

# 2016年熊本地震で倒壊しなかった町家の構造性能評価

## -熊本市新町にある通し柱架構を有する町家-

福田 航麻

### 1. はじめに

2016年熊本地震により、熊本市新町(本震:6強)においても多くの町家が様々な被害を受け、倒壊した町家も数棟確認された<sup>1)</sup>。本研究では、新町にある熊本地震で倒壊しなかった町家1棟に対して行った現地調査の結果に基づき、その構造性能の評価を行う。

### 2. 調査対象住宅周辺の被害分布

文献1)による、対象住宅周辺の伝統構法建物の被害分布を図1に示す。被害程度は、阪神淡路大震災による建物被害を評価するために用いられた岡田・高井による被害パターン<sup>2)</sup>を参照して判断されている。被害建物は新町内で分散しており、また無被害の建物も全棟数の半数近くあり、軽微な被害と中程度以上の被害と比較すると、軽微な被害の方が若干多い傾向であった。

### 3. 調査結果

熊本市新町にある調査対象住宅の町家1棟を写真1に示

す。住宅の現地調査は、2019年11月18日に実施し、図面の作成と構造要素・種別の把握、常時微動計測を行った。対象住宅は図2のように北側に通りに面したミセがあり、その背後に中庭と渡り廊下を挟んで主屋が付いた構成となっている。対象住宅の被害箇所を図4に示す。対象住宅の被害はミセ全体としては東に傾斜していたが、大きな被害は見られなかった<sup>3)</sup>。被害内容としては床の傾斜・沈下、壁のひび割れ、柱傾斜などがあった<sup>3)</sup>。主屋は一部壁の剥落が見られるなどミセと比べ被害は大きかった<sup>3)</sup>。住宅の架構図、構造図をそれぞれ図3、4に示す。ミセは2階建ての上屋と南北に付属する下屋で構成されており、1階階高は地面から2階梁上端月、2階階高は2階梁上端から軒天端とし、それぞれ2,800mm、2,750mmである。柱は、概ね140mm角で、大黒柱は180mm角であった。妻側の柱はすべて通し柱で、桁行方向の梁が通し柱にほぞ差しされている「通し柱架構」となっている(図4中の“横架材”は、柱にほぞ差された梁を表している)。



(a) 北面外観 (b) 内観(1階西側土間部)  
写真1 調査対象住宅



(a) 2階



(b) 1階  
図2 平面図

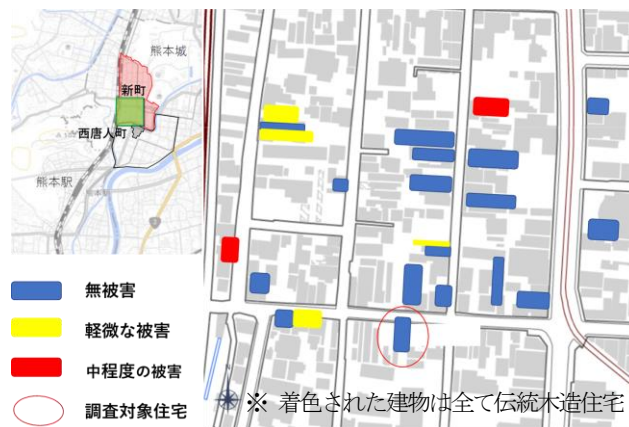


図1 新町の被害分布図



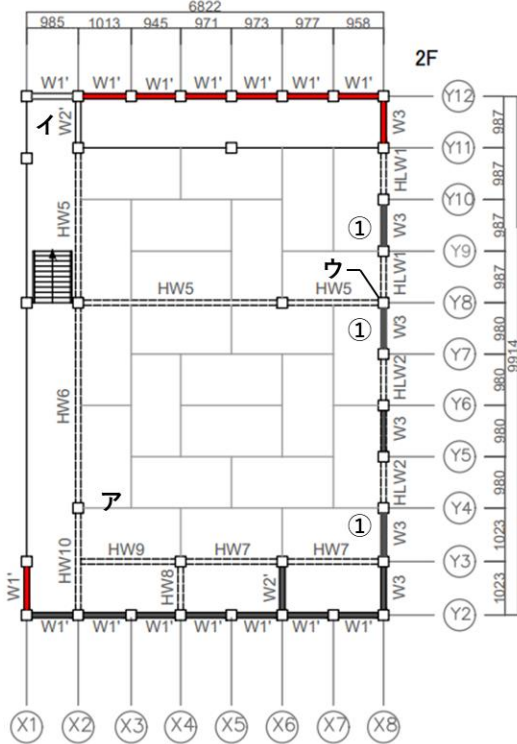
(a) 北西方向の視点 (b) 東方向の視点

図3 架構図

※ 図中の赤色で示す柱梁は測定不可能箇所であるが、周辺の架構から柱梁の位置を推定して描いている。

| 壁種      | 壁厚 (mm) | 壁高さ (mm) | 壁種   | 壁厚 (mm) | 壁高さ (mm) | 壁種  | 壁厚 (mm) | 壁高さ (mm) |
|---------|---------|----------|------|---------|----------|-----|---------|----------|
| W1'     | 60      | 2750     | HW5  | 70      | 130      | W1  | 60      | 2800     |
| W2'     | 60      | 2750     | HW6  | 70      | 120      | W2  | 60      | 2800     |
| W3      | 80      | 2750     | HW7  | 70      | 585      | HW1 | 70      | 406      |
| HLW1    | 80      | 100+530  | HW8  | 70      | 1600     | HW2 | 70      | 532      |
| HLW2    | 80      | 110+950  | HW9  | 70      | 320      | HW3 | 343     | 1230     |
| (垂壁+腰壁) |         |          | HW10 | 95      | 590      | HW4 | 70      | 557      |

B幅×せい



2階見下げ

- ア：床傾斜
- イ：壁剥落
- ウ：小屋梁仕口破損
- ①：壁ひびれ 被害程度小



1階見下げ

- エ：床傾斜 根太掛けなどの釘切れか？
- オ：床沈下 根太落下
- ②：柱傾斜 建物全体が東に傾斜

図4 構造図及び対象住宅の地震被害

妻側の外壁は全面土壁だが、平側は1階に外壁が存在せず、2階の妻側に多く土壁が入っている。また、内壁は垂壁が数ヶ所存在した。屋根は葺き土のある瓦葺である。以降の重量及び復元力の算定では寸法不明箇所について、内壁は測定箇所の値の平均値である70mmと置き、寸法不明横架材寸法は最大寸法材の値で仮定し、小屋組みは柱と接合するように梁を置き、寸法は最大値で仮定した。寸法不明箇所を図3で赤色に着色して示し、図4では寸法を仮定した土壁は赤色で、またX7、Y2の赤色の柱は壁に覆われて寸法が不明な柱である。また、図4は仮定後の構造図であり、不明箇所寸法を仮定した箇所は赤線で表す。本研究では下屋は考慮せず、上屋のみのX1からX8、Y2からY12の範囲の柱・梁・土壁を構造性能の評価対象とする。

#### 4. 重量の算定

住宅の1階重量は1階階高の上半分から2階階高の下半分までの重量、2階重量は2階階高の上半分から軒天端までの重量とする。重量の算定には建築基準法施行令84条の固定

荷重、85条の積載荷重および文献4)の数値を用いる。なお、積載荷重には住宅の居室の地震力を計算する場合の600N/m<sup>2</sup>を用いる。土壁の壁厚は外壁で60mm、80mm、内壁の垂れ壁は70mmと屋根はふき土のある瓦葺と仮定する。柱は材種をスギ(比重0.38<sup>5)</sup>)、梁はベイマツ(比重0.55<sup>5)</sup>)と仮定し、寸法から算定する。また、上屋のみの重量としてX1からX8、

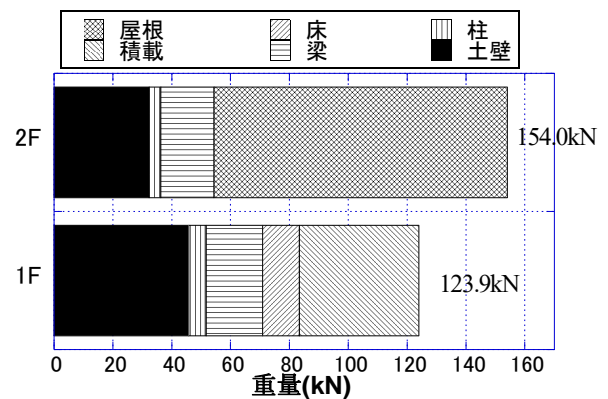


図5 各階重量

Y2 から Y12 通りの柱・梁・土壁・屋根・床を算定する。重量の算定結果を図5に示す。ここで屋根は垂木ともやを含む。

### 5. 復元力特性

文献 6)では熊本市古町にある町屋が熊本地震で倒壊しなかった要因の一つの可能性として通し柱による影響をあげた。そこで本研究ではほぼ差し接合部の強度までしか通し柱の曲げ耐力を考慮しない文献4)による方法に加え、通し柱の曲げ耐力を簡易的に考慮した場合の復元力特性も求める。

#### 5.1. 算定方法

##### 5.1.1. 通し柱の影響を考慮しない場合

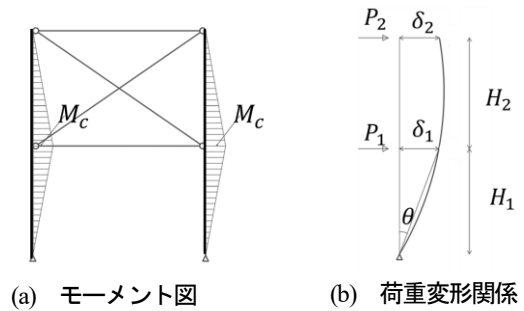
2階床・屋根が剛床、かつ振動時に並進し、土壁はすべてせん断破壊すると仮定し、住宅の復元力特性を、各階・各方向ですべての耐力要素の復元力特性を単純加算して求める。耐力要素として、全面土壁、小壁、柱-横架材のほぞ差し仕口接合部を考慮して計算し、各耐力要素の復元力特性は文献4)を参考に決定する。

##### 5.1.2. 通し柱の影響を考慮した場合

5.1.1節で示した方法に加えて、通し柱が折損するまで曲げで復元力を有するとし、1階桁行方向の耐力要素の復元力特性を単純加算して求める。通し柱架構を有し、2階が1階に比べて壁が多くせん断剛性が高いことから、文献7)を参考に図6のようにモデル化する。なお、通し柱と1階柱脚はピン支持されているとする。本研究では、図6中の通し柱の剛性マトリクスを2階がせん断変形しないと仮定し<sup>8)</sup>、 $\delta_1 = \delta_2$ とし、層間変形角と復元力との関係を導く。ここで、曲げモーメントが最大となる1階柱頭が曲げ耐力に達するまでの柱のせん断力を復元力として算定する。なお、曲げ耐力に達した時点で柱を折損するとして、その後は通し柱の復元力は0とする。曲げ耐力  $M_{cu}$  は、柱の基準強度  $F_b$  に有効断面係数  $Z_e$  を乗じて算出する。 $Z_e$  は、断面欠損を考慮して、柱の全断面係数  $Z$  に  $3/4$  を乗じた値とする。また  $M$  を1階高さ  $H_1$  で除し、せん断力  $Q$  とする。基準強度  $F_b$  は JAS 製材の目視等級ですぎの甲種構造材3級の値を、柱の弾性係数  $E$  は告示1454号第六号の無等級材すぎの値を用いる。また、この時ほぞ差しによる耐力は通し柱の耐力に代わるため除く。なお、階高  $H_1$ 、 $H_2$  は3章で示した値を用いる。

#### 5.2. 算定結果

耐力要素に通し柱を含めない(以下「通し柱なし」)、含める(以下「通し柱あり」)復元力特性の算定結果を図7に示す。「通し柱なし」の桁行方向では、1階の復元力は最大値となる  $1/60\text{rad}$  で2階の復元力の約  $1/4$  の値となる。また「通し柱あり」の復元力は耐力要素として通し柱と全壁、垂壁が存在する。また「通し柱なし」と「通し柱あり」での1階桁行方向の土壁の復元力が最大となる  $1/60\text{rad}$  までの復元力は同



$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} cK & -\gamma cK \\ -\gamma cK & \gamma^2 cK \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix}$$

ただし、

$$cK = \frac{3EI(H_1+H_2)}{H_1^2 H_2^2} \quad \gamma = \frac{H_1}{H_1+H_2}$$

ここで  $\delta_1 = \delta_2$  から層間変形角と復元力との関係を導く

$$\begin{aligned} \text{i) 柱折損前 } & Q_c < Q_{cu} \\ & Q_c = P_1 + P_2 \\ & = 3EI/H_1(H_1 + H_2) \times \theta \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ii) 柱折損後 } & Q_c \geq Q_{cu} \\ & Q_c = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

図6 通し柱モデル

表1 設定値

| 項目      | 詳細   |
|---------|--|
| ヤング係数   | $E = 7.0\text{kN/mm}^2$                        |
| 基準強度    | $F_b = 22.2\text{N/mm}^2$                      |
| 1階階高    | $H_1 = 2800\text{mm}$<br>$H_2 = 2750\text{mm}$ |
| 通し柱寸法と数 | ①140mm角：18本<br>②180mm角：2本                      |
| 有効断面係数  | $Z_e = Z \times 3/4$                           |

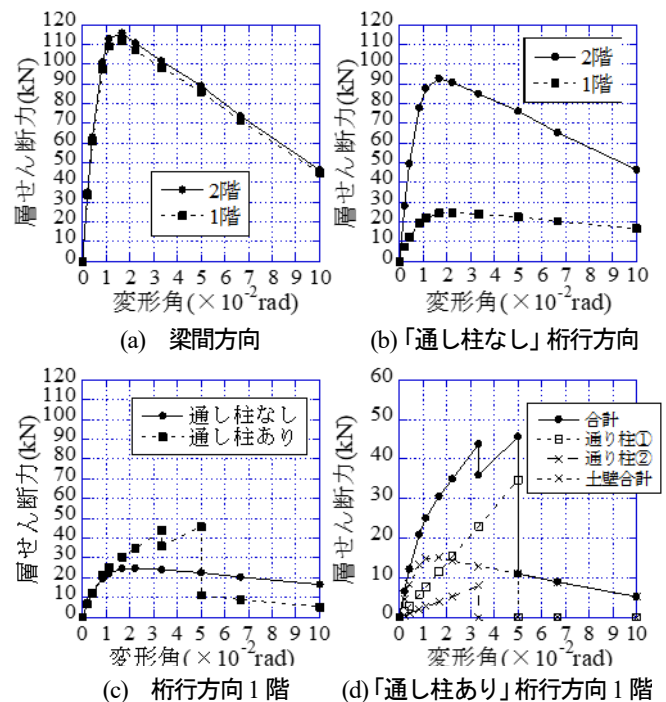


図7 復元力特性

程度であるが、それを超えると「通し柱なし」の復元力は緩やかに低下していくのに対し、「通し柱あり」の場合は通し柱が折損するまで上昇する。

## 6. 限界耐力計算

5章で示したとおり、対象住宅の桁行方向において「通し柱なし」と比較して「通し柱あり」の復元力が増大したと言えるが、通し柱を耐力に考慮した場合は通し柱の折損後は復元力が低下する。柱の折損による振動の減衰を考慮した応答値計算方法として限界耐力計算がある。本章では、5章で求めた復元力特性から限界耐力計算を行い、「通し柱なし」、「通し柱あり」それぞれでの応答値を算定する。

### 6.1. 計算方法

文献4)を参考に、H12 建告 1457 号に示される限界耐力計算を基本として、1階変形を基準ステップにした2階変形の変形モードと各階質量、剛性による固有値を整合させるために収斂計算を行い、2階変形を求める。各階の変形を基に各ステップごとに等価1質点系モデルに置き換えて応答値を算出したのち、1,2階それぞれの応答値を算出し、調査対象住宅の構造性能を評価する。なお、加速度応答スペクトルは告示スペクトルを用い、地震地域係数を熊本の0.9を、地盤種別は第2種を用いる。

### 6.2. 計算結果

各場合での応答値の算定結果を図8及び表2に示す。梁間方向に関して復元力は変化せず、応答も同じ結果となり、応答値としては文献4)による設計のクライテリアである稀地震時の1/120radと極稀地震時の捩じれを考慮しないときの1/20radより小さくなった。図8より桁行方向での応答の比較を行うと、稀地震に対しては通し柱を考慮した場合としない場合とでほとんど差が見られなかった。極稀地震時では両パターンで応答値は得られなかったが、要求曲線は通し柱を考慮した場合では若干近づく結果となった。

#### まとめ

- 熊本地震で倒壊しなかった町家において現地調査を実施し、構造性能評価を行った結果、以下の知見が得られた。
- 調査対象住宅は、通し柱架構を有する町家であり、桁行方向は1階に壁がほとんどなかったが、2階に多く壁が入っていた。
  - 復元力は、通し柱を考慮しない場合では梁間方向と比較して桁行方向は最大値の1/60radで2階復元力の約1/4の値となった。また通し柱を耐力要素として考慮した場合は1/60radまでの復元力は同程度であるが、1/60radを超えると通し柱が折損するまで上昇する結果となった。
  - 限界耐力計算の結果、通し柱を耐力要素に含む、含まない場合の両方で極稀地震での応答は得られなかった。

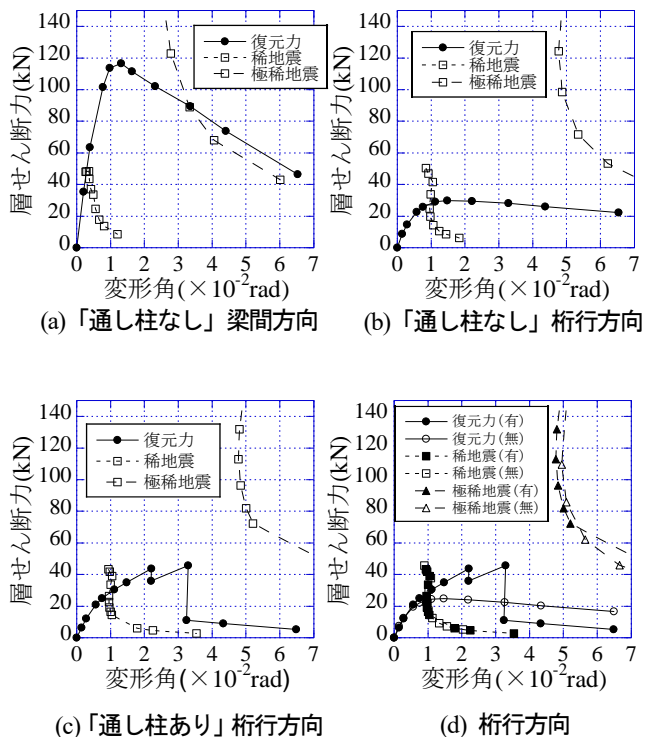


図8 限界耐力計算

表2 最大応答値

| 加速度応答スペクトル(告示) |      | 応答層間変形角(rad) |       |       |        |
|----------------|------|--------------|-------|-------|--------|
|                |      | 縮約系          | 1階    | 2階    |        |
| 通し柱なし          | 梁間方向 | 稀地震          | 1/375 | 1/317 | 1/395  |
|                |      | 極稀地震         | 1/30  | 1/20  | 1/281  |
|                | 桁行方向 | 稀地震          | 1/100 | 1/67  | 1/1078 |
|                |      | 極稀地震         | -     | -     | -      |
| あり柱            | 桁行方向 | 稀地震          | 1/103 | 1/69  | 1/885  |
|                |      | 極稀地震         | -     | -     | -      |

#### 【謝辞】

現地調査の実施に際しては、住宅の所有者の方々、熊本県立大学 北原昭男教授、北原研究室および亀川研究室の学生の皆様にご多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝いたします。

#### 【参考文献】

- 蔵重希一, 北原昭男, 宮里明日香: 2016年熊本地震による熊本市域における木造建物の被害 その3: 熊本市新町・古町地区における伝統構法木造建物の被害の特徴, 日本建築学会九州支部研究報告, 第56号, pp605-608, 2017.3.
- 岡田成幸・高井伸雄 (1999) 「地震被害調査のための建物分類と破壊パターン」『日本建築学会構造系論文集』, 524, pp.65-72
- 熊本地震災害復旧工事 被害調査
- 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会: 伝統的構法のための木造耐震設計法 石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル, 学芸出版社, 2019.6.
- 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2015), p132, 2015.2.
- 南部恭広, 田畑裕貴, 亀川利彦, 北原昭男: 2016年熊本地震で倒壊しなかった町屋の構造性能評価, 2020
- 佐藤弘美, 腰原幹雄: 通し柱をもつ差鴨居架構の水平抵抗力 その2 2階の耐震性能が通し柱に及ぼす影響, 日本建築学会学術講演梗概集, C-1, pp.461-462, 2012.9.
- 日本建築防災協会: 耐震診断法の高度化に関する報告書, 2009.3.