

金沢市における伝統木造建物の構造特性と耐震性能に関する研究

A study on structural characteristics and seismic performance
of traditional wooden houses in Kanazawa

河原 大¹・佐久間 譲²・須田 達³・後藤 正美⁴・鈴木 祥之⁵

Hiro Kawahara, Yuzuru Sakuma, Tatsuru Suda, Masami Gotou, Yoshiyuki Suzuki

¹学部生 金沢工業大学 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

Student, Kanazawa Institute of Technology

²大学院生 修(工) 金沢工業大学大学院 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

Graduate Student, Kanazawa Institute of Technology, M.Eng.

³博(工) 木四郎建築設計室 (〒605-0811 京都府京都市東山区小松町148-1)

Kishiro Architectural Design Office, Dr. Eng.

⁴教授 博(工) 金沢工業大学 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

Professor, Kanazawa Institute of Technology, Dr.Eng.

⁵教授 工博 立命館大学 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, RITSUMEIKAN University, Dr.Eng

The structure performance of traditional wooden houses in Kanazawa is clarified by investigating their structure details. There are four types of traditional wooden houses: urbane house (Machiya), merchant house (Shouka), farm house (Nouka) and old samurai residence (Bukeyashiki). In this study, three types of traditional wooden houses: urbane house, merchant house and farmhouse are dealt with. Static tests of mad-walls under lateral cyclic loads were carried out to examine the seismic performance of mad-walls under the specification of Kanazawa. From experimental and investigation results, seismic performance of the traditional wooden houses are made clear.

Key Words: *traditional wooden house, seismic performance, structural characteristics*

1. はじめに

近年多発している地震では、多くの木造建物が被害を受けており、耐震対策は重要な課題である。特に伝統的な木造建物は地域の特性を反映しており、様々な構法や技術によって構成されていることから、構造特性や耐震性能を明らかにし、適切な耐震診断と耐震対策を実施する必要がある。

実在の伝統木造建物の耐震性能に関する研究は、近年多くの報告^{例えは¹⁾・²⁾}がなされているが、北陸地域の建物を対象にしたものは、ほとんど無い。本論では、金沢市域の伝統木造建物を対象に、構造調査を行うとともに伝統的な構法で再現した土壁の静的実験を実施し、調査結果と実験結果を基に耐震性能を評価する。

2. 研究目的

本研究の主な目的は、金沢市域の伝統木造建物を対象に現地で構造調査を実施し、構造特性を明らかにすること、構造調査結果に基づき金沢仕様の土壁を再現し復元力特性を明らかにし、限界耐力計算³⁾によって耐震性能を評価することである。

3. 対象建物

研究の対象建物として町屋を2棟、商家を2棟、農家を3棟調査した。その建物の一覧を表1に示す。

表1 対象建物一覧

NO.	名称	種類・所在
1	M邸	町屋・金沢市野町
2	旧中屋家	町屋・金沢市湯涌町
3	東茶屋休憩館	商家・金沢市旧観音町城内
4	旧松下家	商家・金沢市湯涌町
5	旧平家	農家・金沢市湯涌町
6	旧高田家	農家・金沢市湯涌町
7	旧野本家	農家・金沢市湯涌町

注：No.4～7の建物は、金沢市域に建てられていた建物を保存するために、金沢市湯涌町の金沢市の施設に移築されたものである。

4. 調査概要

現地での構造調査により、主な部材寸法、壁配置、平面形式、開口部、階数、最高高さ等について可能な限り調査を行った。現存する建物には様々な制約があり、調査内容については詳細な範囲まで行えなかったが、建物番号NO.1については、建て替えが行われる建物で、家財道具は搬出されており、必要に応じて仕上げ材や壁の一部を除去できる状況であったので、木組や土壁（小舞仕様）の構造詳細調査を実施した。

(1) 調査建物概要

町屋、商家、農家の例として、それぞれ、建物番号NO.1、建物番号NO.3、建物番号NO.5を対象に、調査結果の概略を示す。

(a) 建物番号NO.1

江戸時代に建てられた足軽住宅で、江戸時代末期から昭和の間に改修が行われているが、その年代は定かではない。その平面図を図1、2に、断面図を図3に示す。アマと呼ばれる屋根裏部屋の様子を写真1に示す。

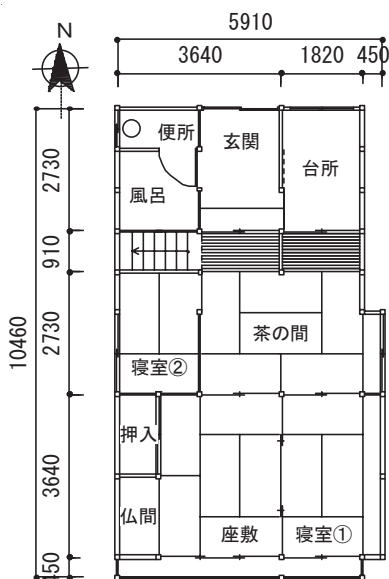


図1 建物番号NO.1の1階平面図

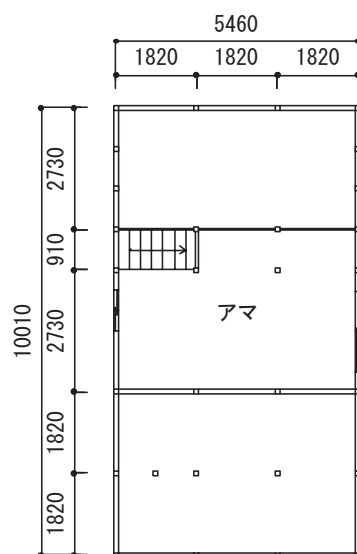


図2 建物番号NO.1の2階平面図

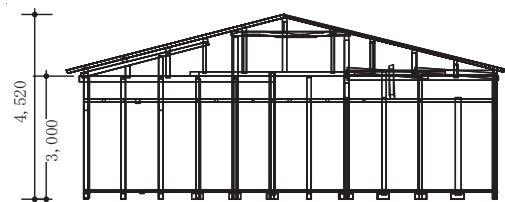


図3 建物番号NO.1の2階断面図



写真1 アマの様子

(b) 建物番号NO. 3

江戸時代末期に建築された町屋である。その平面図を図4, 5に、断面図を図6に、建物前景を写真2に示す。

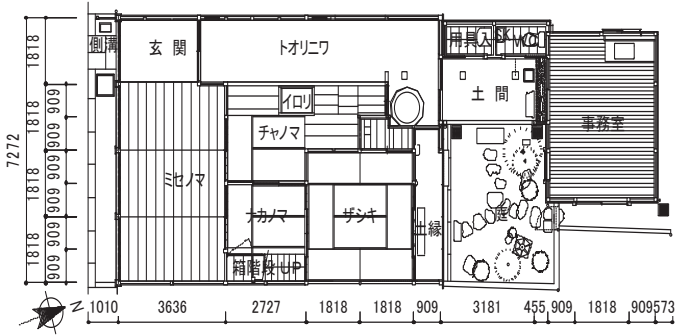


図4 建物番号NO. 3の1階平面図

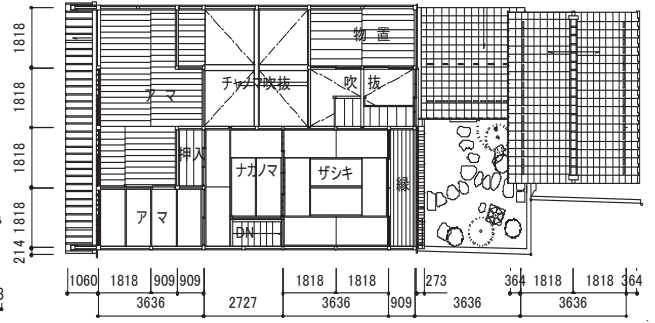


図5 建物番号NO. 3の2階平面図



写真2 建物番号NO. 3の前景

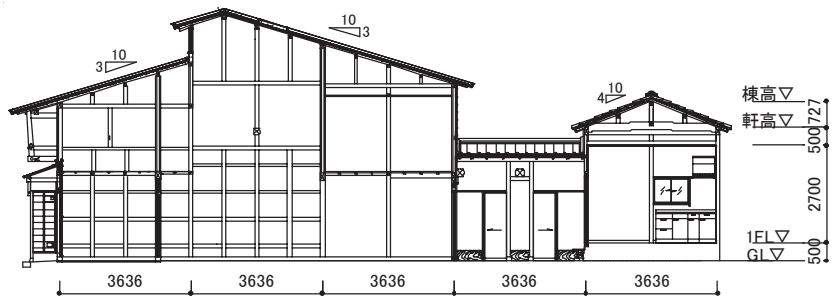


図6 建物番号NO. 3の断面図

(c) 建物番号NO. 5

18世紀中頃に建築されたと思われるが、正確な年代は定かではない。平面図を図7に、断面図を図8に、建物全景を写真3に示す。

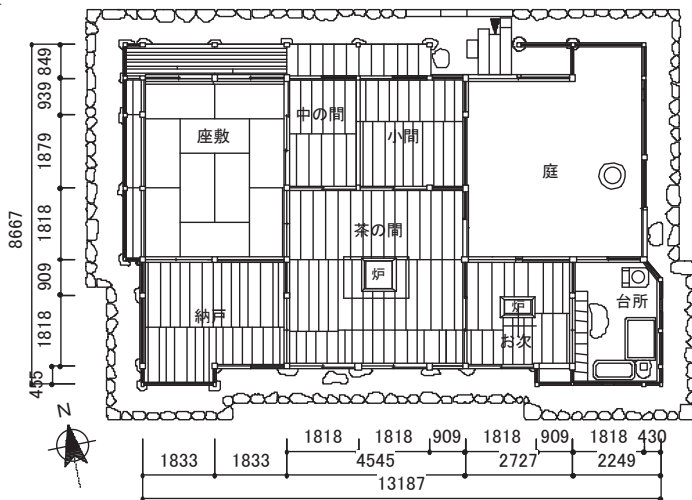


図7 建物番号NO. 5の平面図

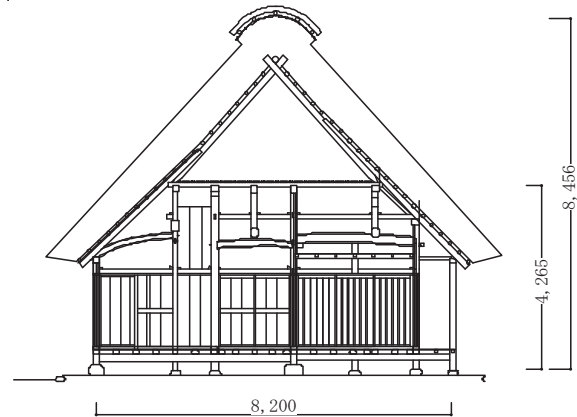


図8 建物番号NO. 5の断面図



写真3 建物番号NO. 5の全景

(2) 構造要素概要

調査の結果を構造要素ごとに以下に示す。

(a) **基礎**：調査した町屋の基礎は、300mm四方程度の自然石と見られる石を用いた礎石立ちとなっていた。調査した農家の基礎については、柱・床束は川石の自然石の上に礎石立ちとし、台所や便所回りは凝灰岩の切石を二段積みになっている。

(b) **軸組**：調査した町屋は梁間方向の軸組である側柱が1820mm間隔で配置されている。柱断面は全て105mm角で統一されていた。調査した農家の柱は礎石に光付け、上端は上屋梁、軒桁にほぞ差しとなっている。柱は内外ともにほぼ1820mm間隔で配置されている。柱断面は貫を通す柱が150mm角、貫を通さない柱が130mm角程度である。

(c) **足固めの構法**：調査した町屋は基礎が礎石立ちであるが、足固めの構法は見られない。移築時の改修によってほぞ差しの足固めがされている箇所がある。調査した農家の足固めの構法は、大引き、足固めともにクリ材の太鼓落としで、柱脚元にほぞ差しとなっている。建物番号N0.7は梁間方向が大引き、桁行方向が足固めとなっている。

(d) **貫の構法**：調査した町屋には、柱と柱の間に貫を貫通させる「通し貫」という構法が見られた。これにより、骨組みが柔軟になるとされている。調査した農家の貫の構法は巾130mm、厚33mm、松材で両面台鮑仕上げとなっている。継ぎ手は略鎌継ぎで柱中で継いでいた。上下面に間渡し穴を穿つ。梁間、桁行方向共に同じ高さに通し、柱の貫穴は楔しろ分だけ上下に違えている。

(e) **小屋組の柱・梁仕口**：一方を上屋の柱にほぞ差して鼻栓を二本止めとし、もう一方は下屋の軒桁上に掛ける。この仕口は梁の下面を大きく欠きとって軒下に掛けるものである⁴⁾。

(f) **土壁**：調査した町屋の外壁及び間仕切り壁には、ヨシやススキの小舞下地の土壁が使用されていて、小舞の編み方は「巻搔き(写真4(a)参照)」である。間渡しには竹が使用され、柱に打たれた竹釘(ウグイス)(写真4(b)参照)に接合する。縦貫が中心に一本、横貫が五段入っていて、貫と間渡し竹との接合には和釘が用いられている。壁厚は外壁が70mm程度、間仕切り壁が60mm程度である。

(g) **屋根**：調査した町屋の屋根は板葺き石置屋根、棧瓦屋根であったが、年数がたつにつれてトタン葺き屋根に改修されたものもある。屋根勾配は16°程度、形状は切妻・妻入りが一般的であるが、建物番号N0.2は勾配35°程度の入母屋・平入りである。調査した農家の屋根は全て茅葺き屋根となっている。

5. 金沢仕様の土壁の静的水平加力実験

金沢の伝統木造建物の耐震診断を行う際に、金沢仕様の土壁の復元力特性を用いるため、金沢仕様の土壁を再現し、静的水平繰り返し加力実験を行う。

(1) 試験体種類

試験体は、段階的に、試験体1：柱+桁、試験体2：柱+桁+貫、試験体3：柱+桁+貫+小舞、試験体4：柱+桁+貫+小舞+土壁の4段階に設定して、それぞれの構造要素と力学的特性の関係を明らかにする。

試験体の主な仕様は、・試験体スパン1830mm×2700mm、・桁断面105mm×190mm、・柱断面、土台断面105mm×105mm、・貫断面15mm×75mm、・柱-桁、柱-土台接合部はほぞ差し、・柱-貫接合部は楔止め、・立貫横貫は釘止め、である。試験体の概要を図9に、小舞の仕様を写真4に示す。

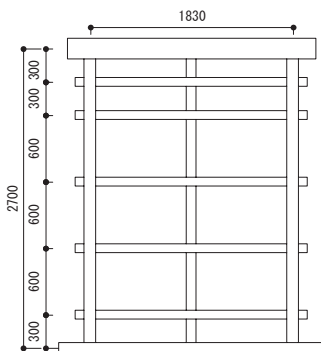


図9 試験体の概要



(a) 巻搔き



(b) 柱にウグイスを打ち込んだ様子

写真4 土壁小舞の仕様

(2) 実験方法

試験体の桁上部に水平加力柱頭治具を設置し、試験体中央を作用点とし、オイルジャッキによる加力を行う。水平加力は変位制御とし、見かけのせん断変形角が $\pm 1/600(4.5\text{mm}) \sim \pm 1/10(270\text{mm})[\text{rad}]$ を荷重反転として、全て3回繰り返して加力する。設置の際、柱頭・柱脚はホルダウンを用いて、柱が土台・桁から抜けないようにする。柱脚部分のホルダウンは土台と反力フレームを通して固定する。

(3) 実験結果

各試験体の復元力特性の骨格曲線を図10に示す。試験体3と試験体4の破壊状況を写真5、6に示す。

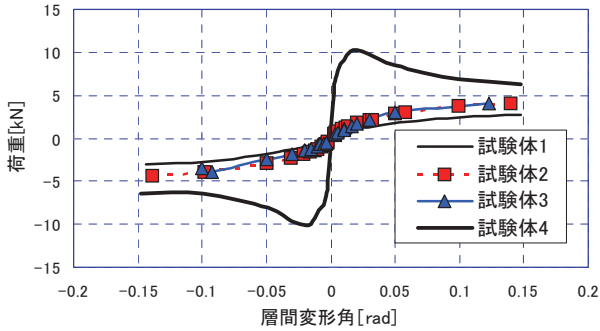


図10 各試験体の骨格曲線

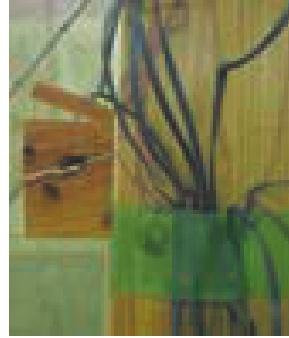


写真5 横貫の割裂



写真6 土壁土の落下

土壁の入った試験体4は他に比べ最も耐力が大きいが、変形角が大きくなるにつれ耐力の落ち方も大きいことがわかる。また、小舞の入った試験体3と小舞の入っていない試験体2を比べてみると、復元力特性にあまり違いがないことがわかる。試験体3と4を比較すると、土壁の落下に伴う耐力低下が発生しても軸組の耐力は確保されていることがわかる。

6. 耐震性能評価

実験で得た土壁の復元力特性を用いて、対象建物の復元力特性を求め、各方向ともに応答値が限界値以下であることを確認する²⁾。限界値の変形角を、損傷限界 $1/120\text{rad}$ 、安全限界 $1/15\text{rad}$ とする。耐震要素として採用した各構造要素の例を図11、12に示す。なお、建物重量の算定には、文献⁵⁾を参考に設定した。耐震性能評価の結果を表2に示す。建物番号NO.5と建物番号NO.1を例として、耐震要素配置図を図11と図12に、建物番号NO.1の応答値を図13、14に示す。

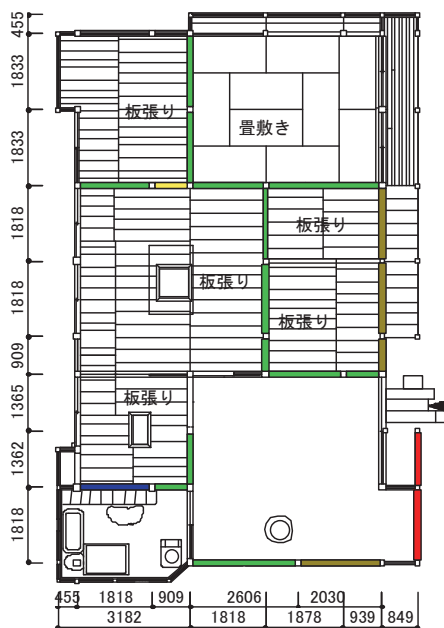


図11 旧平家耐震要素配置図

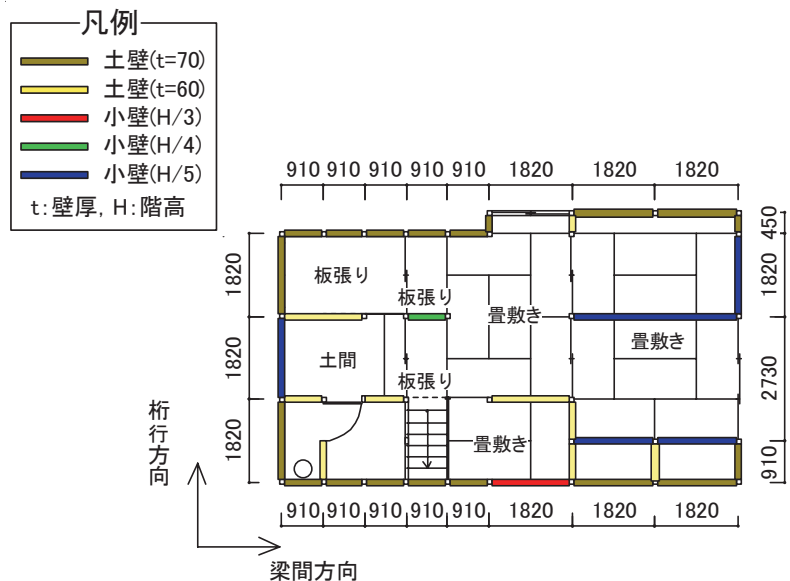


図12 建物番号NO.1耐震要素配置図

表2 耐震性能評価結果

建物番号	階	建物重量 [kN]	梁間方向			桁行方向		
			ベースシア係	損傷限界	安全限界	ベースシア係	損傷限界	安全限界
NO. 1	1階	350	0.45	1/251	1/36	0.19	1/122	1/19
NO. 2	1階	767	0.32	1/174	1/31	0.64	1/358	1/58
NO. 3	2階	473	0.25	1/265	1/68	0.12	1/552	1/60
	1階	188		1/172	1/28		1/86	1/14
NO. 4	2階	1070	0.20	1/130	1/25	0.08	1/376	—
	1階	291		1/180	1/36		1/75	—
NO. 5	1階	682	0.09	1/60	—	0.11	1/60	—
NO. 6	1階	562	0.25	1/164	1/30	0.29	1/162	1/30
NO. 7	1階	861	0.26	1/169	1/31	0.35	1/184	1/35

注：表中の—は応答値が求められないもの。

■は設定の限界値を満足していない建物を表している。

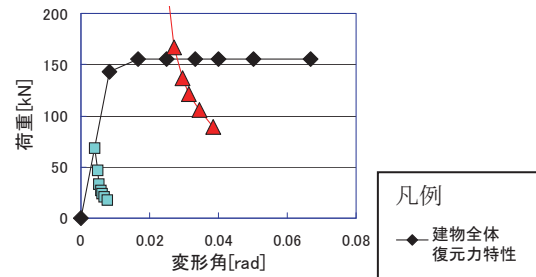


図13 梁間方向の応答値

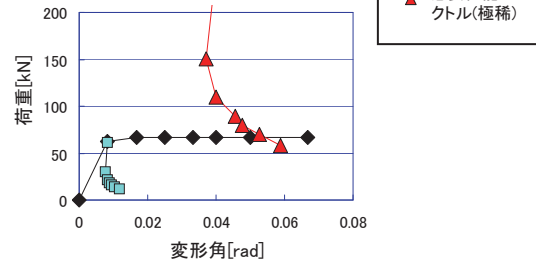


図14 桁行方向の応答値

表2の限界耐力計算の結果より、建物番号NO. 3は、2階の桁行・梁間方向、1階の梁間方向は限界値を満足しているが、1階の桁行方向だけが損傷限界・安全限界ともに限界値を満足していない。建物番号NO. 4は、2階、1階の梁間方向と2階の桁行方向の損傷限界においては限界値を満足しているが、桁行方向の1階と2階の安全限界が限界値を満足していない。No. 5は桁行方向・梁間方向ともに限界値を満足おらず、倒壊の危険性は高い。上記の危険性の高い建物は、ベースシア係数も低くなっており、土壁などの耐力要素が少ないと言える。表2のベースシア係数をみると、建物番号NO. 5～NO. 7の農家は、梁間・桁行方向では近い値となり、構造的なバランスが取れているが、町屋や商家は梁間方向と桁行方向では、おおよそ2倍近い差となり、図13、14に示すように、応答値も大きな差となり、構造的なバランスの確保がポイントとなる。

7. おわりに

本報では、金沢市にある伝統木造建物の町屋や農家、7棟を対象に構造調査を実施し、調査結果に基づいて作成した土壁の実験結果による復元力特性を用いて限界耐力計算を行い耐震性能を評価した。構造詳細調査では、建物の規模や構造部材の構成など及び間口や階高、主要構造部材の断面寸法などを明らかにした。

限界耐力計算の結果、建物番号NO. 1、NO. 2、NO. 6、NO. 7の建物の安全を確認することができたが、NO. 3～NO. 5の建物は、倒壊の危険となった。ベースシア係数や建物の復元力特性から、農家は構造のバランスが良いが、町屋・商家は、梁間と桁行方向で耐力差が大きく構造的なバランスに課題があるものもあった。

今回の検討では、柱や梁から構成される軸組の履歴特性は、既往のデータを使用した。今後は、金沢地域の木組の詳細を調査などで把握して、樹種や接合部のおさまりなどの構造特性を明確にして、より詳細な耐震性能評価を行うとともに、伝統構法の特徴を生かした耐震補強法の提案などを行っていく予定である。

謝辞：調査及びデータ整理を行うにあたって、金沢市役所の関係各位ならびに大谷内知子、近藤美香さん（金沢工大学生（当時））に多大な協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中治弘行他：東三河伝統構法民家の耐震性能評価のための静的繰り返し加力実験，日本建築学会構造系論文集，NO. 612、pp. 133-140、2007.
- 2) 杉山英男他：江戸時代に建築された農家の水平加力試験の結果，日本建築学会構造系論文集，NO. 360、pp. 23-30、1986.
- 3) 金沢市：「ふるさと文化財の森構想」事業 金沢湯涌化茅文化継承施設（仮称）建設の記録，金沢市，pp. 6-8、2006.
- 4) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル，学芸出版，p140、2004.
- 5) 鈴木祥之他：伝統木造住宅の重量算定—京町家の実大振動台実験における重量計測—，日本建築学会技術報告集，NO. 24、pp. 131-136、2006.