

## 能登半島地震による被災を受けた伝統木造住宅の地震応答解析

正会員 ○村田 晶\*  
正会員 池本敏和\*\*

伝統木造住宅<sup>1</sup> 地震応答解析<sup>2</sup> 能登半島地震<sup>3</sup>

## 1. はじめに

能登半島地震で倒壊した建物は古い木造家屋や倉庫、納屋に集中し、鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物には被害が少なかったことが調査等により分かっている。木造家屋でも1981(昭和56)年に導入された新耐震基準を満たした建物の被害は少なく、これ以前に建てられた建物の耐震性が課題として浮き彫りとなっている。しかしながら、土塗り壁などのある古い木造家屋や店舗併用住宅の、玄関から奥へ通じる通り庭や屋内廊下、土間等があるような前面の道路と平行する壁が極めて少ない建物については大きな被害が生じている。ところで、近年の住宅は筋違い入りの耐震壁を中心とした剛性の高い壁を多く採用しているのに対し、貫や土塗り壁を用いた伝統構法では、一般的にその剛性は低く建物固有周期が長い。これは、伝統構法では仕口部分が完全な剛節でなく、ある程度の回転バネ特性を持っているためと考えられる。一方では、土壁が壊れたり接合部で変形を吸収するなどしてゆれを柔軟に受け流す仕組みを持っている側面もあることや、復元力による変形性能も大きいことが分かっている<sup>1)2)</sup>。近年の研究で、貫、柱、組物といった各要素の耐震性能は明らかになってきてはいるが、これらが組み合わさった建物全体の耐震性能は十分に明らかでなく、十分でないのが現状である。

先述のように、能登半島地震で被災した建物の多くは、建築年代が古く金物等を使わない、いわゆる伝統的な木造住宅であった。本研究では、そのような建物を対象として3次元フレーム解析を行い、詳細に耐震性能の評価を行う。本研究の目的は、能登半島地震で被災した建物のうち、特に多く被災した伝統的な木造住宅の被害を明らかにする。

## 2. フレーム解析による地震応答解析

本研究において、水平構面の3次元の水平構面で評価したいため、また部材ごとの復元力特性の情報を加えた解析を行うため、前述のように変位法に基づく3次元フレーム解析を用いる。解析を行うにあたり、伝統構法特有の仕口モデルを設定する。これは伝統木造建造物の耐震要素として、仕口の回転抵抗、太い柱の回転復元力、土壁・板壁のせん断抵抗などがあるが、柱貫仕口(接合部)に代表される木材のかみ合わせで発生する回転抵抗が最も主要な要素であると考えら

れるためである。その回転抵抗は、めり込みと摩擦が主な抵抗要素となり、その挙動はめり込みの弾塑性復元力特性に支配される。めり込み現象は、連続体相互の接触と部分圧縮という構図で説明される。柱貫接合部に関しては、柱貫仕口の力学モデルが、稲山<sup>3)</sup>により、めり込み抵抗モデルに基づいた実用的な算定式が示されている。本研究ではこの稲山のめり込み理論を基本とした回転バネの非線形特性を設定する。

解析対象住宅の例として、本稿では門前町道下地区の被災木造住宅を示す。本住宅は前面道路に平行して壁が少なく、壁量充足率は梁間方向88.6%、桁行方向49.7%であり、どちらの方向も必要壁量を満たしていなかった。従って、桁行方向(前面道路に平行する側)の壁が少なく梁間方向の壁量から考えて、壁配置に偏りがあるといえる。また、壁は主に土塗り壁で構成され、玄関から奥にかけて土間が存在するいわゆる伝統木造住宅といえる。実被害としては、開口部が多く桁行方向の壁が少ないため梁間方向(前面道路側)に建物全体が傾斜していたが、倒壊には至っていない。図1に3次元フレーム解析のモデル図を示す。各部材の寸法は主に実測値で表1に示す。材質については、能登の伝統的な木造住宅の使用樹種を参考とし、ヒバ、スギのヤング係数は建築学会木質構造設計規準<sup>4)</sup>の値を用い、それぞれ $9.0 \times 10^6$  (kN/m<sup>2</sup>)、 $7.0 \times 10^6$  (kN/m<sup>2</sup>)と設定する。また、その他の材料特性については表2に示す。入力地震動はK-NET 富来における本震の地震波を用い、時刻歴地震応答解析はNewmark  $\beta$ 法( $\beta=1/4$ )による直接積分法を用い実被害の変位等との比較を行う。こ

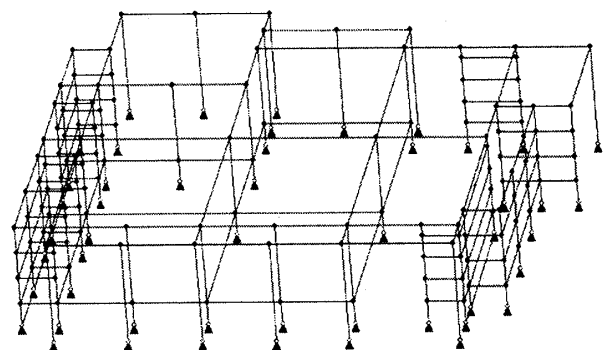


図1 解析モデル

ここで積分時間刻みは0.002(s)とする。

### 3. 解析結果

解析結果を図2に示す。また、A地点とB地点で実被害との比較を行った結果を表3に示す。ここでA地点ではX方向に40mm、Y方向に35mm、B地点ではY方向に80mmの残留変位が確認された。表に示すようにA点におけるY方向、B点におけるY方向については共に最大応答変位が82mmであり、層間変形角は1/28(大破判定)であることから、概ね実被害と整合していると言える。また、図2より変形の方向についても実被害と整合していると言え、またX方向よりもY方向の方が大変形となっていることも、実被害と概ね整合していると考えられる。ゆえに、Y方向の方が大きく変位してしまうため、全面道路側に傾斜していたと考えられる。このとき、限界耐力計算による応答値はX方向1/62(小破)、Y方向1/45(中破)となっていることから、柱脚接合部のパラメータが結果に影響していると考えられることができる。

### 4. まとめ

伝統的木造建築物に適用される限界耐力計算では、今回のケースにおいては実被害と異なる被害判定となり、応答値も実被害より小さな結果となった。しかしながら、水平構面を考慮した柱貫仕口モデルを用いた本研究の解析では、地震時の挙動、被害判定共に実被害と比較的合致していた。従って伝統木造住宅においては柱貫仕口・水平構面を考慮することが重要であると思われる。今後は、解析対象住宅を増やすとともに、解析対象地区で推定した地震動を用いて解析を行う予定である。

**謝辞:** 本研究を進めるにあたり、防災科研 K-NET 観測記録を利用させていただきました。解析の実施に関して前金沢大学大学院の鎌田嵩之氏にご協力頂きました。記して謝意を表します。

### 参考文献:

- 1) 花里利一, 萩原幸夫, 稲山正弘, 大倉靖彦, 三井所清典, 坂本功: 木造伝統構法五重塔の設計における構造安全性

の検討, 日本建築学会技術報告集, vol.7, pp.33-38, 1999.

- 2) 鈴木隆志, 伊津野和行, 土岐憲三: 懸造形式を有する伝統木造建築物の保有水平耐力と地震応答, 日本建築学会構造工学論文集, Vol.52B, 2006.
- 3) 稲山正弘: 木材のめり込み理論とその応用, 東京大学博士学位論文, 1991.
- 4) 日本建築学会: 木質構造設計規準同解説, 丸善, 2002.

表1 各部材寸法

| 部材   | 材質     | 断面寸法(mm) |
|------|--------|----------|
| 柱    | ヒバ     | 135×135  |
| 梁, 桁 | ヒバ, スギ | 135×300  |
| 貫    | スギ     | 24×120   |
| 母屋   | スギ     | 90×90    |

表2 材料特性

| 材料 | ヤング係数 E (kN/m <sup>2</sup> ) | 単位体積質量 γ(kg/m <sup>3</sup> ) |
|----|------------------------------|------------------------------|
| ヒバ | 9.0×10 <sup>6</sup>          | 4.2                          |
| スギ | 7.0×10 <sup>6</sup>          | 3.7                          |

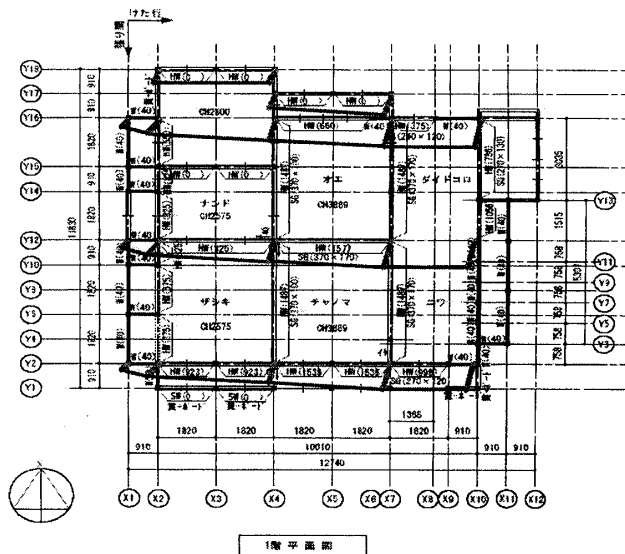


図2 3次元フレーム解析結果

表3 解析結果

|   |     | 最大応答変位 (mm) | 層間変形角 (rad) | 被害判定 | 実際の変位 (mm) | 実被害 |
|---|-----|-------------|-------------|------|------------|-----|
| A | X方向 | 60          | 1/39        | 中破   | 40         | 大破  |
|   | Y方向 | 82          | 1/28        | 大破   | 35         |     |
| B | Y方向 | 82          | 1/28        | 大破   | 80         |     |

\* 金沢大学理工研究域 助教・博士(工)

\* Assistant Prof., College of Science and Engineering, Kanazawa Univ., Dr. Eng.

\*\* 金沢大学理工研究域 講師・博士(工)

\*\* Associate Prof., College of Science and Engineering, Kanazawa Univ., Dr. Eng.