

# 100年を経過した住宅の耐久性調査（第2報）

## －柱材の腐朽と曲げ強度性能－

中谷 浩\*<sup>1</sup>, 秦 正徳\*<sup>2</sup>, 若島 嘉朗\*<sup>1</sup>, 園田 里見\*<sup>1</sup>

### Investigation of durability of wooden houses used for 100 years － Relation between decay and bending strength properties of column －

Hiroshi NAKATANI\*<sup>1</sup>, Masanori HATA\*<sup>2</sup>, Yoshiaki WAKASHIMA\*<sup>1</sup>, Satomi SONODA\*<sup>1</sup>

住宅の耐用年数の向上を目的に、100年を超えて利用されていた富山県の伝統的工法による住宅の解体調査を行った。住宅の解体状況や特徴、主要部材の含水率や腐朽度を探るためのピロディン検査については前報<sup>1)</sup>で報告した。住宅の柱材を全数採取し、腐朽度をファコップ、シュミットハンマ、ピロディンの3種類で計測後、曲げ強度試験を行った。

腐朽度と曲げ強度性能の間には、100年を経過した試験体のピロディン値と曲げ強度に相関が認められた。腐朽度の高い場合には、ピロディンの有効性が認められる。また、ヤング率との関係が予想されるファコップの伝達速度は曲げヤング率との高い相関が認められた。しかし、曲げヤング率と曲げ強度の相関が存在するにもかかわらず、曲げ強度とは相関が認められなかった。この原因は明確ではない。32年経過した柱のヤング率、曲げ強度は、それぞれ7.86GPa、42.7MPaであった。一方、100年経過した柱は、5.55GPa、27.0MPaであった。100年経過柱の曲げ強度は、32年経過柱の68%となった。これは腐朽による強度性能の低下と年輪幅やヤング率の違いから、材質的な違いの影響もあると考えられる。100年を経過した柱では、約20%が建築基準法の基準強度以下となっている。また、外周の柱で劣化が著しく、100年を経過した柱の半数は基準強度以下まで強度が低下している。これらの柱は、主に住宅の北面と東面に集中しており、構造耐力上の不均衡さが顕著にみられ、住宅の倒壊に対する構造的な性能評価が必要と考えられる。

#### 1. はじめに

地球温暖化における二酸化炭素を抑制する観点から、木造住宅の長寿命化を図ることや建築時のエネルギー消費をおさえることが社会的な課題となっている。住宅の耐用年数を高めることを目的に、富山県で100年間使用された住宅の解体調査を行い、長期に利用するための仕組みを調査した。住宅のリフォームが長期利用には欠かせないが、その際に、使用中の木材の劣化状況や強度性能について把握しておくことが重要と考えられる。前報<sup>1)</sup>では長期耐用を可

能にした住宅の特徴や腐朽状況と含水率、ピロディン値の関係を報告した。本報では、100年間使用された住宅の構造部材について、強度性能と腐朽の状況について報告する。

#### 2. 試験方法

調査した住宅は前報<sup>1)</sup>で示されており、明治31年(1898年)に新築(昭和44年に一部改築)された民家型住宅で、平成13年12月後半に、同住宅を解体した。新築からは103年、改築からは32年を経過して

\* 1 : 木材試験場

\* 2 : 富山大学芸術文化学部

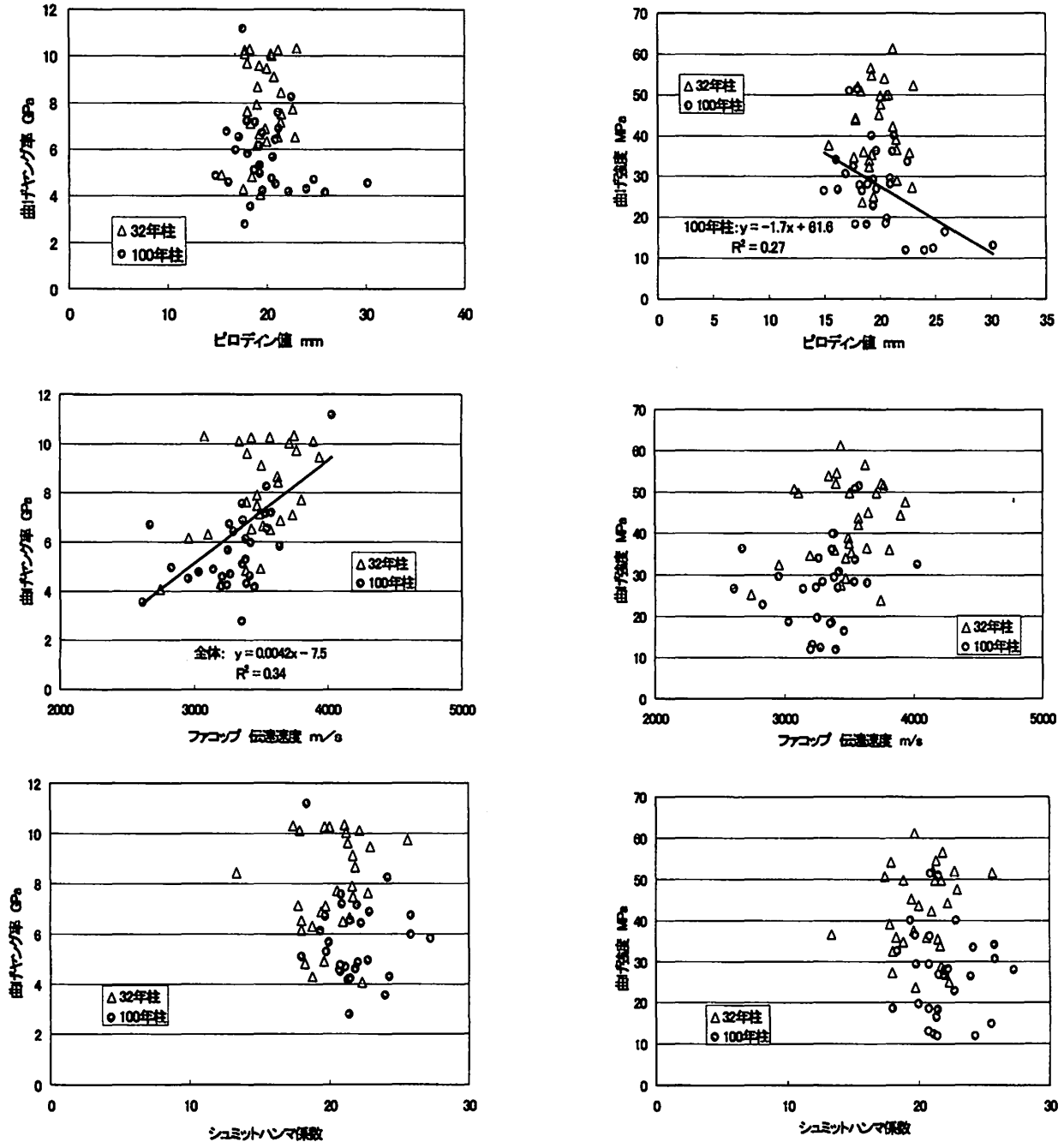


図-1 腐朽度と強度性能

いる。解体に際して、事前に柱、土台位置を記録し、柱の全数を採取した。柱は110mm角から180mm角まで様々であり、当然ながらほぞ穴や切り欠きを有している。一方、建具に囲まれた柱では、床から鴨居高さまでは、刻み加工のないものも多かった。

柱の強度性能を把握するため、採取した柱はスパン2m、荷重点間距離を50cmとした4点荷重法とし、極力、ほぞ穴や切り欠きで破壊しないように配慮して曲げ試験を行った。腐朽度の評価は、ピロディン、シュミットハンマ、ファコップの3種類で行った。ピロディンは、一定圧力で針を材に打ち込み深

さを測るもので、腐朽した材では貫入量が大きくなる。針の径2.5mmで、4材面に各1回打ち込み、平均値を用いた。シュミットハンマは、鋼球を用いて反発力を計測するもので、腐朽部では反発力が小さくなると予想される。4材面で計測し、平均値を用いた。ファコップは応力波の伝達速度を計測するもので、原理的にヤング率との高い関係が期待できる。材長方向では区間50cmで、また断面の横方向について各1回ずつ測定した。曲げ強度性能との関係を求めることが目的であることから、腐朽度の測定部位は荷重点間部位で行っている。

表-1 スギ柱の実大曲げ性能

|      |      | n  | 含水率<br>% | 比重   | 曲げヤング率<br>Gpa | 曲げ強度<br>Mpa |
|------|------|----|----------|------|---------------|-------------|
| 32年  | 全数   | 30 | 18.2     | 0.42 | 7.86          | 42.7        |
| 100年 | 全数   | 30 | 22.7     | 0.42 | 5.55          | 27.0        |
| 32年  | 内部全数 | 16 | 18.8     | 0.42 | 7.79          | 43.3        |
|      | 外部全数 | 14 | 17.5     | 0.42 | 7.93          | 42.0        |
| 穴なし  | 内部   | 8  | 18.3     | 0.40 | 7.26          | 45.2        |
|      | 外部   | 8  | 17.5     | 0.41 | 8.92          | 45.9        |
| 100年 | 内部全数 | 16 | 20.5     | 0.43 | 5.77          | 32.4        |
|      | 外部全数 | 13 | 25.2     | 0.41 | 5.33          | 21.7        |
| 穴なし  | 内部   | 13 | 20.3     | 0.43 | 5.90          | 33.8        |
|      | 外部   | 8  | 24.9     | 0.42 | 6.00          | 25.6        |

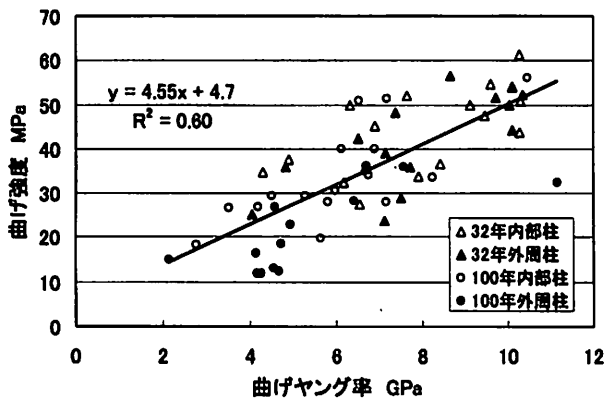


図-2 ヤング率と曲げ強度の関係

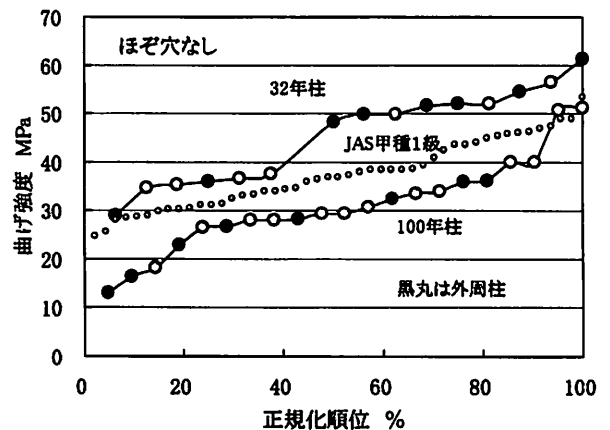


図-3 柱曲げ強度の正規化順位

### 3. 試験結果

#### 3.1 腐朽度と曲げ強度性能

柱の曲げ強度性能と腐朽度の関係を一括して図-1に示す。シュミットハンマについてはヤング率、曲げ強度とも相関は認められなかった。土木用資材の腐朽度と強度の関係については、飯島ら<sup>2)</sup>、町田ら<sup>3)</sup>、大橋ら<sup>4)</sup>が、治山工事における木製構造物の腐朽度の評価法として、ピロディン試験が曲げ強度や圧縮強度等の評価に有効なことを報告している。本試験における曲げ強度とピロディン値の関係については、一部を秦、筆者ら<sup>6)</sup>が報告している。本試験では全体的には顕著な関係は認められないが、100年経過した柱については曲げ強度との関係が認められた。100年を経過した柱では、かなり腐朽の進んだ柱もあったためとみられる。腐朽の少ない32年柱では相関がみられないことから、ピロディンは、大きく劣化したものでないと明確な関係が得られない

ようである。

ファコップによる応力波の伝達速度は、ヤング率とは密接な関係を示したが、曲げ強度との相関が低かった。曲げヤング率と曲げ強度の間には、一般的な相関が存在(図-2)しているにもかかわらず、伝達速度と曲げ強度の関係が認められない原因については、明らかではない。

#### 3.2 柱の曲げ強度性能

柱材の曲げ試験の結果を表-1に一括して示す。ほぞ穴や切り欠きの存在は強度性能に大きな影響を与えるため、ほぞ穴が破壊に影響したものはほぞ穴ありとして区別して扱うものとする。柱材は、32年経過のものが30本、100年経過のものが30本の総数60本である。

柱の曲げ強度性能は、32年経過柱ではヤング率7.86GPa、曲げ強度42.7MPa、100年経過柱では、ヤング率5.55GPa、曲げ強度27.0MPaとなった。

100年経過柱は32年経過柱の68%の強度性能となった。図-3に、ほぞ穴なしの柱の曲げ強度の正規化順位曲線を示した。富山県産スギのJAS1級材の正規化順位曲線<sup>6)</sup>も記入したが、32年経過の柱はこれらに比べてヤング率、曲げ強度とも高い傾向にある。これは、4面ともほとんど節のない良質な柱を用いていることが伺える。また、32年経過した柱の平均年輪幅3.3mmに対して100年経過した柱は5.6mmと大きく異なっており、初期的な材質が32年柱とは異なっていることが考えられる。特に、腐朽していない柱でもヤング率が低い値を示しており、当地域がボカスギ地帯でもあることから、ヤング率の低い材が切り出されたと考えるのが妥当と思われる。

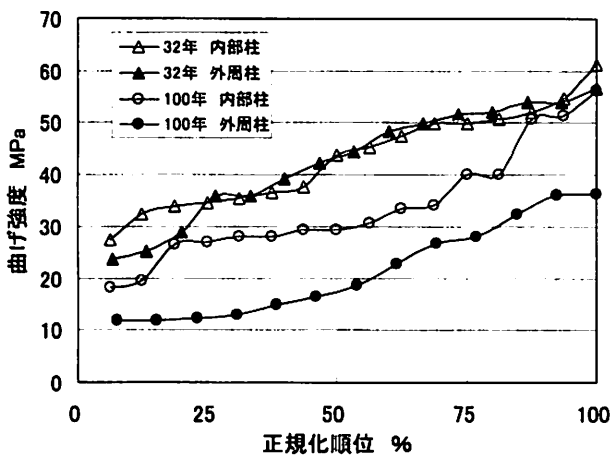


図-4 柱の位置と曲げ強度

100年経過した柱に関してみると、建築法令における基準曲げ強度22.2MPa以下の柱材が約20%存在する状態にある。これは水はけが悪く全体的に含水率の高い状態におかれ屋外に暴露されたものも含むような環境で100年を経過するという木材にとっては非常に厳しい条件下における残留強度の結果を表したものと見える。住宅における柱の位置と曲げ強度の関係を内部と外周部に分けて図-4に正規化順位曲線を示した。100年経過した柱についてみると、外周の柱は内部の柱の76%の強度となっており、この差が腐朽による強度低下と考えられる。

3.3 住宅平面における柱材の強度性能の分布

図-4では、32年経過した柱では、強度順位の高い領域では、内部と外周で差がほとんどみられないが、低強度順位の領域で、外周柱に低強度のものが現れている。すなわち、条件の悪い一部の柱で劣化

が始まり、強度の低下が起き始めているものと考えられる。一方、100年経過した柱では、外周柱は内部の柱の平均76%程度の強度となっている。この住宅のおかれた環境下では、100年の経過により外周柱では大きな強度低下が起きることが示されている。図-5に住宅平面図における各柱の強度性能を示したが、ヤング率では100年経過した柱材が全体に低いこと、北外周、東外周でヤング率、曲げ強度とも低いことが認められる。枠の内を構成する広間周辺の柱材は腐朽していなかったが、ヤング率が低いことが示されている。曲げ強度の低下しているものが、腐朽状態にあることが示されている。32年経過したのもでも、西外周にヤング率、曲げ強度とも低い柱があり、腐朽状態にあることが伺える。

曲げ強度の低下は特に北面、東面の外周に強度の低い柱が集中しており、劣化が集中している傾向が

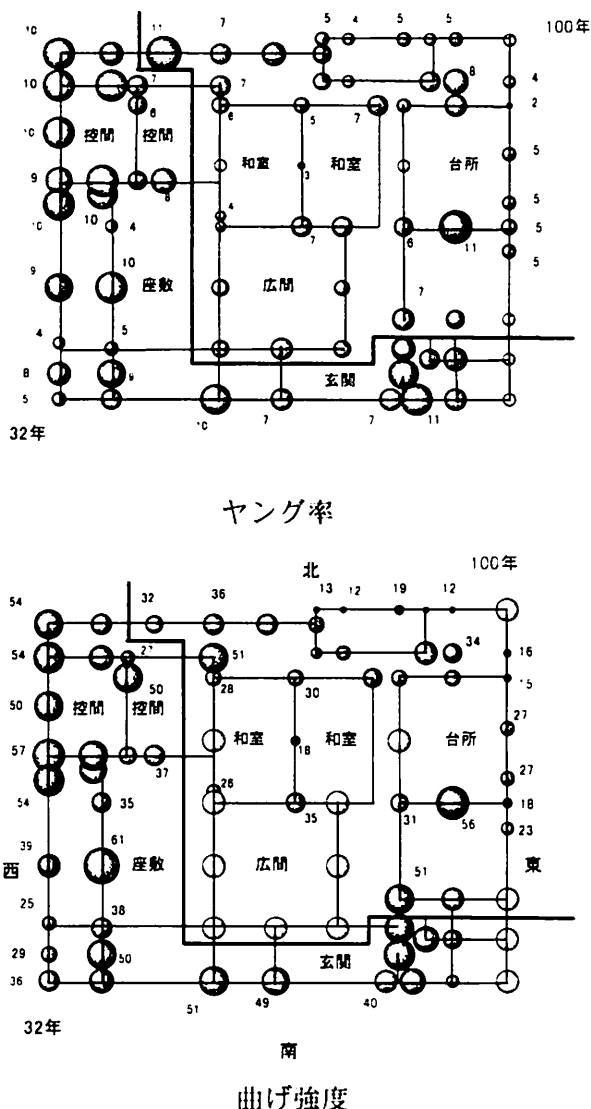


図-5 柱の強度性能の平面分布

明らかになっている。個別の柱の強度性能の低下による局所的な危険性と、耐力の不均衡による構造的な倒壊の危険性を生じている。長期間の使用による住宅の劣化については、構造性能を含めた総合的な評価法の確立が重要と思われる。

#### 4. まとめ

100年を超える民家型の住宅の解体調査を行い、そこで用いられた柱材の腐朽状況と曲げ強度性能の関係を検討した。結果は、以下のとおりである。

- 1) 腐朽度計測法と曲げ強度性能との関係は、大きな腐朽を伴う条件ではピロディンの有効性が認められた。ファコップによる応力波伝達速度は、曲げヤング率とは高い相関が認められたが、曲げ強度とは相関が認められなかった。この原因は明らかではない。
- 2) 100年経過した柱は、32年経過した柱の68%の曲げ強度となったが、これは腐朽の影響に加えて初期の材質的な違いの影響が認められる。
- 3) 100年経過した柱の内部と外周部で曲げ強度を比較すると外周部は内部の76%となっており、腐朽による強度低下と考えられる。
- 4) 100年経過した柱でみると、基準強度以下の柱が約20%、特に外周に限れば50%が基準強度以下になっており腐朽による強度低下が大きい。真壁造で柱が屋外に曝されていることが関与していると思わ

れる。

- 5) 腐朽による柱の強度低下は、住宅の北面と東面の外周部に集中している。個別の柱の強度性能の低下による局所的な危険性と耐力の不均衡による構造的な倒壊の危険性を生じている。長期間の使用による住宅の劣化については、構造性能を含めた総合的な評価法の確立が重要と思われる。

#### 引用文献

- 1) 中谷 浩、秦 正徳ら、100年を経過した住宅の耐久性調査（第1報）一部材の含水率と腐朽の状況－、富山県林業技術センター研究報告、No.20、p18、2006
- 2) 飯島泰男、土木用木質構造物の耐用年数評価について、木材保存25、5、P209-218（1999）
- 3) 大橋一雄、多田野修、ピロディンおよび目視被害度をもちいたカラマツ杭材の耐用年数評価、岩手県林業技術センター研究報告、N13、P35-40、2005
- 4) 町田初男、小黒正次、県産材の耐久性能に関する研究、群馬県林業試験場研究報告、N10、P13-19、2004
- 5) 秦 正徳、中谷 浩ら、長期耐用された地域型木造住宅の耐震診断におけるピロディン閾値、木材保存、Vol30、No.1、p6-14、2004
- 6) 内部資料

#### Summary

To obtain information to improve the life of the house, we performed a dismantlement investigation of a house built in the traditional construction method in Toyama Prefecture 100 years or more ago. To clarify the relation between the decay level and the strength performance of the wood, we gathered all the columns of the house. After the decay level had been measured with three kinds of machines, the Fakopp, the Schmidt hammer, and the Pirodin, the bending test was done. In the columns that were 100 years old the Pirodin value had a correlation between bending strength and decay. It seems that the Pirodin test was effective in conditions with a high decay level. Moreover, the transmission speed with the Fakopp where the relation to the Young's modulus was expected showed a high correlation with the Young's modulus. However, the transmission speed did not have a correlation with bending strength, though the Young's modulus and bending strength showed the usual correlation. This cause is not understood. Bending strength of the 100 years old columns were 68% of the columns that were 32 years old.

The Young's modulus and bending strength of the 32 year old column were 7.86GPa, and 42.7MPa, respectively. On the other hand, the 100 year old column was 5.55GPa, and

27.0MPa respectively. We think that the strength decrease appeared because of the initial material difference (annual ring width and Young's modulus) and decay. About 20% of the 100 year old columns were below the standard bending strength of the Building Standard Code. Especially, the decay of the column in the outer area was remarkable, and half of the columns were below the standard strength. These pillars were chiefly concentrated on the facing north and the east side of the house. Therefore, a disproportion effect on structural power was caused, and it is necessary to examine its safety to avoid a collapse of the structure.