40、東に約 1/120 傾斜。既存部に基礎は無く土台が直接地面に置かれ、セメント瓦による寄棟屋根であった。



写真 5. 4. 2-5 建物外観－正面



写真 5. 4. 2-6 水平方向に移動した柱脚

### (4) H-1

在来軸組構法による昭和 34 年築（築 52 年）の平屋住宅で、道路越しの南側が田園地帯となっていた。新築時に 1m 程度の盛土をし、昭和 45 年頃に建物の向きを半時計回りに 90 度回転させる引き屋を実施した。昭和 49 年頃に西側に増築を行った。応急危険度の判定結果は「危険」であった。基礎は束石で、土台を地面近くに配置していた。屋根は瓦葺き、外壁は漆喰塗り及び下見板張りで、柱は 105 角の正角材であった。内壁は竹小舞に土塗り壁で、筋かいの有無は不明であったが、増築部分には筋かいが確認された。地盤に大きな被害は見られず、玄関部の土台が腐朽して隅柱が土台から分離した結果、玄関部が大きく傾斜していた。内壁は床の間側面の塗り土が落下し、台所部と居室部が分離し、境界にある柱が曲げ変形していた。柱の残留変形は西に 1/160rad.、北に 1/1600rad. であった。



写真 5. 4. 2-7 玄関部の分離、傾斜



写真 5. 4. 2-8 柱の曲げ変形（台所と居室の境）

(5) H-2

久慈川に隣接する敷地に位置する在来軸組構法による昭和50年築（築36年）の平屋住宅（農家）で、新築時に盛土している。調査時は立て起こし終了後であった。応急危険度の判定結果は「危険」であった。基礎は布基礎で、屋根は瓦葺き、外壁はラスボード下地に土および漆喰の上塗りであった。南側外周部はほとんどが開口部で壁が少なく、耐震性能上、有効に施工された筋かいの確認できなかった。柱の断面は115×120で、内外壁の脱落が多かった。



写真 5.4.2-9 建物外観



写真 5.4.2-10 脱落した外壁の仕上げと破断した筋かい

(6) H-3

2階建の在来軸組構法による築14年の木造住宅で、1階平面の半分を倉庫として利用している。1階外壁のモルタル壁が脱落し、室内のせっこうボードの割れが確認された。地盤は2mほど地面を掘ると水が出てくるとのこと。建物の傾斜は1階で1/500rad.、2階で1/300rad.程度であった。



写真 5.4.2-11 建物外観、写真右側ガレージが倉庫



写真 5.4.2-12 モルタル外壁の脱落



写真 5. 4. 2-13 内壁クロスの切れ



写真 5. 4. 2-14 内壁漆喰ボードの脱落

(7) H-4

築 100 年の農家型の伝統的木造住宅で、典型的な田の字型の平面プランであった。耐震性能上有効な全面壁はほとんど無く、土塗りの垂れ壁と、4 段貫による板壁が確認された。最大で約 1/3.5 程度傾斜しており、柱は垂れ壁の下端部、足固め部でほとんどが折損してした。基礎は無く、柱脚は石場立て、土間部分では、地面に直接置かれた土台が確認された。屋根は茅葺であるが、鉄板による被覆を行っていた。



写真 5. 4. 2-15 調査建物の外観



写真 5. 4. 2-16 内部の様子



写真 5. 4. 2-17 足固めの高さでの柱の折損



写真 5. 4. 2-18 内部の柱の折損（垂れ壁下端）

(8) H-5

築 23 年の 2 階建ての軸組構法木造住宅で、地震により外壁の亀裂、筋かいの破損が部分的に確認されたが、調査時点（4 月 21 日）で既に補修済みであった。上部から見て、時計回りにねじれるように建物が傾いており、傾斜は 1/60 であった。敷地に液状化と見られる墳砂の後が確認された。外壁が剥落した箇所では、シロアリによる食害と、腐朽による著しい生物劣化が確認され、建物所有者が、柱の一部を切断し、根継ぎによる補修を行ったとのことであった。



写真 5. 4. 2-19 外観－正面



写真 5. 4. 2-20 外観－北東角／外壁補修箇所

(9) 0-1

外観から、躯体の残留変形が最も大きいと思われた住宅で、築 55 年のほぼ総 2 階建ての軸組構法であった。建物の東側約 1/3 の部分は当初牛小屋で、約 40 年前に改築し、2 階は約 40 年前に増築していた。既存部分は伝統構法であるが、2 階と改築部分は差鴨居の断面寸法がさほど大きくないので、在来軸組構法が過半であることが確認された。各部の最大傾斜は、1 階は南へ 48/1000rad.、東へ 18/100 rad.、2 階建は南へ 34/1000 rad.、東へ 10/1000 rad. 程度であった。土塗り壁が内部にあり、破壊された壁の一部に筋かいが確認されたが、一部は座屈破断していた。土塗り壁のほとんどは、木製の胴縁を介してせっこうラスボード砂壁仕上げで改修されていた。増築部分は約 3mm 厚のプリント合板で改修されている部分があった。基礎は東立て方式で、柱との接合には金物等が確認できなかった。屋根は鉄板葺きであった。



写真 5. 4. 2-21 外観



写真 5. 4. 2-22 内観と座屈した筋かい

(10) 0-2

築47年の2階建て木造軸組構法住宅で、応急危険度判定は「危険」であった。建物は、構造的につながっているが、大きく分けて2つの部分からなり、道路に面した部分が2階建て、奥の部分は平屋となっていた。道路に面した部分は1Fにシャッター付きの倉庫があり、鉄骨の柱5本に支持された2階部分がオーバーハングとなっていた。鉄骨には鋼製ブレースがあり、ブレースの接合部直下の基礎に亀裂が確認された。3月11日の本震の際に、内壁（ラスボード）の剥落、亀裂等があり、一部補修を行ったが、4月7日の余震の際に、同じ箇所と、2階の内壁に被害を受けたとのことであった。建物前面の門形に架構された木造部分の隅角部で、外壁の亀裂が確認された。また門形の脚部において、外壁が剥落した部分で生物劣化が確認された。傾斜は2階部分が最大で、東西方向に約1/100rad.であった。



写真 5. 4. 2-23 建物の外観



写真 5. 4. 2-24 門型架構 脚部の生物劣化



写真 5. 4. 2-25 内壁ラスボードの亀裂



写真 5. 4. 2-26 基礎の亀裂

(11) 0-3

店舗併用の木造軸組構法2階建て住宅で、2階建ての木造店舗部分は6軒長屋の北端に位置している。店舗部分は、調査時には撤去済みであった。住宅部分は増築部が築35年で、南側は、隣家と接していた。基礎はコンクリート布基礎、屋根は金属板、外装はサイディング、内装は化粧板の大壁と、ラスボードに砂壁塗りの真壁であった。33×100mmの断面の筋かいが確認され、端部の接合は釘1本止めであった。地震による被害は、南側隣家との衝突による内壁のずれ、脱落であった。1階の残留変形は、西へ8/1500rad.、南へ2/1500rad.。2階の残留変形は、西へ6/1000rad.、北へ3/1000rad.、であった。





写真 5. 4. 2-27 建物外観



写真 5. 4. 2-28 内部の様子（内壁の損傷）

(12) 0-4

当初は部分2階建ての住宅で、建物所有者の祖父（明治生まれ）が購入したとのこと。外壁は金属サイディング、内壁は小舞下地に土塗り壁で、その上にボード張りであった。37年前に東側に2階建てを増築し、増築部の外壁はサイディングであった。31年前に、2階部分を1階部分とは別に布基礎、土台、柱を設けて増築した。2回目の増築部では土台に腐朽が確認され、外壁はモルタル塗り、内壁は化粧板張りであった。被害は既存部分の真壁のボードの亀裂・落下、東側増築部との衝突であった。4月7日の余震で顕著になった。増築部のモルタルは、亀裂・一部脱落していた。1階の残留変形は、南へ3/1000rad.、西へ12/1000 rad.、2階の残留変形は、北へ4/1000 rad.、東へ5/1000 rad.であった。



写真 5. 4. 2-29 建物外観（増築部のモルタルの亀裂）



写真 5. 4. 2-30 内部の様子（既存部分、傾斜）

(13) 0-5

南側に道路を挟んで堀に接する敷地に位置する、一部2階建て築73年の在来軸組構法による店舗併用住宅で、2階建ての店舗部分は、38年前に改築し、南側を一部増築していた。既存部分は、東立てで、屋根は入母屋の瓦葺き、壁は小舞下地の土塗り壁の真壁仕様であった。増築部分は、布基礎の木ずり下地のモルタル塗り外壁で、2階には筋かいが確認された、内壁は木片セメント板であった。1階部分で、土塗り壁、ボード、モルタル外壁が落下しており、1階の残留変形は、東に5/1000rad.、南に15/1000 rad.、2階の残留変形は、西に5/1000 rad.、南に5/1000 rad.であった。



写真 5. 4. 2-31 外観（モルタル外壁の落下）



写真 5. 4. 2-32 内部の様子（内装材の落下）

(14) 0-6

大崎市古川七日町の土蔵群は、酒造店の酒蔵として1790年代に建築され、大小10棟の土蔵と母屋3棟がL字型に連続する伝統的木造建築で構成されている。これらは、2007年に改装され、その時点における意匠図の複写を所有者から入手した。蔵と母屋の配置を図5.4.2-1に示した。蔵8と命名されている土蔵は、ほぼ総2階建てで、築200年以上経っているとされるが、詳細は不明であった。1階をお土産等の店舗と飲食店、2階をこの土蔵群の管理事務所とホールとして使用していた。基本的には土塗り壁が主体で、2階には断面が100×45mmの筋かいが多数確認された。1階部分には筋かいは確認されなかった。建物脚部は、高さ1m程度までは野蒜石と思われる石積みであった。各部材の断面寸法と仕様を表5.4.2-2に示した。隣接する蔵10は屋根が完全に崩落したのに対し、蔵8は土壁の一部が剥落する程度であった。

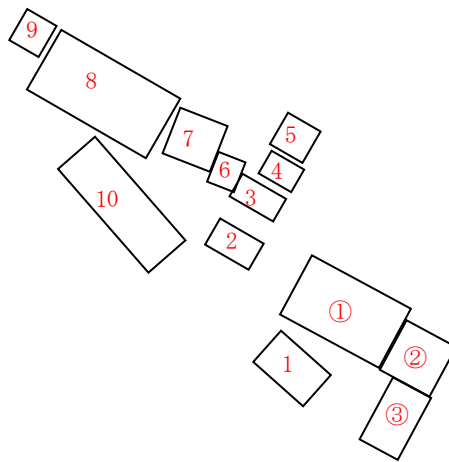


図 5. 4. 2-1 土蔵群における蔵、母屋の配置  
(数字：蔵番号，丸数字：母屋番号)

表 5. 4. 2-2 蔵 8 の各部材の断面寸法、仕様等

軒桁	360mm × 180mm
妻桁	180mm × 150mm
貫	150mm × 50mmの5段, @≒1465, 1150
筋かい	100mm × 45mmのビスまたは釘×2本, ボルト×1本留め
丸太柱	φ130mm~φ185mm
独立柱、添え柱	□100mm
土台	160mm × 160mm
方杖	105mm × 40mm
洋小屋トラス梁	h=180mm~220mm
2階床梁	570mm × 290mm
2階床根太	□120mm
2階床板	t=18mm
2階床下地板	t=125mm, w=180mm~270mm
土壁	t=120mm、小舞竹@100mm、小舞竹φ20mm
基礎	石の連続配置 1階独立柱は石場建て



写真 5. 4. 2-33 建物の外観



写真 5. 4. 2-34 2階の内観



写真 5. 4. 2-35 1階の内観



写真 5. 4. 2-36 1階土壁の亀裂と剥落

(15) 0-7

築 200 年程度とされているが、確実な記録が残っているのは大正時代の河川工事の記録写真とのことである。江戸時代の大名行列が前面道路を通るため、2 階から見下ろせないように 2 階は立って歩けないほど天井が低く作られ、軒の出は長かったところを、大正時代に 2 階を普通に使用できるように、土台上げ工事（2 階の床を下げ、天井を上げることを含む）が行われたとのことである。敷地の南東の角にあるのが母屋 3 で、1 階に飲食店（営業中）、2 階が座敷になっている。これに続いて北側にほぼ同じ大きさを母屋 2 があり、1 階にラーメン店（営業中）、2 階が母屋 3 の座敷に続く和室 1 間となっていた。母屋 2 から直交方向に母屋 1 が延びており、居酒屋（営業停止中）として使用されていた。母屋 1 は概ね平屋建てであるが、西端の一部は 1 階に厨房で、その上が中 2 階程度の高さの座敷となっていた。各部分の残留変形の最大値を表 5. 4. 2-3 にまとめた。母屋 1、2 の残留変形は小さく、母屋 2、3 は 2 階の方が残留変形は大きかった。母屋 1 は当初は続き間形式の間取りであったが、店舗として使用するにあたり、続き間や縁側を仕切る建具を廃して、軽量鉄骨入りの壁を豊富に設けていたことが、被害を小さくしたと考えられる。母屋 2 の 2 階には道路に面する部分に 115×55 mm の筋かいが 1 間に渡って配されていたが、柱の部分で分断されていたか、大きく切り欠かれていた。母屋 3 の 2 階は主として土塗り壁を水平抵抗要素としていると見受けられたが、K 型の筋かいが損壊した壁の一部で確認された。土塗り壁の多くはラスボード+砂壁仕上げで改修されていた。

表 5. 4. 2-3 母屋 1～3 の残留変形

各部名称	1 階の残留変形 (rad)		2 階の残留変形 (rad)	
母屋 1	東へ 2/1000	南へ 4/1000	—	—
母屋 2	なし	北へ 1/1000	東へ 8/1000	南へ 9/1000
母屋 3	西へ 10/1000	北へ 4/1000	東へ 53/1000	南へ 45/1000



写真 5. 4. 2-37 母屋 3 の南側外観



写真 5. 4. 2-38 母屋 2 の 2 階内観



写真 5. 4. 2-39 母屋 2 の 1 階内観



写真 5. 4. 2-40 母屋 2 の 2 階の内観



写真 5. 4. 2-41 母屋 1 の南側概観



写真 5. 4. 2-42 母屋 1 の内観

#### (16) I-1

石巻駅の西側、石巻別街道沿いに位置する築 30 年以上の木造軸組構法 2 階建て店舗併用住宅で、総 2 階建ての部分とトイレ・浴室部分の下屋部分から構成されている。築 40 年以上と推測される建物の屋根は金属板の切妻で、外壁は金属製サイディング、内壁は店舗部分がプリント合板張り、住居部分がラスボードに砂壁塗りであった。道路に面した 1 階の壁（北側壁）は全面開口で、筋かいの有無は確認できなかった。基礎は高さ約 200mm の布基礎で、地震により建物が傾斜していた。調査時の建物の 1 階の傾斜は北に  $5/1000\text{rad}$ 、東に  $15/1000\text{rad}$  で、1 階東側店舗北東の隅柱に蟻害・腐朽が確認された。店舗部の道路側のガラスが割れ、サッシが変形していた。東側に隣接する建物は、増築した作業場（建具店）部分が倒壊し、元からある住宅部分（築 30 年以上）が残っていた。この地域では地震の後に水位が 70cm 程度までに徐々に上昇したが、海岸から遠いために津波の力による被害は発生していないとのことであった。両建築物の被害は、地震の揺れ（振動）によるものと考えられる。



写真 5. 4. 2-43 建物の外観 (1 階傾斜)



写真 5. 4. 2-44 内観 (1 階店舗部分の傾斜)



写真 5. 4. 2-45 増築部分が倒壊した隣家



写真 5. 4. 2-46 柱の蟻害と腐朽

(17) I-2

石巻駅の西側、石巻別街道沿いに位置する木造軸組構法 2 階建て店舗併用住宅で、店舗部分は 1973 年、住居部分は 1965 年建築 (風呂・洗面は 1975 年頃改修)、居室部分の裏側に接続して 1 階鉄骨造、2 階木造の増築部分がある (1999 年増築)。住居部分の屋根は和瓦の切妻であるが、店舗部分の屋根は目視で確認できなかった。外壁は金属サイディング。店舗部分の内壁はプリント合板張りで、地震時に座屈破壊したとのことであるが修理済であった。店舗部分の隅柱を覆っていたタイルが一部脱落し、その部分に腐朽がみられた。店舗部分の道路側のガラスが割れ、胴差しがたわんだのでシャッターで突っかいをしているとのこと。住居部分の内壁は土壁で、居室 1 階の柱は北に  $2/1000\text{rad}$ 、西側に  $3/1000\text{rad}$  傾斜していた。住居部分では、土壁の損傷と浴室のタイルの脱落・亀裂があった。この住宅と両隣、向う 3 軒には浸水被害はなかったとのことであった。



写真 5. 4. 2-47 1 階の外観



写真 5. 4. 2-48 住居部分 1 階居間土壁の損傷



写真 5. 4. 2-49 住居部分 1 階居間土壁の損傷



写真 5. 4. 2-50 住居部分浴室のタイルの脱落・亀裂

### (18) I-3

石巻別街道から旗状の敷地に建つ軸組構法 2 階建て住宅で、地盤は田道町一帯より低いため、大雨時などに浸水被害が度重なるとのこと。このため当該敷地は 60cm 程度盛り土した上に建っていた。外壁はモルタル、内壁は階段室と廊下がプリント合板張りである他は、1 階がラスボード+砂壁仕上げであった。基礎高さは 45cm 程度であり、付近一帯は 150~160cm 程度の津波の浸水があったが、当該家屋は 60cm 程度の床上浸水であった。階段室、2 階のプリント合板の脱落や面外座屈、開口部の隅のモルタル外壁の亀裂、一部の基礎の亀裂、内装ラスボードと砂壁の隅角部の損傷などの被害が確認された。残留変形は 1 階が南へ  $2/1000\text{rad}$ 、西へ  $3/1000\text{rad}$  で、2 階が南へ  $8/1000\text{rad}$ 、西へ 0 であったが、2 階の階段室のプリント合板の脱落状況から、最大経験変位は少なくとも  $1/120\text{rad}$  を超えたと推測された。また、洗屈かどうか不明であるが、建物の北側の敷地には一部、穴があいていた。



写真 5. 4. 2-51 建物外観



写真 5. 4. 2-52 内部の様子



写真 5. 4. 2-53 外壁モルタルの亀裂



写真 5. 4. 2-54 基礎の亀裂



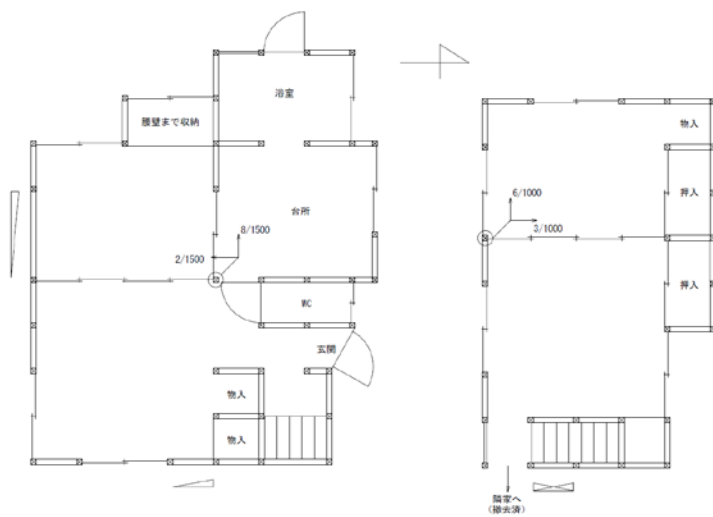
### 5.4.2.1 調査建物の平面図

調査を行った建物の平面図を図 5.4.2-2~5 に示した。全ての物件が 2 階建て、平屋の木造軸組構法による建築物で、築年数は 35 年以上経っているものがほとんどである。



図面 A

図面 B

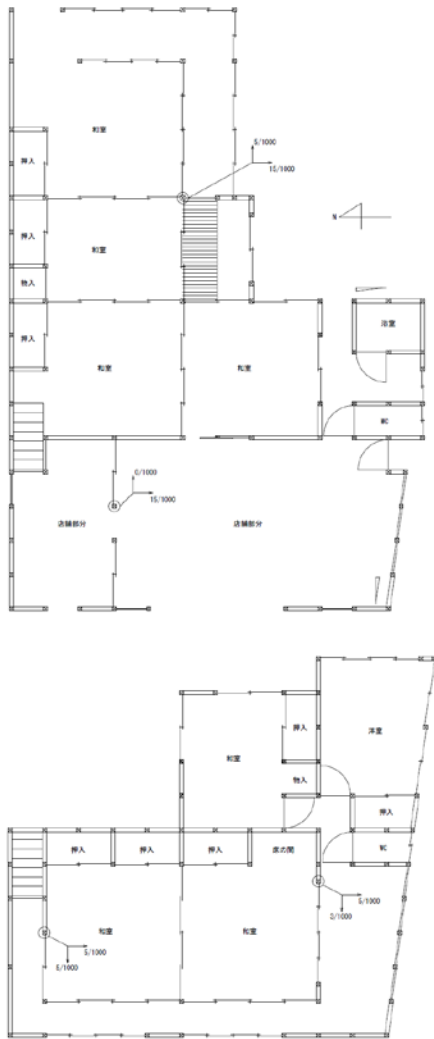


図面 C

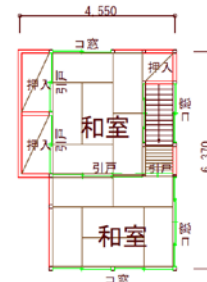


図面 D

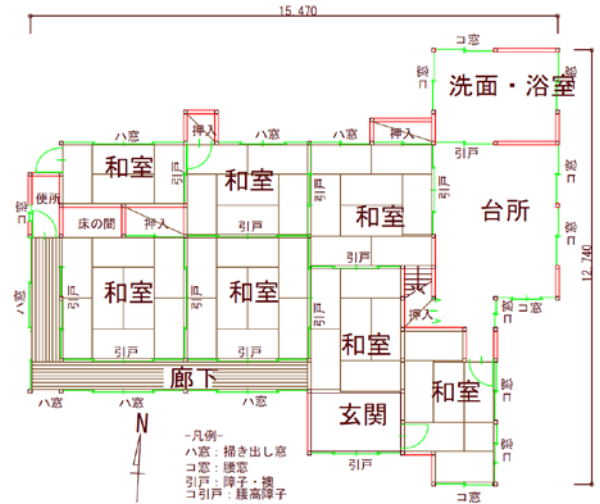
図 5.4.2-2 調査建物の平面図 (順不同)



図面 E

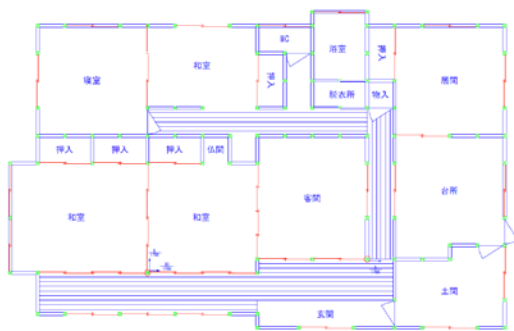


2階間取り図

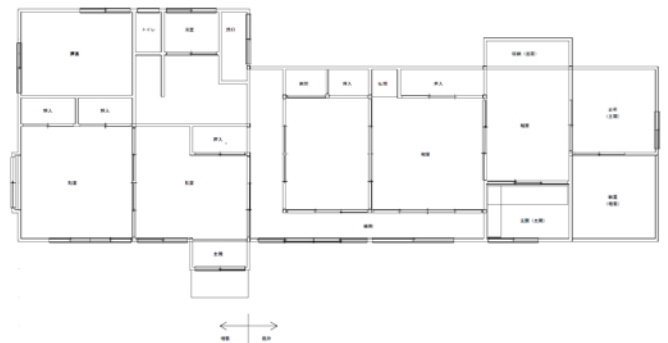


1階間取り図

図面 F

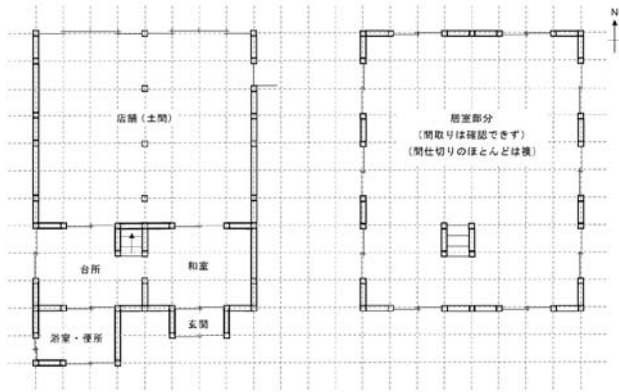


図面 G

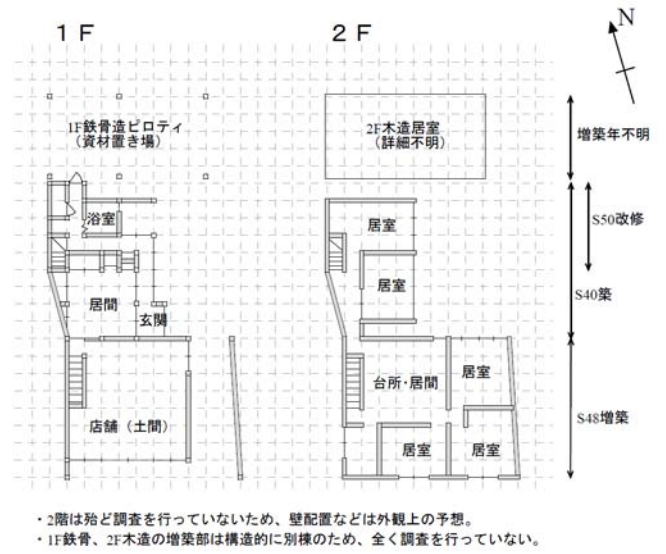


図面 H

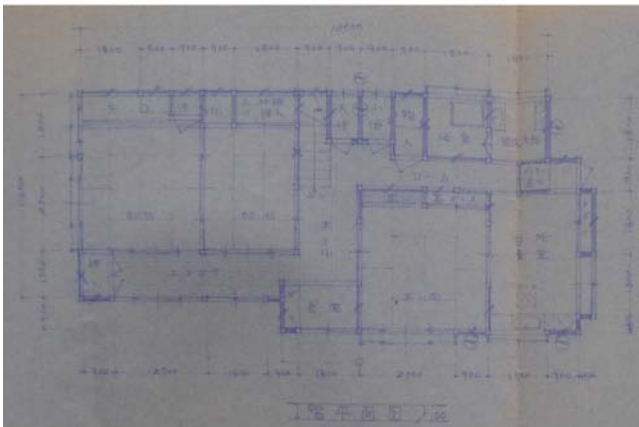
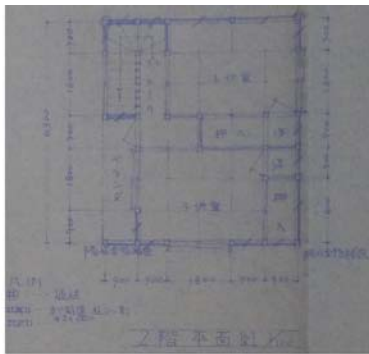
図 5.4.2-3 調査建物の平面図 (順不同)



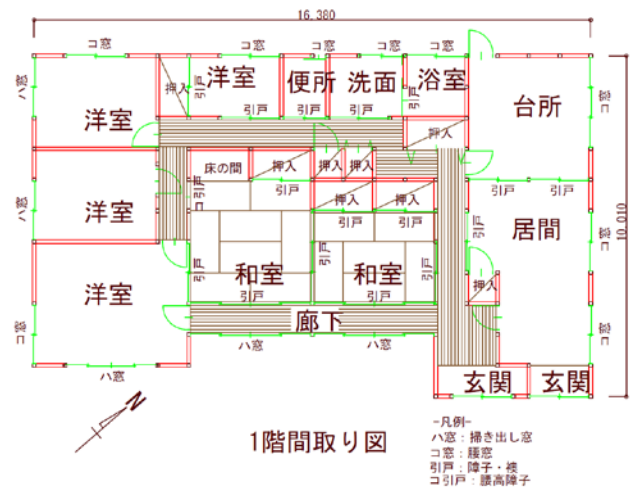
図面 I



図面 J



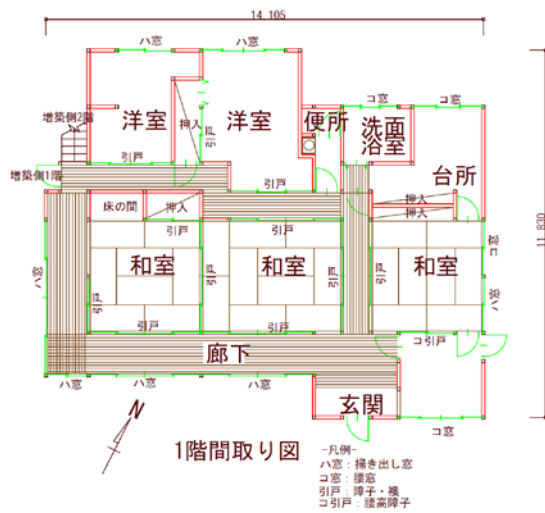
図面 K



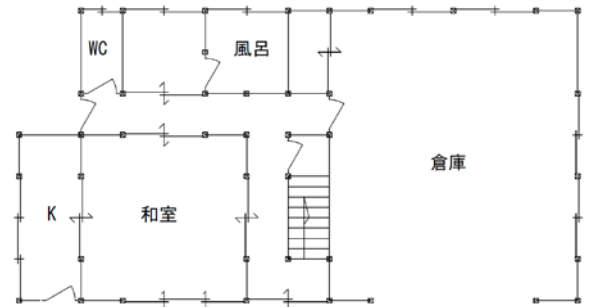
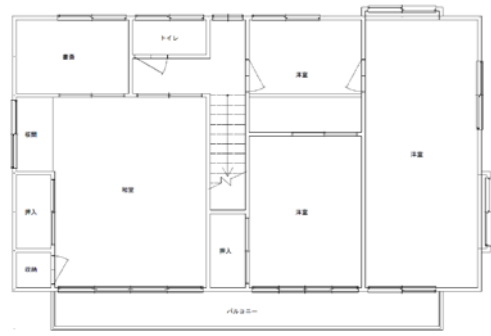
1階間取り図

図面 L

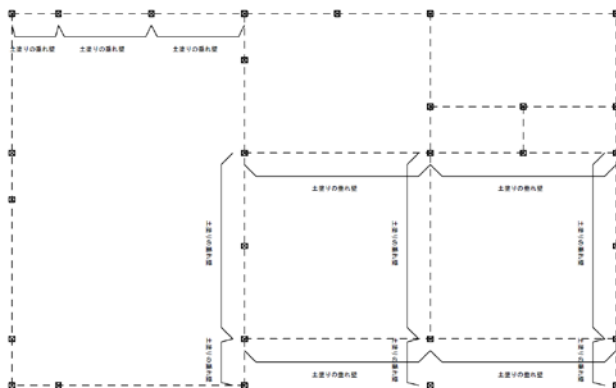
図 5.4.2-4 調査建物の平面図 (順不同)



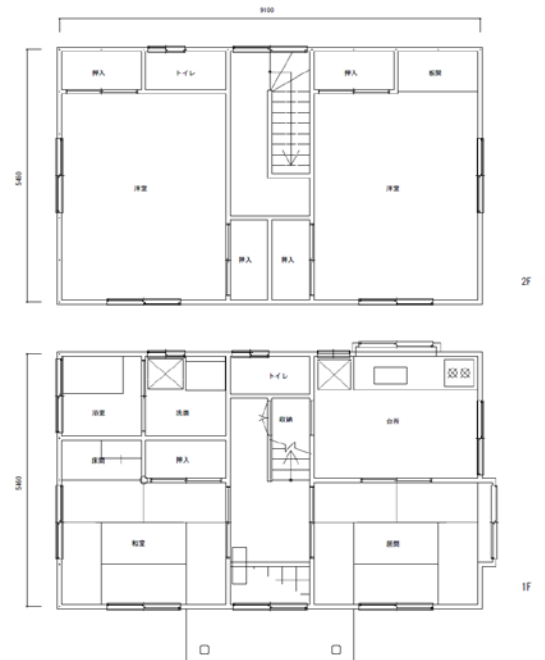
図面 M



図面 N



図面 O



図面 P

図 5.4.2-5 調査建物の平面図 (順不同)

## 参考文献

- 5. 4. 2-1) 国土技術政策総合研究所、建築研究所「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震建築物被害調査報告」建築研究資料 第 109 号、平成 19 年 12 月
- 5. 4. 2-2) 国土技術政策総合研究所、建築研究所「平成 19 年（2007 年）能登半島地震建築物被害調査報告」建築研究資料 第 107 号、平成 19 年 10 月
- 5. 4. 2-3) 国土技術政策総合研究所、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（速報）全体版」平成 16 年 12 月

### 5. 4. 3 耐力壁量と被害の関係

#### （1）被災地の家屋の特徴

今回の震災における被災地は広範にわたり、前節の詳細調査は大きく分けて茨城県北部と宮城県北部で行われた。このうち、宮城県北部は降雪地であり、概して金属板葺きの家屋が多いが、被害を受けて選択的に詳細調査の対象となった家屋は瓦屋根も多い。これを勘案すると、瓦葺きの比較的古い家屋が選択的に被害を受けていたと考えることもできる。また、詳細調査の時期が多少遅めであったために一部に修復済みであり、残留変形が測定できなかったもの（H-2）や、部分的に鉄骨造であった建物（0-2）は、本節における分析の対象外とした。

#### （2）詳細調査物件の壁量と偏心率

前節に示す詳細調査を実施した物件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 1.0 として、無開口壁量に加えた。これ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<sup>5.4.3-1)</sup>を準用して表 5. 4. 3-1 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の促進等に関する法律（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 5. 4. 3-2<sup>5.4.3-2)</sup>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 5. 4. 3-1 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 5. 4. 3-2 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<sup>5. 4. 3-2)</sup>

屋根・壁の種類	必要壁量		
	平屋建て	2階建ての1階	2階建ての2階
重い材料による場合	20 Z	46 $K_1 Z$	20 $K_2 Z$
軽い材料による場合	14.4 Z	36 $K_1 Z$	14 $K_2 Z$

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、宮城県、茨城県は 1.0)

詳細調査物件の各方向の基準法、品確法の壁量充足率を比較してそれぞれ図 5. 4. 3-1、図 5. 4. 3-2 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。

壁量充足率において、X 方向と Y 方向の相関性は低くない。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 16 年新潟県中越地震（以下、H16 中越地震）による被災建築物（図 5. 4. 3-3、5. 4. 3-4）<sup>5. 4. 3-3)</sup> と比較して大きな差はないが、2 階の充足率の平均値は若干低そうである。

また、品確法の壁量充足率算出に用いた壁量（基準法に従って、無開口壁の倍率を 1 として算出した壁量に、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<sup>5. 4. 3-1)</sup> を準用して表 5. 4. 3-1 に示す通りとした。）の配置に基づく偏心率を算出して図 5. 4. 3-5 に示す。また、H16 中越地震の詳細調査物件の偏心率を比較のための図 5. 4. 3-6 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、H16 中越地震の調査物件より低く、建築基準法で定める基準値 0.3 を超える物件はごくわずかである。

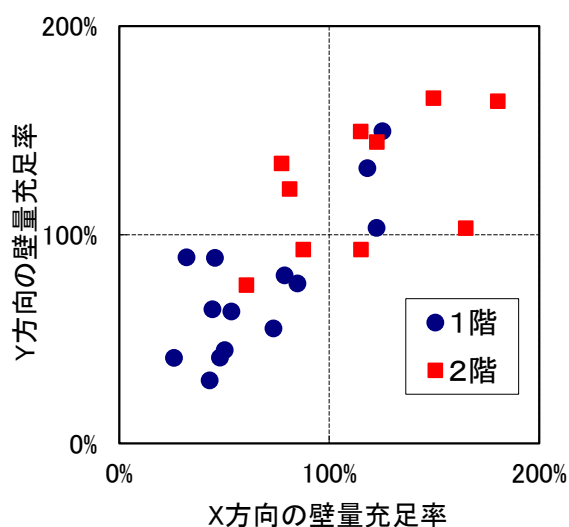


図 5. 4. 3-1 H23 東北地方太平洋沖地震詳細調査物件における基準法の壁量充足率

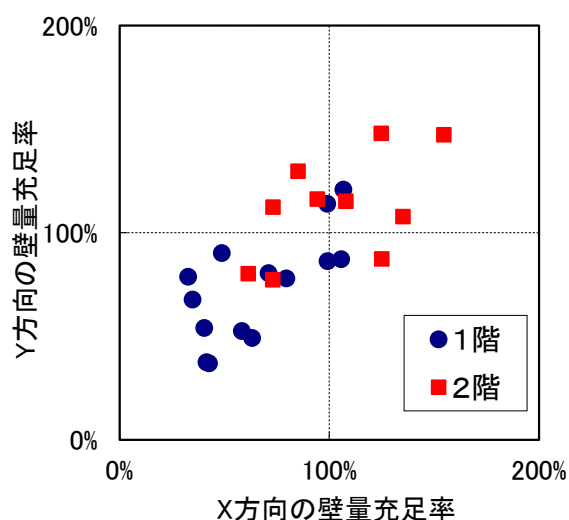


図 5. 4. 3-2 H23 東北地方太平洋沖地震詳細調査物件における品確法の壁量充足率

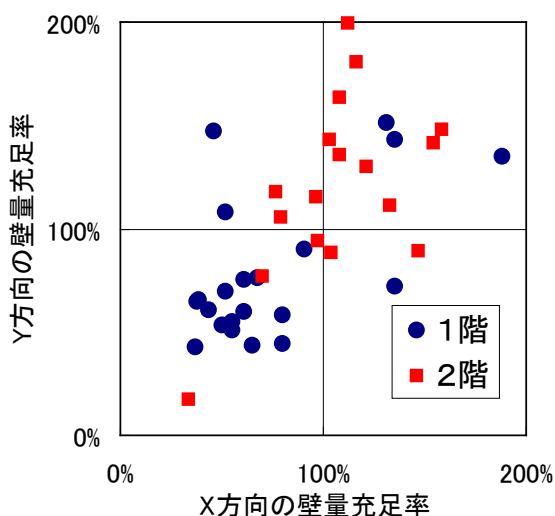


図 5. 4. 3-3 H16 中越地震詳細調査物件における基準法の壁量充足率<sup>5. 4. 3-3)</sup>

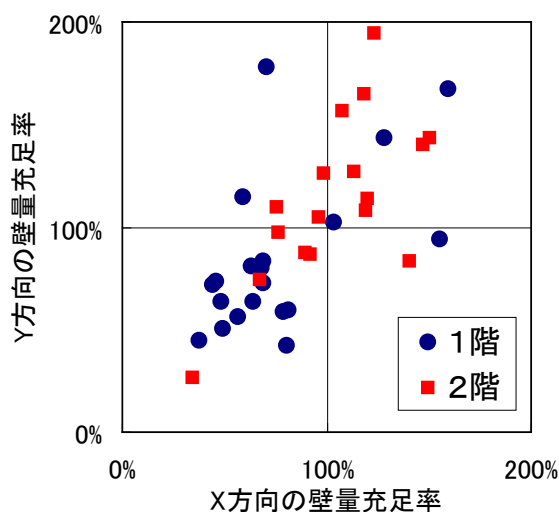


図 5. 4. 3-4 H16 中越地震詳細調査物件における品確法の壁量充足率<sup>5. 4. 3-3)</sup>

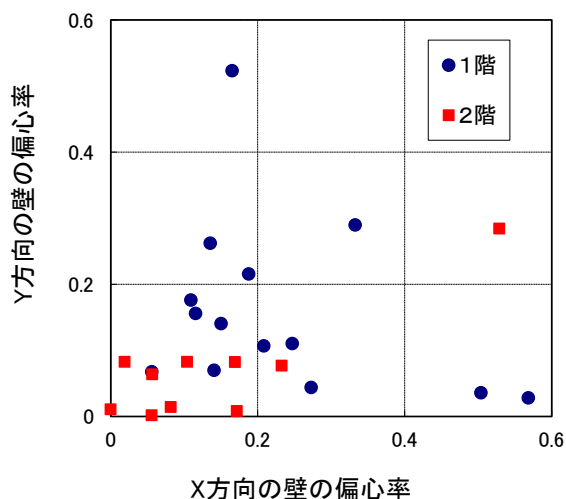


図 5. 4. 3-5 H23 東北地方太平洋沖地震詳細調査物件の偏心率

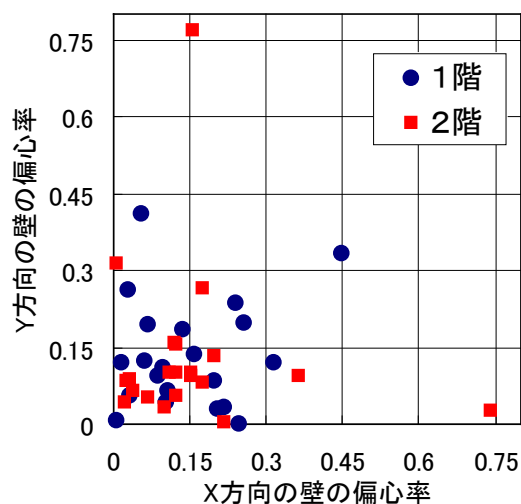
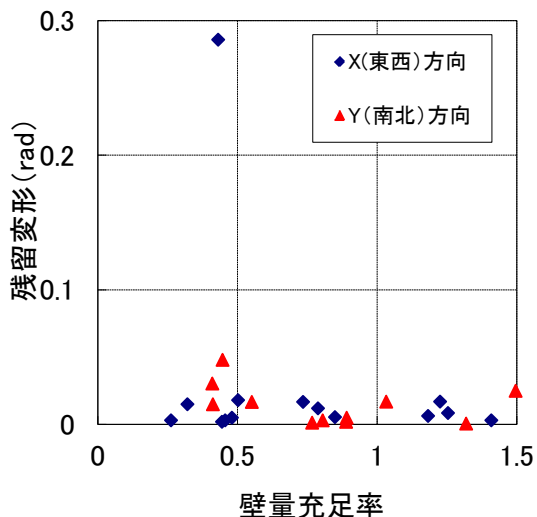


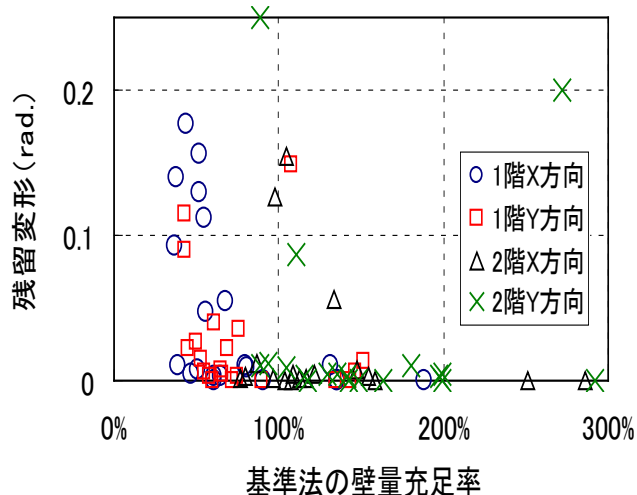
図 5. 4. 3-6 H16 中越地震詳細調査物件の偏心率<sup>5. 4. 3-3)</sup>

### (3) 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 5. 4. 3-7, 図 5. 4. 3-8 に示す。また、比較のために H16 中越地震の詳細調査物件に対する壁量充足率と残留変形の関係も付記した。いずれについても、両者の間に明確な相関関係があるとは言いがたいが、H16 中越地震において壁量充足率が大きくなると残留変形は小さくなる傾向が読み取れるのに対し、今回の調査対象物件は一部 (H-4) を除いていずれも残留変形が小さく、この関係は読み取れない。これは、今回の詳細調査を実施した地区が、いずれも震度 6 弱～6 強であること (H16 中越地震は震度 7) と、地震による卓越周期が短周期で木造家屋に与えるダメージが計測震度、加速度等の割に小さいことと関係している可能性もあるが、調査物件数が少ないために断言はできない。

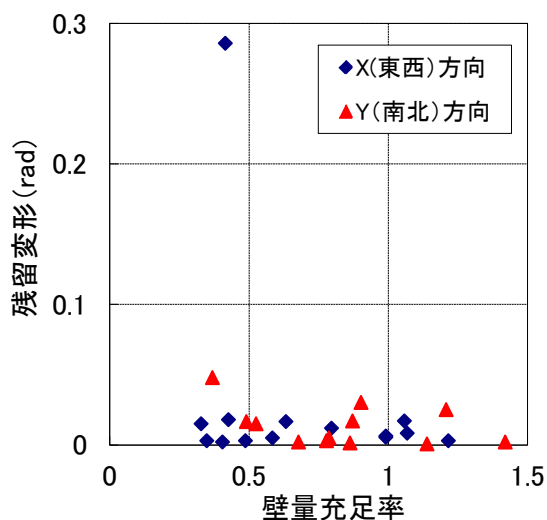


(a) H23 東北地方太平洋沖地震 (1階のみ)

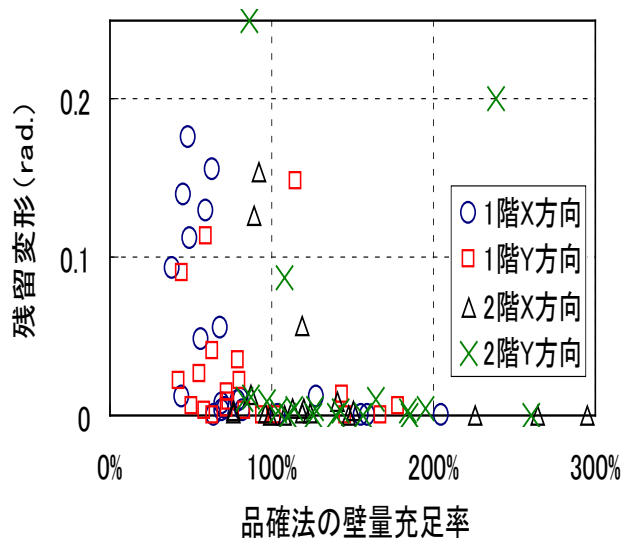


(b) H16 中越地震 (震度7) 5.4.3-3)

図 5.4.3-7 基準法の壁量充足率と残留変形の関係



(a) H23 東北地方太平洋沖地震 (1階のみ)



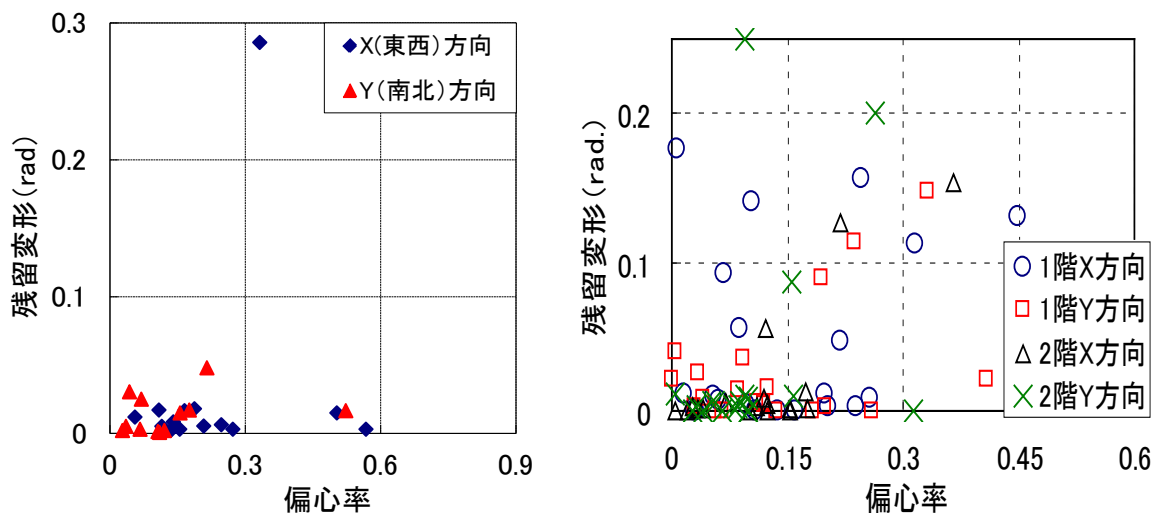
(b) H16 中越地震 (震度7) 5.4.3-3)

図 5.4.3-8 品確法の壁量充足率と残留変形の関係

#### (4) 偏心率と残留変形

偏心率と残留変形を比較して図 5.4.3-9 に示した。今回、抽的に詳細調査した建物は、いずれも残留変形が極めて小さく、偏心率との関係においても明確な相関関係は確認されなかった。





(a) H23 東北地方太平洋沖地震（1階のみ）

(b) H16 中越地震（震度7）<sup>5.4.3-3</sup>

図 5.4.3-9 偏心率と残留変形の関係

## 謝辞

本報告をまとめるにあたって実施した被災建築物の詳細調査は、森林総合研究所構造利用研究領域木質構造居住環境研究室長 杉本健一氏、及び同研究室主任研究員 青木謙治氏、並びに一般社団法人 建築性能基準推進協会研究員 津田千尋氏の協力を得て行ったものである。関係諸氏にこの場を借りて深甚なる謝意を表す。

## 参考文献

- 5.4.3-1) 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.
- 5.4.3-2) 河合直人：建築技術 No. 608, p.124, 2000.
- 5.4.3-3) 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.

## 5.4.4 地震応答解析による耐力壁量と最大応答変位の関係

### (1) 目的

今回の地震では、木造住宅の被害が大きな地域で強震記録が得られている。そこで、今回の強震記録の地震動特性が木造住宅被害に与える影響を解析的に検討することを目的とし、2階建て木造住宅に対し、強震記録を用い各階の壁量及び1,2階の床面積比をパラメータとした地震応答解析を実施した。

### (2) 解析方法

計算に用いた入力地震波は、宮城県大崎市にある JMA 古川三ヶ日<sup>5.4.4-1</sup>、K-NET 古川<sup>5.4.4-2</sup> (MYG006)、宮城県石巻市にある K-NET 石巻 (MYG010)、茨城県常陸大宮市にある K-NET 大宮 (MYG010) の NS 及び EW 成分の合計 8 波である。各地震波の諸元を表 5.4.4-1 に示す。また各方向の地震波の加速度応答スペクトル (h=5%) 及び Sa-Sd 曲線 (h=5%) を 1995 年兵庫県南部地震の際の神戸海洋気象台 NS 成分と比較して示す。木造住宅の倒壊に深く関連する周期は 1.0~2.0 秒程度までの間と言われているが、

K-NET 大宮では短周期成分が卓越していること、また JMA 古川三ヶ日 NS の 1.0~1.5 秒の長周期成分が卓越していることが確認できる。

表 5. 4. 4-1 計算に用いた地震波の諸元

観測地点 (所在県)	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	
JMA 古川三ヶ日 (宮城)	6.2	567.7	549.6	456.4	321.5	174
K-NET 古川 (宮城)	6.1	585.7	444.2	571.50	369.0	174
K-NET 石巻 (宮城)	5.9	487.5	458.2	377.0	332.0	143
K-NET 大宮 (茨城)	6.0	1311.9	1283.1	1006.8	775.3	277

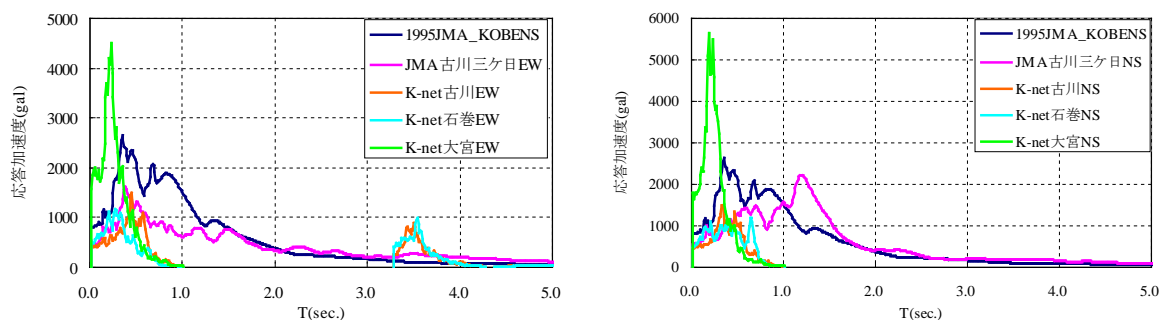


図 5. 4. 4-1 加速度応答スペクトル (左 : EW 方向、右 : NS 方向)

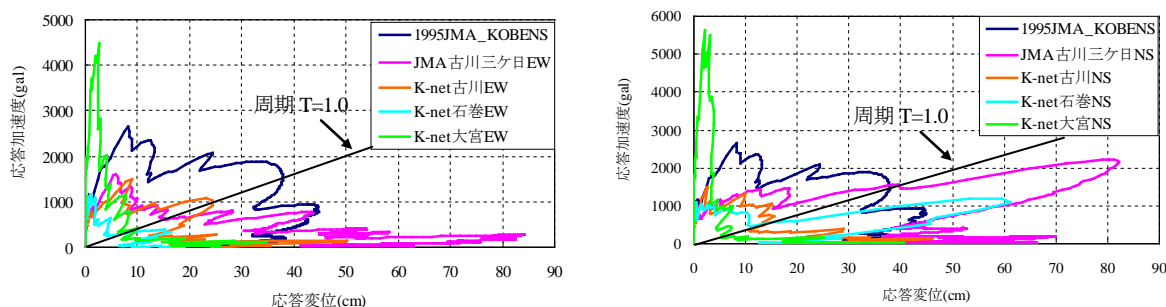


図 5. 4. 4-2 Sa-Sd 曲線 (左 : EW 方向、右 : NS 方向)

計算の対象とした建物は、2階建て木造の①総2階、②部分2階(床面積比は1階:2階=1:0.7と仮定)の2種類である。

建物の重量について、被災地の2階建て木造住宅では屋根を瓦葺きとしているものが多いことから、「重い屋根」を想定した。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 5. 4. 4-2 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。

解析は、各階の壁量をパラメータとし、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刻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拡張NCLモデル<sup>5.4.4-3)</sup>にモデル化したものである。図 5. 4. 4-3 に履歴モデルを、表 5. 4. 4-3 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。

表 5.4.4-2 各部の質量の想定  
(床面積 1 m<sup>2</sup> 当たり N)

		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

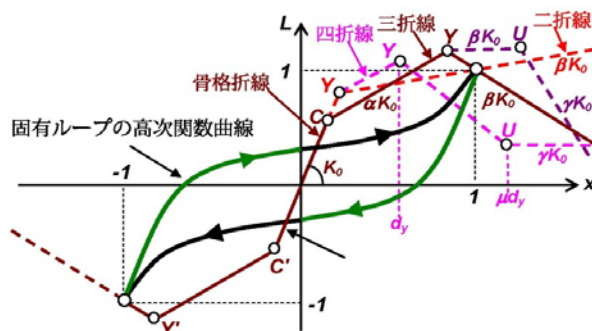


図 5.4.4-3 計算に用いた荷重変形の履歴特性  
(拡張 NCL モデル)

表 5.4.4-3 構造用合板耐力壁 1m に対するパラメータの値 (記号は図 5.4.4-1 及び参考文献を参照)

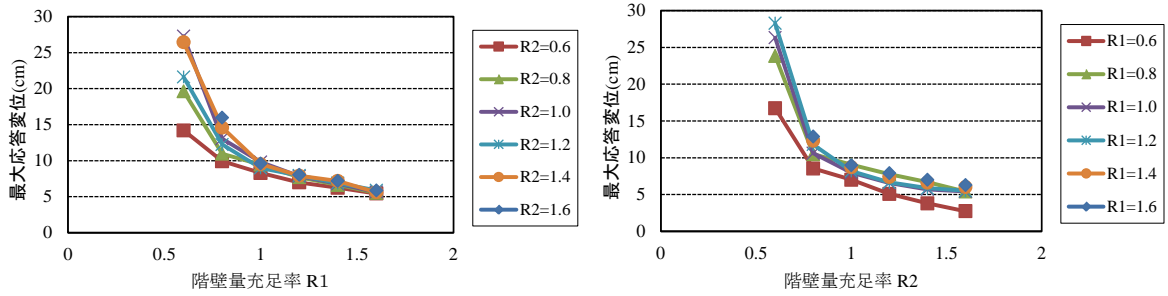
$K_0$	$F_c$	$F_y$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	A	B	n1	n2
(kN/mm)	kN	kN	-	-	-		-	-	-	-
48.76	2.63	5.70	0.50	0.10	-0.08	5.0	0.1	1.0	2.0	20

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) 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、多少余裕のある想定となっていることがわかる。

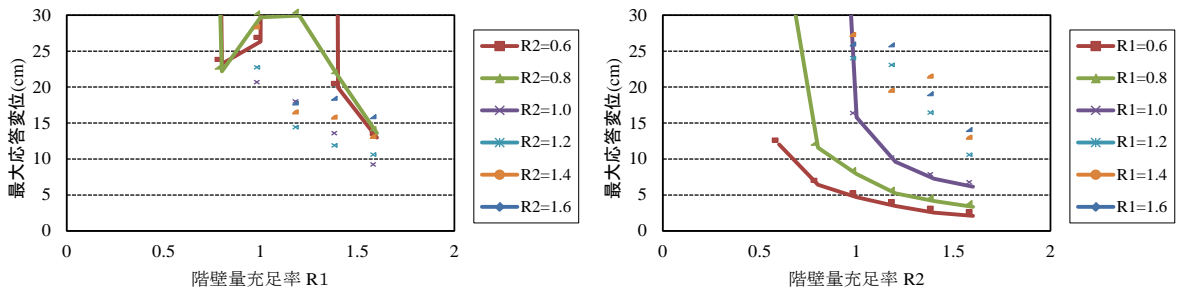
解析は、強震記録 250 秒間に対して、計算の 1 ステップの時間刻みは 200Hz として行った。減衰は瞬間剛性比例型 1 次モードに対する減衰定数 3% の減衰を仮定している。

### (3) 解析結果

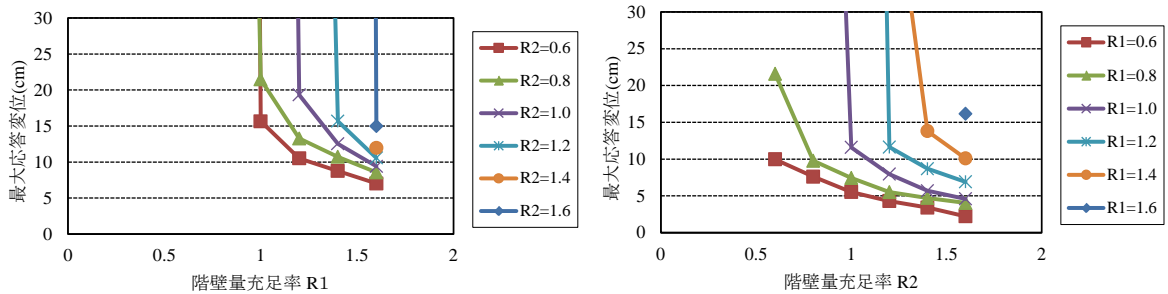
図 5. 4. 4-4~5. 4. 4-7 に、壁量充足率と 1 層の最大応答層間変位の関係を示す。



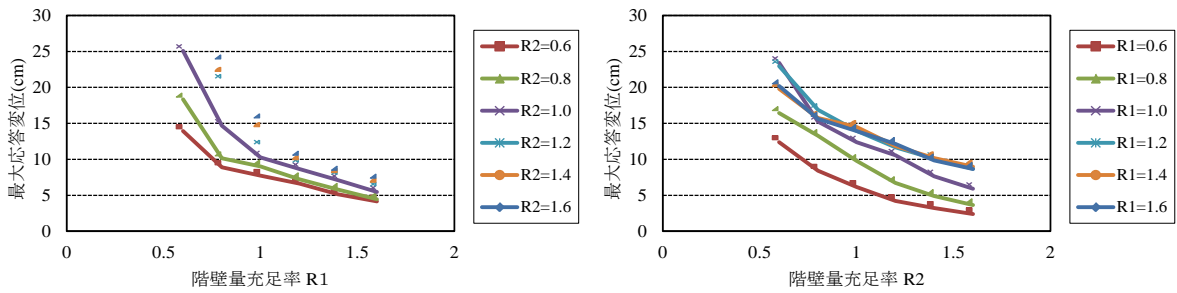
(1) JMA 古川 EW 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)



(2) JMA 古川 NS 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

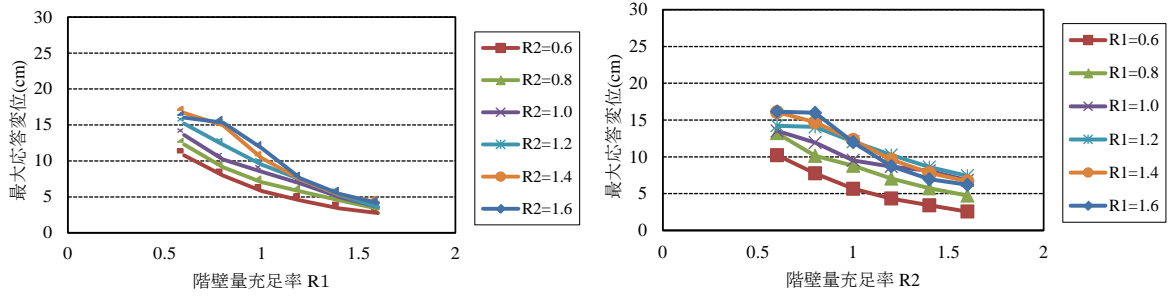


(3) K-NET 古川 EW 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

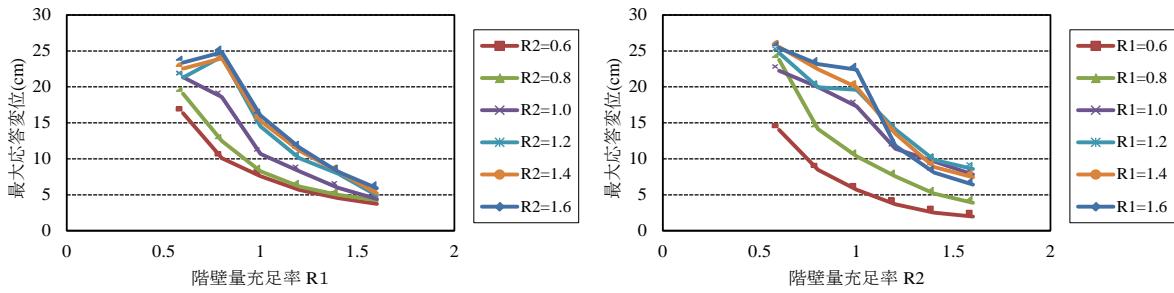


(4) K-NET 古川 NS 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

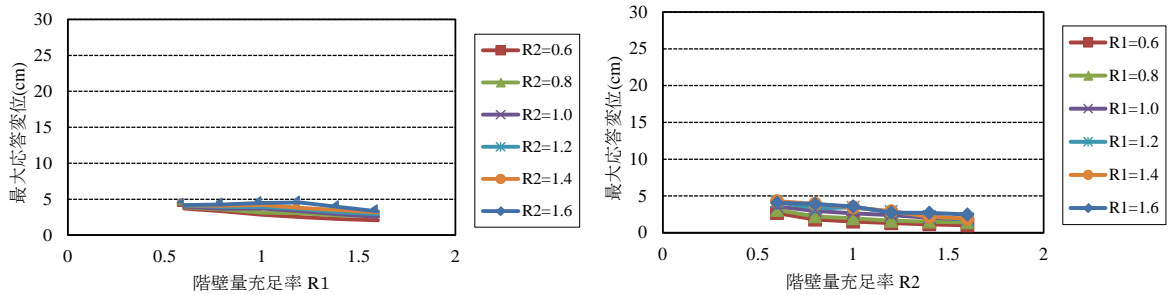
図 5. 4. 4-4 応答解析結果-1



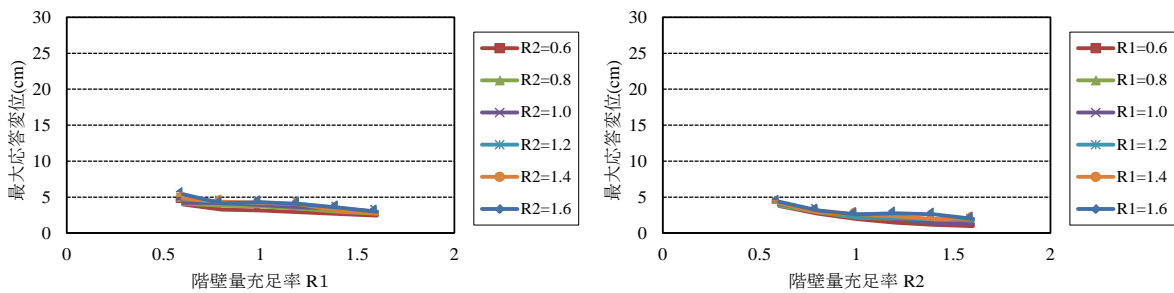
(5) K-NET 石巻 EW 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)



(6) K-NET 石巻 NS 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

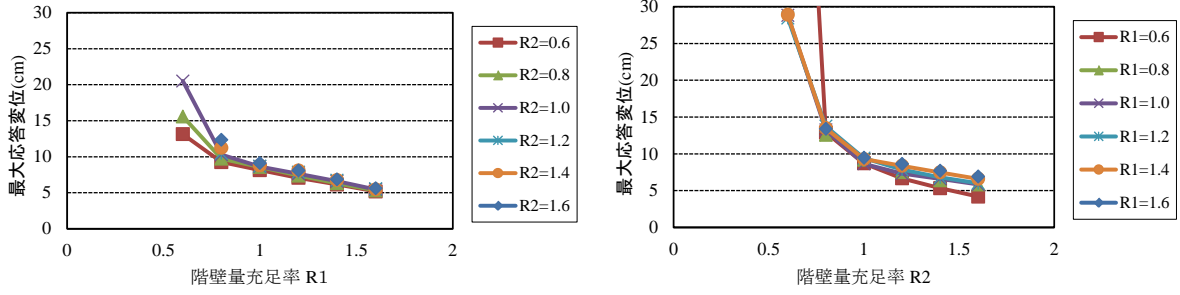


(7) K-NET 大宮 EW 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

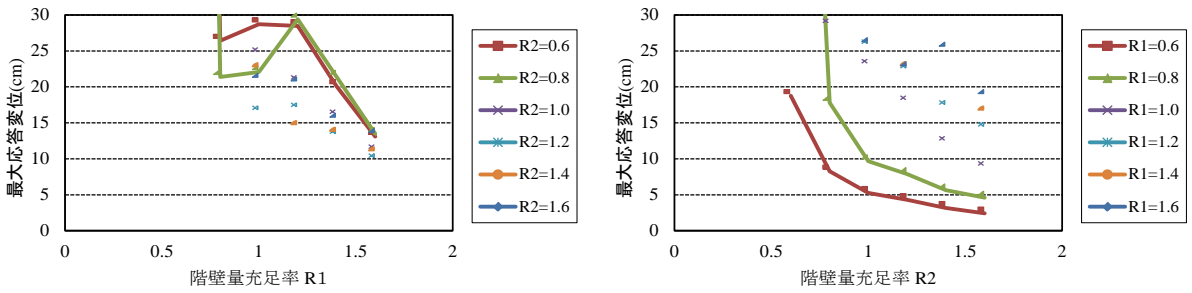


(8) K-NET 大宮 NS 総 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

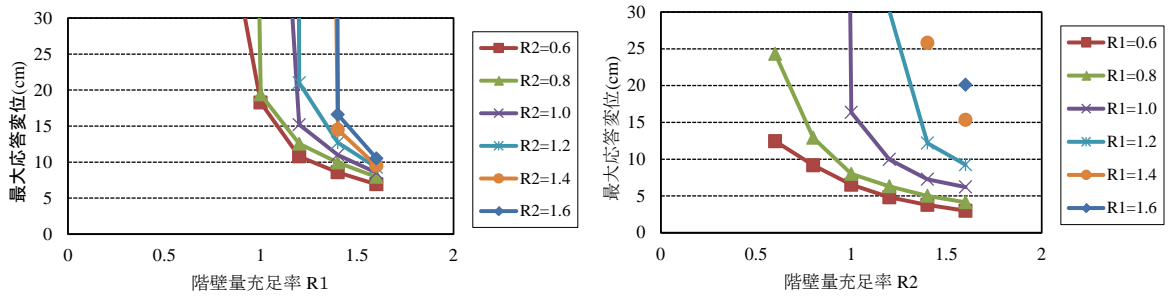
図 5.4.4-5 応答解析結果-2



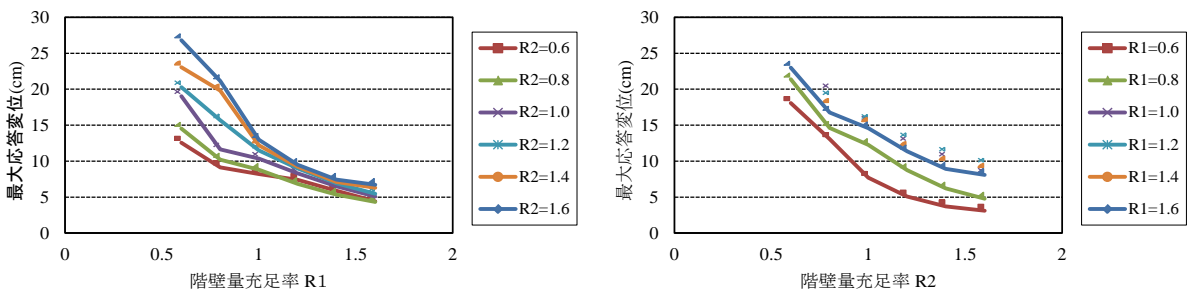
(9) JMA 古川三ヶ日 EW 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)



(10) JMA 古川三ヶ日 NS 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

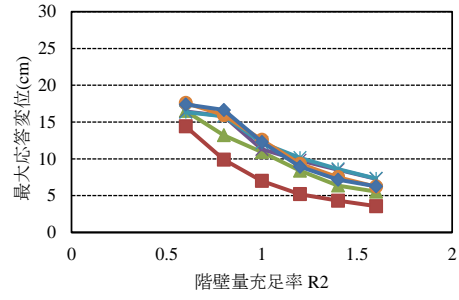
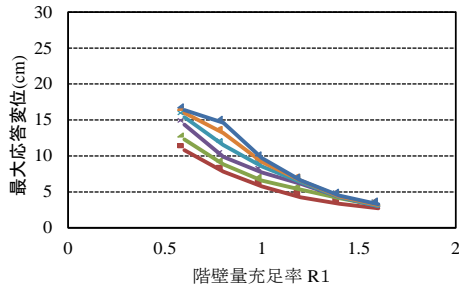


(11) K-NET 古川 EW 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

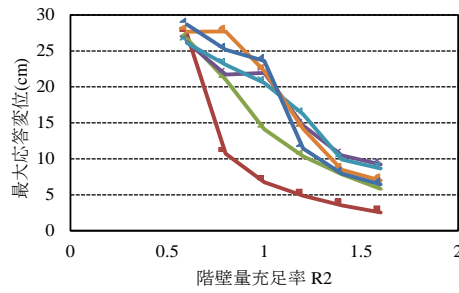
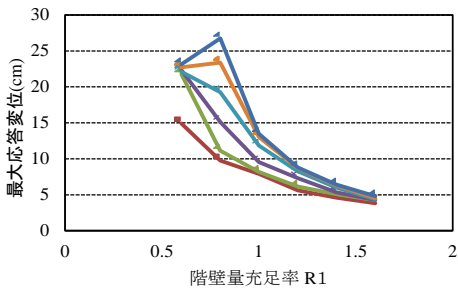


(12) K-NET 古川 NS 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

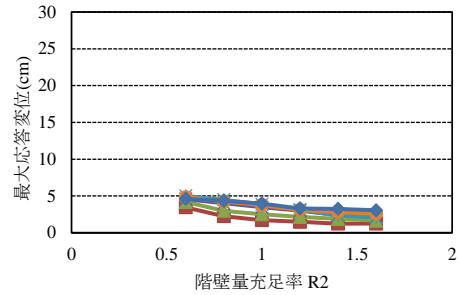
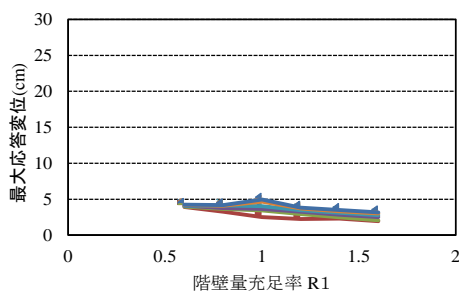
図 5.4.4-6 応答解析結果-3



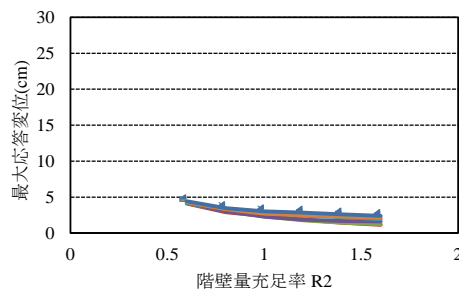
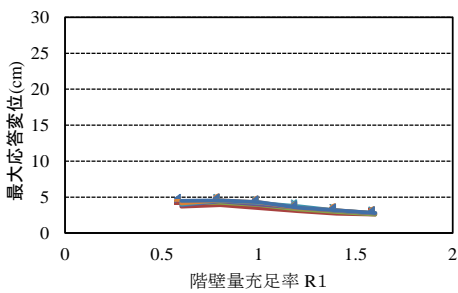
(13) K-NET 石卷 EW 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)



(14) K-NET 石卷 NS 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)



(15) K-NET 大宮 EW 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)



(16) K-NET 大宮 NS 部分 2 階建 (右 : 1 階、左 : 2 階)

図 5.4.4-7 応答解析結果-4

### 1) 地震波による応答の比較

JMA 古川三ヶ日 EW 方向および NS 方向、および K-NET 古川 EW 方向及び NS 方向では、壁量充足率がある値より小さくなると急激に応答が増大して、本解析で倒壊の危険性があると判断する 30cm を超える層間変位に達する傾向がある。倒壊危険性が急激に増大するときの壁量充足率は総 2 階建、部分 2 階建、1 階部分、2 階部分の違い、あるいは他階の壁量充足率などにより若干の相違はあるが、JMA 古川三ヶ日 EW 方向および NS 方向、K-NET 古川 EW 方向及び NS 方向ともに 1.0 以下の場合である。一方、K-NET 石巻、K-NET 大宮では、壁量充足率が 0.6 程度でも、最大応答層間変位は 30cm を超えず、倒壊は免れている。

### 2) 総 2 階建と部分 2 階建の応答の比較

全体的な傾向としては、大きな差が無いと考えられる。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 階の方が 1 階については有利であり、応答が小さいと予想される。解析結果を見ると、同じ壁量充足率に対して 1 階の応答層間変位は部分 2 階に比べ総 2 階のほうが大きく、2 階の応答層間変位は逆に部分 2 階の方が大きいという傾向が若干見られる。

### 3) 他階の壁量充足率が当該階の応答に及ぼす影響

1 階に対する 2 階の壁量充足率が小さい程、あるいは 2 階に対する 1 階の壁量充足率が小さい程、1 階の応答層間変位が小さくなる傾向が見られる。この場合には、2 階に損傷が集中し、2 階の応答変位が大きくなっている。また、1 階に対する 2 階の壁量充足率、あるいは 2 階に対する 1 階の壁量充足率を一定にした場合、1 階の壁量充足率、あるいは 2 階の壁量充足率を大きくすると 1 階の応答層間変位は小さくなる傾向が見られる。

### 4) 詳細調査に基づく壁量充足率と残留変形角の関係と応答解析の比較

宮城県古川市、石巻市、茨城県那珂市、常陸太田市で実施した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、壁量充足率が 1.0 以下であっても、層間変形角が  $1/10\text{rad}$  (約 30cm) といった大きな残留変形角 (変位) には至らないという結果であった。石巻市及び常陸大宮市の強震記録による解析結果は、茨城県那珂市、常陸太田市の被害状況と概ね符合するが、古川市の強震記録による解析結果と詳細調査による被害状況では差異が見られる。この差異の一つの要因として、本解析での想定に比べ、調査を実施した木造建物の性能が高い点が挙げられる。例えば、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考えられる。その他の要因として、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等も考えられる。一方、初動調査及び詳細調査を通し、宮城県古川市での木造建物の被害の程度は、他の地域に比べ大きいことから、本解析結果は古川市の被害状況をある程度再現しているとも考えられる。

## (4) まとめ

今回の強震記録の地震動特性が木造住宅被害に与える影響を解析的に検討することを目的とし、2 階建て木造住宅に対し、強震記録を用い各階の壁量及び 1, 2 階の床面積比をパラメータとした地震応答解析を実施した。



- 1) JMA 古川三ヶ日およびK-NET 古川のEW方向およびNS方向では、壁量充足率が1.0より小さくなると急激に応答が増大し、本解析で倒壊の危険性があると判断する30cmを超える層間変位に達する傾向が見られた。一方、K-NET 石巻、K-NET 大宮では、壁量充足率が0.6程度でも、最大応答層間変位は30cmを超えず、倒壊は免れる結果となった。
- 2) 解析結果と詳細調査による木造建物の被害状況を比較すると、宮城県石巻市、茨城県那珂市、常陸太田市の被害状況は解析結果と概ね一致するが、古川市の被害状況は解析結果よりも被害が小さかった。

#### 参考文献

- 5.4.4-1) 気象庁 強震波形(平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震) [http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311\\_tohokuchiho-taiheiyouki/index.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouki/index.html)
- 5.4.4-2) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET <http://www.K-NET.bosai.go.jp/K-NET/>
- 5.4.4-3) 松永裕樹、曾田五月也、宮津祐次:「木質構造物の復元力特性のモデル化と動的解析への適用」、2007年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp201-204

#### 5.4.5 まとめ

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による木造建築物の被害の概要調査、被災木造建築物の詳細調査、並びにその壁量の検討、地震応答解析の結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 木造建築物の地震動による被害は宮城県大崎市、福島県須賀川市、栃木県那須郡那須町、茨城県常陸太田市、那珂市などで多く確認された。
- 2) 宮城県栗原市では、震度7を記録したにもかかわらず、木造建築物の被害は過去に震度7を記録した地震と比べて大きくない。
- 3) 造成宅地の地盤変状による被害は、宮城県仙台市、栃木県矢板市などで大きく、被害棟数もそれなりに多い。
- 4) 屋根瓦の被害などは、地震が頻繁に発生する宮城県よりも、むしろ福島県、茨城県の方が多いという印象がある。
- 5) 低湿地や水田を埋め立てたなどの宅地では、地盤変状が発生しなくても地震動が増幅した可能性があることが、宮城県栗原市、大崎市、栃木県那須町、茨城県常陸太田市、那珂市、常総市、龍ヶ崎市などで看取された。
- 6) 宮城県大崎市では、2階の残留変形が1階よりも大きい希有な被害例が複数確認された。
- 7) 被災した木造建築物の壁量等と被害状況を比較したが、今回の調査対象物件は一部を除いていずれも残留変形が小さく、壁量充足率や偏心率と残留変形の相関関係は明確ではなかった。
- 8) 木造建築物の地震応答解析を行った結果、JMA 古川三ヶ日およびK-NET 古川の入力に対して、木造住宅の壁量充足率が1.0より小さくなると急激に応答が増大し、1/10 radを超えるものが見られた。一方、K-NET 石巻、K-NET 大宮の入力に対して、壁量充足率が0.6程度でも、最大応答変位が1/10 radを超えない。
- 9) 木造建築物の地震応答解析結果と詳細調査による木造建物の被害状況を比較すると、宮城県石巻市、茨城県那珂市、常陸太田市の被害状況は解析結果と概ね一致するが、古川市の被害状況は解析結果よりも被害が小さいといえる。