

京町家の構造調査に基づく構造特性の評価

Evaluation of Structural Characteristics of Traditional Wood Houses in Kyoto Based on Detail Investigation

須田達¹, 鈴木祥之², 奥田辰雄³, 小笠原昌敏¹

Tatsuru SUDA¹, Yoshiyuki SUZUKI², Tatsuo OKUDA³ and Masatoshi OGASAWARA¹

¹ 京都大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kyoto University

² 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

³ 木四郎建築設計室

Kishirou Architectural Design Office

To understand and evaluate structural characteristics of typical traditional wood houses in Kyoto, structural styles and details of thirty traditional wood houses were investigated. The wooden frames, seismic structural elements and joints are clarified. From investigation results, it is found that these wood houses have significantly different base shear coefficients in the directions; in particular, the base shear coefficients in the ridge direction are low. From the seismic performance analyses, it is suggested that the seismic reinforcement is needed for many traditional wood houses.

Key Words : traditional wood house in Kyoto, base shear, wooden joint, dead load, wooden frame

1. 目的

兵庫県南部地震以降、各地において大地震が起こり、そのつど、木造建物の被害が報告されている¹⁾²⁾。京都市では、近隣を含めた9つの断層による京都市域の被害想定が行われ、甚大な被害を被る予測もされている³⁾。また京都市内には、伝統的木造建物である京町家が広域的かつ面的に存在しており、総棟数は約2万8千棟あると言われている⁴⁾。これら京町家について、これまで歴史的、意匠的な観点からの調査は多くなされているが、構造、特に耐震性の観点から行った調査は少なく、耐震性は殆ど明らかにされていない⁴⁾。京町家は、古くから町を構成し、現在も生活に密着した建物である。地震被害想定³⁾では、これらの多くに倒壊の危険性があり、早急な対応が求められている。その方法として様々な補強方法が提案⁵⁾されているが、耐震補強は対象となる構造特性を把握し、その特性に適した補強方法を行う必要がある⁶⁾。そこで、京町家の構造的実態を詳細に調査を行い、耐震性に関する構造的性能を明らかにする。

2. 調査概要

調査対象となる京町家は、なるべく建築当時のままで現存する京町家の中から建物規模をパラメータに調査可能な30棟を選出した。建設地は図1中の●で示し、太線で行政区画を示す。対象地区は、京都市11地区のうち、京町家が多く存在する上京区、中京区、下京区、北区、東山区の5地区を対象地域とした。特に密集度の高い中京

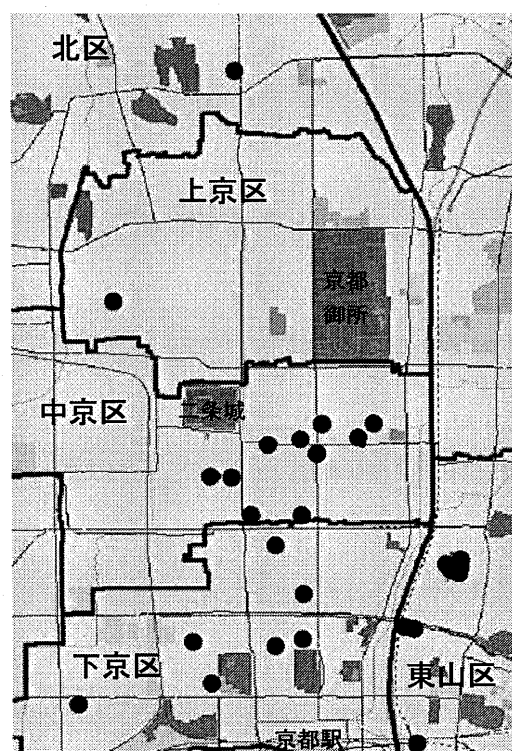


図1 対象建物の建設場所

区、下京区、東山区は調査棟数が多く、重点的に調査を行った。建物規模は、京町家の多くが2階建てで、間口の大きさに比例して建築面積が大きくなる事から、間口寸

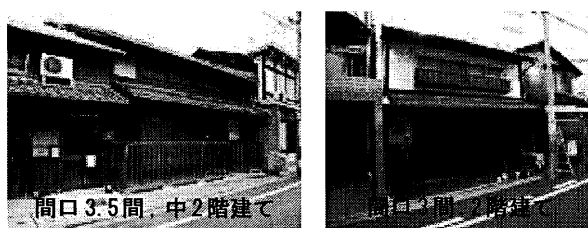


図2 調査建物の外観

法を基本パラメータとして2間から6間を選出し、さらに階数が平屋建て、中2階建て、2階建ての京町家を選出した。標準的な規模の京町家を図2示す。

調査は、意匠設計者、構造設計者、大工棟梁の協力を得て、それぞれの専門的視野から同時に行った。構造設計者は壁、小壁などの構造要素の仕様とその配置を、大工棟梁は仕口、継手からなる軸組架構や建築当時の構法などを調査した。意匠設計者は、実測に基づいて平面図、断面図を作成するとともに、それぞれの調査報告を反映した構造図、軸組図を作成した。さらに各専門的観点から各部を写真に記録した。

3. 京町家の形態

現在の京町家は、職住一体の併用住宅とその他に店舗、専用住宅、長屋住宅と様々に使用されているが、一貫した形態が設けられている。京町家の形態については、空間の構成やその名称など意匠的な観点から数多く報告されている（例えば、文献7)8)）。4章以降に述べる京町家の構法を説明する上で重要となる通り名、空間的な構成と名称を本報では以下に記述する。

図4のように、前面道路に平行な方向をけた行方向、直角方向を張り間方向として、玄関は前面道路に面して設ける。玄関から裏庭まで続く空間はトオリニワと呼び、床を土間、天井は屋根まで吹き抜ける。居室はトオリニワに沿って配置され、標準の平面形態はミセ、ダイドコ、オクノマの3室を1列に配置する1列3室型である。図3に居室とトオリニワの状況を示し、図4に1列3室型の平面図を示す。居室の数は奥行きに応じて1室から4室となり、間口の規模に応じて1列から2列となる。張り間方向で外壁面を側壁通り、トオリニワの居室側は大黒

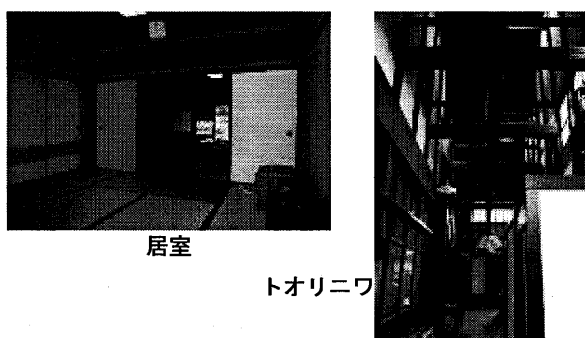


図3 京町家の室内

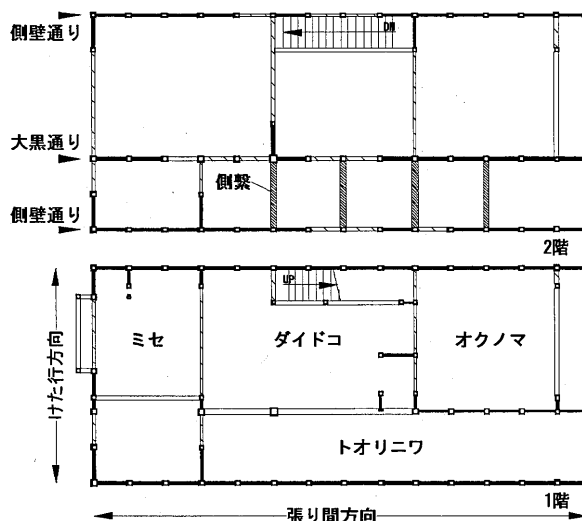


図4 1列3室型の平面図

柱を設けるため大黒通りと呼ぶ。

階数は、平屋建てが少なく、総2階建てとすることが多い。2階建てのうち、前面道路に面した2階の居室の天井高さが低い建物は中2階建て(1.5階建て)と呼ぶ。屋根は、切り妻・平入りで、葺土は屋根全体に葺くことはなく、一般に瓦の角度調整のためにすじ葺き程度に葺く。棟は、1箇所のものが多数であるが、トオリニワと居室部分を分けて2箇所に設けることもある。屋根勾配は、概ね3.8寸から4.0寸程度で若干のむくりを有するものが多い。

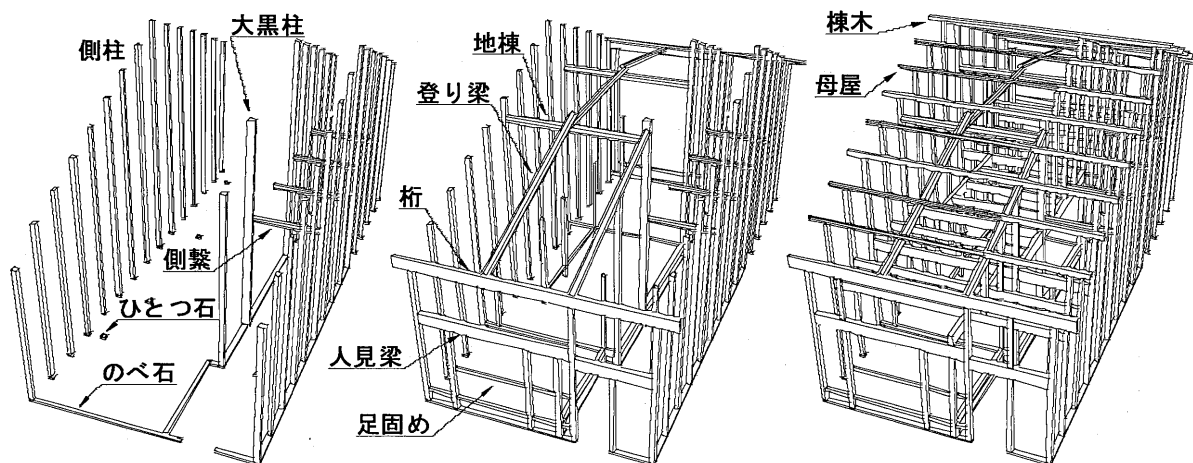


図5 軸組図と各部の名称

4. 構造的特徴

(1) 軸組

京町家の構法は、基礎を延べ石、ひとつ石とし、側壁通りと大黒通りに母屋までの通し柱を建てる。側壁通りは土台、胴差し、妻梁など横架材を設けないとされていたが、本構造詳細調査から、建築年代が昭和以降になると、基礎をコンクリートによる布基礎で土台を設ける、柱を管柱にして側壁には胴差や妻梁を設ける、隅角部に火打ちを設けるなど在来的な構法が取り入れられている

ことが分かった。対象建物30棟のうち、前述の伝統的な構法は21棟であり、以下の各項では、主に前述の構法で建築された京町家を報告し、後述の構法は変化する箇所を全体の軸組図で示す。

図5は立体的軸組図を示し、構造部材の名称を図中に示す。図6は、(a)に伝統構法による京町家、(b)に在来構法を取り入れた京町家の軸組図をそれぞれ示し、同図の仕口および継ぎ手の詳細図は、同図6(a)に示す番号と対応している。

a) 小屋組

小屋組は図7に示すように軒桁、地棟、登り梁、母屋、棟木で構成され、図3に示すトオリニワの小屋組と比べると非常に簡素な軸組と言える。

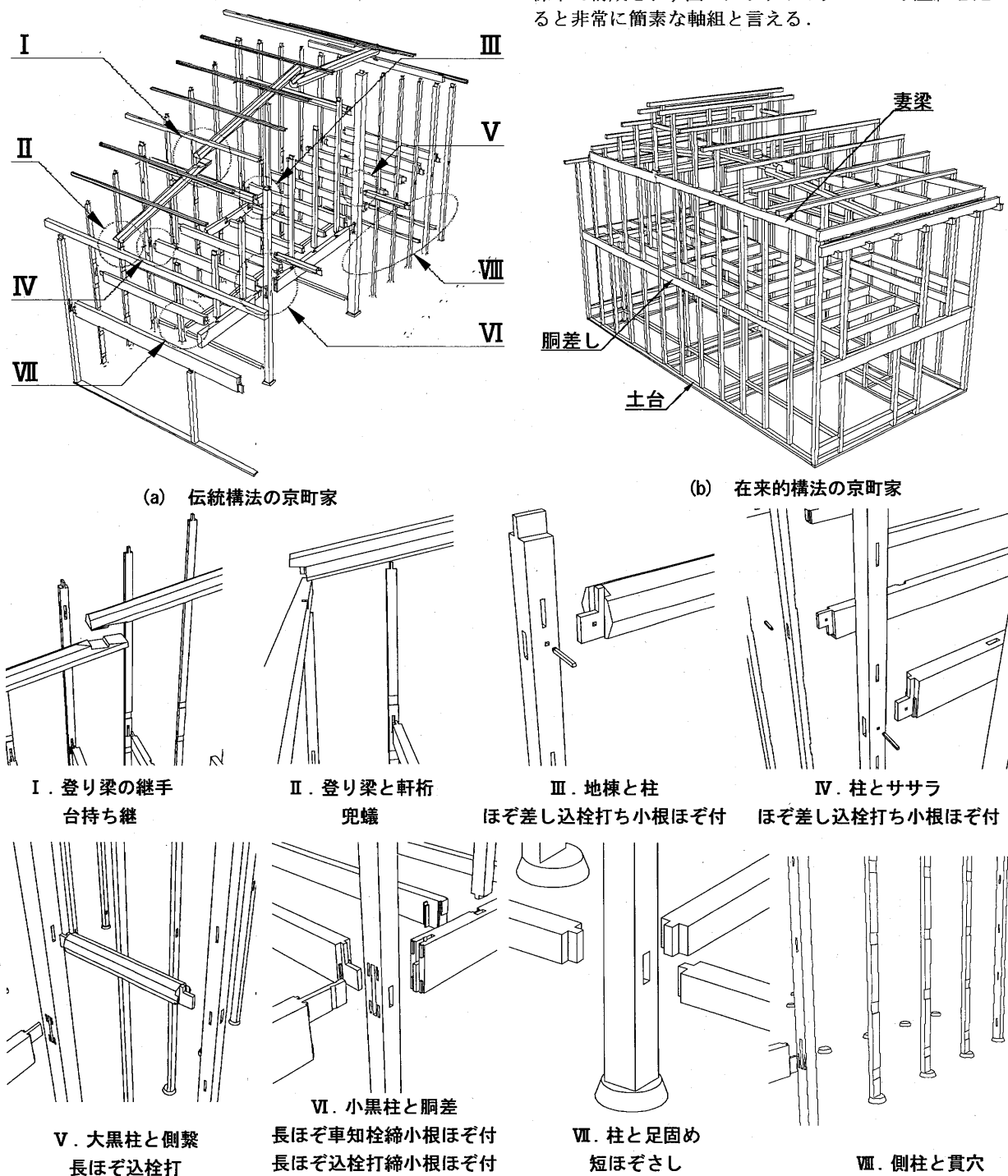


図6 軸組図と各部の仕口・継ぎ手⁹⁾¹⁰⁾

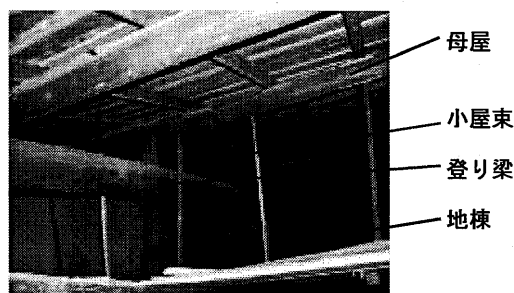


図7 小屋組

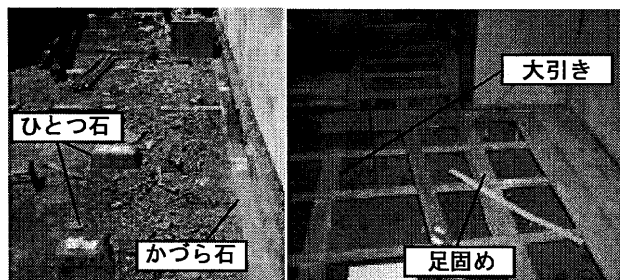


図8 基礎

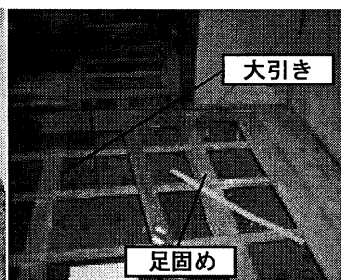


図9 床組

昭和以前の京町家は、軒桁レベルにおいても張り間方向に妻梁は無く、母屋や棟木は長ほぞ接合で柱に直接架ける。地棟は、けた行方向の横架材で中央部に1カ所と奥行きが長い場合にはさらに2から3カ所で側壁通から大黒通りに架かる。端部の仕口は図6Ⅲのように柱と込み栓により接合される。登り梁は張り間方向の横架材で、図6Ⅱのように軒桁から地棟に中央部で架ける。建物の奥行き寸法によっては、継ぎ手を設け複数の材が架けられることもある。継ぎ手は図6Ⅰのように台持ち継ぎで、比較的緩やかな接合である。小屋束は登り梁に立ち、母屋や棟木を支持する。登り梁や母屋には短ほぞで接合されカスガイ等の接合金物は使用されていない。

居室部分の母屋は90mm角及び100mmφから120mmφ、通り庭の母屋は120mm角程度で、小屋束と共に杉材を使用する。地棟、登り梁は丸太材で松を使用する。昭和以降に建築された京町家には、側壁通りに胴差や妻梁、火打ち梁などが確認できた。

b) 床組

2階床組は、大黒通りに胴差が架かるが、側壁通には胴差が架からない。その為、側壁通では梁、ササを柱に直接差し、図6Ⅳに示すように鼻栓または込み栓で留める。大黒通りの胴差と階段にそう桁およびササは、腰掛け蟻掛け又は蟻落しの仕口で接合される。

梁及びササの長さが2間の場合、断面寸法は100mm×210mmから120mm×240mm、1.5間スパンの場合、100mm×150mmから120mm×180mmの松材が使用される。

c) 柱

側壁の軸組は通り柱と半柱の側柱と貫で構成する。通り柱と側柱は共に通し柱で半間間隔に設け、母屋や棟木を直接支持する。貫は通り柱で通し貫、側柱では図6Ⅷのように欠き込んで釘留めする。居室の柱は管柱であり、一般的には檜材や杉材が使用され、他に榿材もある。

小黑柱と横架材は、3方から接合され、図6Ⅵに示すように長ほぞで1方を込み栓とし2方を車知栓とするなどの仕口が用いられている。大黒柱は側壁を繋ぐ側繋ぎが架けられ同図Ⅴのように長ほぞを込み栓でとめる。

寸法は通し柱で120mmから140mm角であり、側柱は見付け寸法が100mmから140mmで奥行き寸法が60mmから100

mm、居室の管柱は100mm角から120mm角程度である。比較的大規模な建築物には、150mm角から270mm角程度の断面を有する大黒柱と小黑柱が設けられる。

(2) 基礎

基礎は、図5、図8に示すように延べ石と玉石を使用する。玉石はひとつ石と呼ばれる自然石の独立基礎であり、延べ石は、かづら石と呼ばれ⁹⁾、通り庭及び前面道路に面する部分等に用いる。基礎には土台は敷かれず柱が直接立てられ、足固めと大引きで1階の床を構成する。

足固めは、一般には構造材として柱間に架ける横架材であるが、図9に示す京町家の足固めは敷居の受け材として使用し、枠差し釘止めする程度で柱間の広がりに対して有効ではない。その為、足固めによる曲げモーメント抵抗は期待できない。さらに同図の大引は、足固めや側柱に止めず、束で独立している。また胴差や妻梁と同様に昭和以降の京町家では、軸組の架構が異なりつつあり、一部にコンクリートの布基礎や土台が確認できた建物もある。布基礎の鉄筋は確認できなかった。

足固めは、概ね90mm角の杉材や100φから120φ程度の杉丸太が使用される。大引きは、90mm角程度の杉材及び檜材が使用され、ほぞ穴など、多くの欠き込みが見られ、殆ど古材が使用されている。

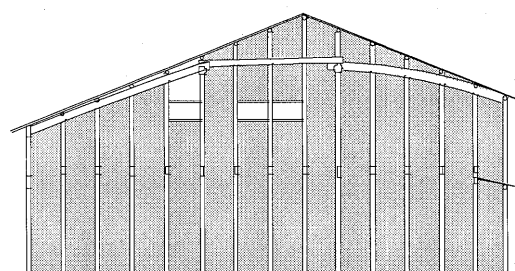


図10 張り間方向軸組図

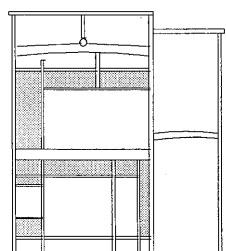
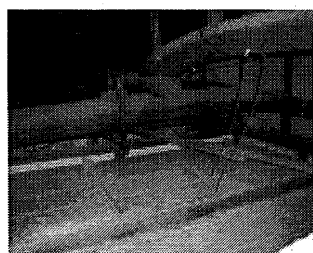
図11 けた行方向
軸組図

図12 土壁小壁



(a) 頭繋ぎあり



(b) 頭繋ぎなし

図13 小屋組内の土壁の施工状況

5. 構造特性

(1) 構造要素

京町家の主な構造要素は、土壁や土壁による小壁(以下、土壁小壁)と、柱と横架材で構成される軸組である。図5や図6に示される軸組において、柱頭のほぞと母屋などの仕口部や人見梁などの大断面の横架材と柱との仕口部におけるめり込みの効果を構造要素として考える¹¹⁾。

図10、図11に示す各方向の軸組図のように、張り間方向では両面の側壁のほぼ全面が土壁である。これに対して、けた行方向は、各居室の境界を襖とすることが多く(図4参照)、図11のように壁がほとんど無い。僅かに欄間部分を図12のように土壁小壁とする場合もあり、けた行方向では土壁小壁も重要な構造要素となる。しかし、2階の土壁や土壁小壁は、小屋組の軸組が簡素なために管柱を繋ぐ梁が無いので、図13(a)のように柱頭を頭繋ぎと呼ぶ薄い材で留める場合と、図13(b)のように天井から上の部分の壁土を施工しない場合がある。1階の床下の部分も同様に土壁を施工しない事が多い。このようなことから土壁、土壁小壁は、十分な構造的性能を発揮していない可能性がある⁹⁾¹²⁾¹³⁾。土壁の仕様は、竹小舞下地で壁厚55mm、貫は3段で断面寸法12mm×100mmから12mm×120mmの杉材を使用している。

(2) 重量算定

建物重量の算出は、屋根、各階壁、2階床の各構面の面積に単位荷重を乗じて算出した。屋根や壁の仕様は建物によって殆ど変わらないことや、設定する単位荷重によって建物の評価にばらつきが生じないようにするため、一様な単位荷重を設定した。

土壁の単位荷重は、既往の実験¹²⁾において京都仕様の土壁1構面を実測した値に基づいている。屋根の単位荷重は、葺土を屋根全面に葺かずに、筋葺きであることから建築基準法施行令第84条の単位荷重によらずに、対象建物とは別の解体中の建物の瓦と葺土を実測した値に基づいている。それ以外の単位荷重は建築基準法施行令第84条に基づいている。表1に単位荷重を示し、図14に構面ごとに分けて建物重量を示す。

(3) 耐力算定

対象建物30棟について、構造調査によって明らかにした構造要素から復元力特性を算定した。その際上下に隙間がある土壁は隙間の大きさに応じて耐力低減

表1 単位荷重 (N/m²)

屋根構面	瓦葺き(筋葺き土込み)	630×1.1
	小屋組等	200
	天井	100
	鉄板葺き	200×1.1
壁構面	土壁(仕上げ込み)	890
	開口	100
床構面	畳敷	340
	板張	150
	床ばり、天井等	250
	積載(地震時)	600

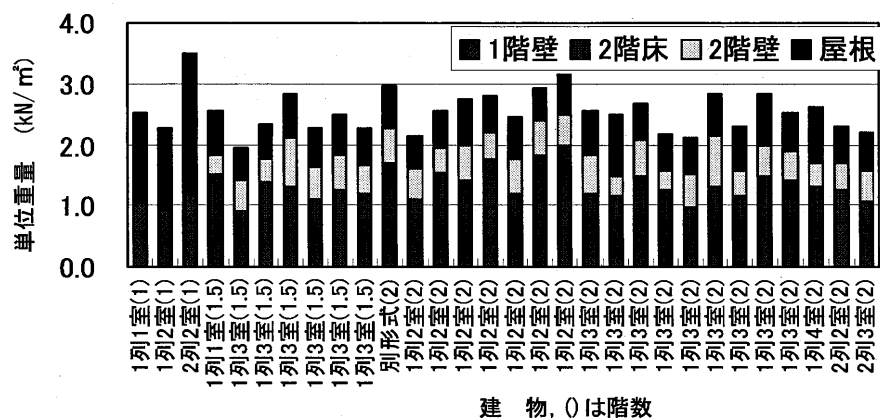


図14 構面ごとの重量

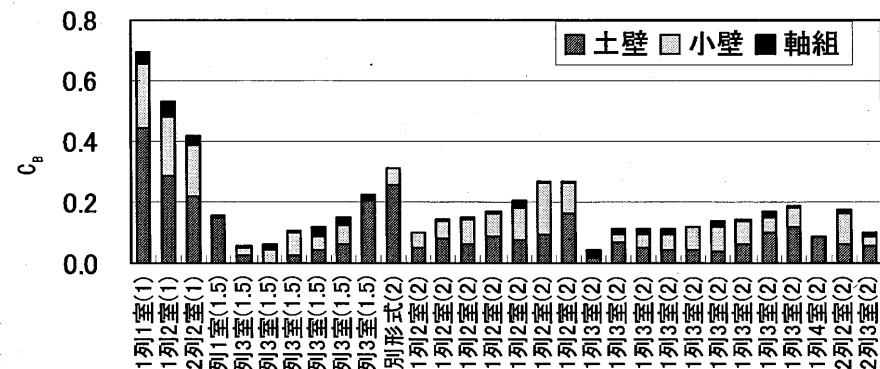
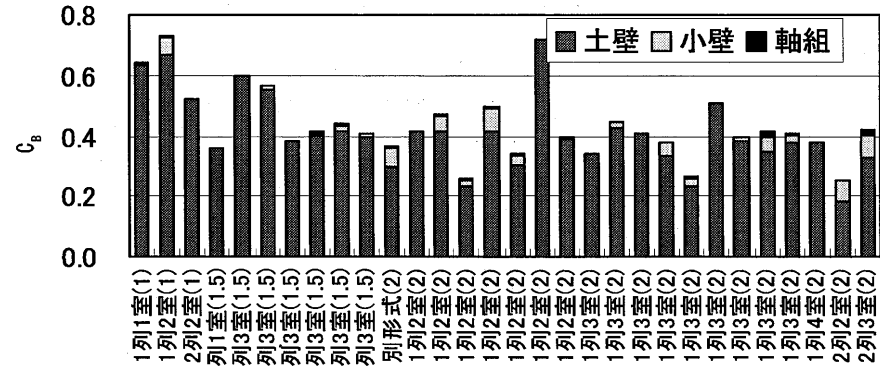


図15 要素ごとのCp

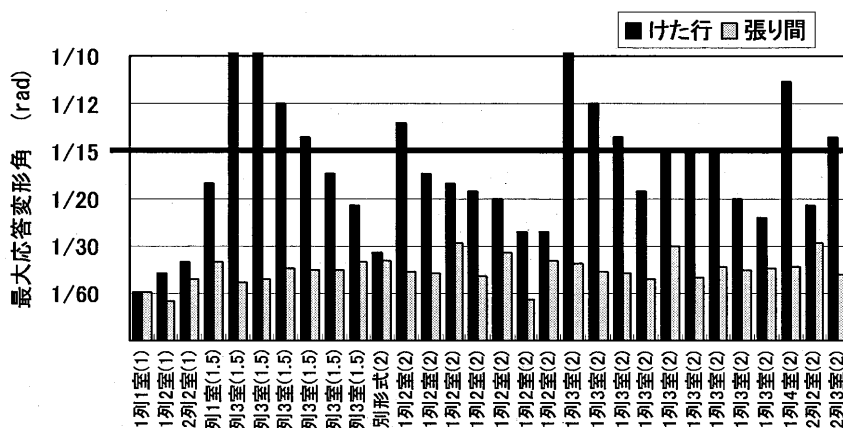
を行っている。低減方法は土壁上下の隙間が大きくなるにつれて小壁の状態に近づくと仮定して、架構の高さに対する壁土の高さの比を求めて、小壁の耐力と線形補間を行った。小壁は小壁の高さに応じて基準耐力を低減して算出している。柱や人見梁は接合部のめり込み面積に応じて算出した。それぞれの構造要素の基準耐力は既往の研究に基づいている¹³⁾。図15(a)(b)に各建物の構造要素で区分したベースシア係数(C_b)をそれぞれ方向別に示す。ベースシア係数の算出は変形角1/15radでの建物の耐力を用いている。

なお耐力算定では、評価基準を規模、形態で統一するために経年的な劣化は考慮していない。増築、改修部位は、家主へのヒヤリングや調査員の経験的知識に基づいて、建築当初を想定して排除している。

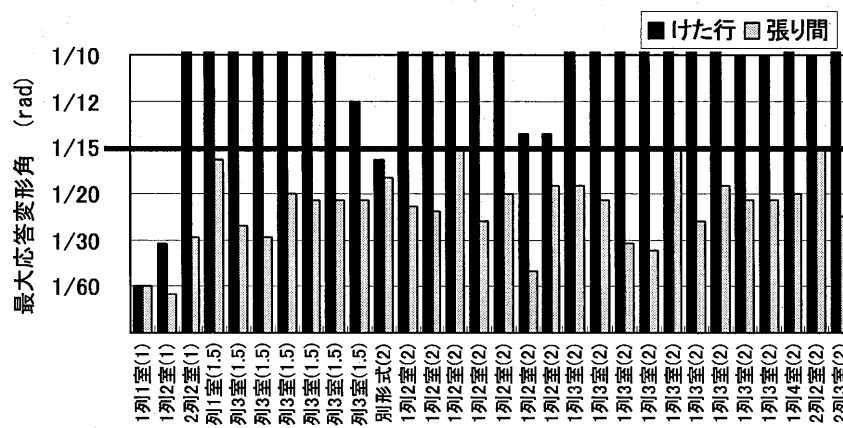
6. 構造特性の分析

図14、図15は階数の低い順で、部屋数の少ない順、さらにけた行方向の耐力の小さい順に並んでいる。

建物重量は52kN～643kNで、建物規模が大きいほど大きくなる。



(a) 第1種地盤 建物、()は階数



(b) 第2種地盤 建物、()は階数

図16 応答値

表2 京町家の構造的な性能

ID	平面形式	間口(m)	奥行(m)	階数	建築年代	基礎形式	土台形式	大黒柱(mm)	妻桁	火打	延床面積(m ²)	重量(kN)	ベースシア係数	
													けた行	張り間
001	1列2室	3.9	13.7	2階	昭和14年	ひ・の	足				97.1	284	0.27	0.72
002	1列3室	4.4	9.5	2階	昭和初期	ひ・の	足				69.7	197	0.14	0.51
003	1列3室	4.5	9.6	中2階	昭和初期	ひ・の	足				88.4	207	0.06	0.57
004	1列2室	4.7	12.8	2階	昭和7年	布	土				86.6	242	0.17	0.50
005	1列2室	4.8	5.0	2階	大正初期	の	足				41.6	120	0.27	0.40
006	1列2室	4.9	4.0	平屋	不明	ひ・の	足				39.5	88	0.53	0.73
007	1列3室	5.0	8.9	2階	明治末期	ひ・の	足				94.3	238	0.19	0.41
008	1列3室	5.0	10.0	中2階	大正期	ひ	足	140角			105.5	206	0.06	0.60
009	1列1室	5.1	3.9	平屋	不明	ひ	足				20.6	52	0.70	0.64
010	1列2室	5.2	5.4	2階	不明	の	足				50.5	124	0.21	0.34
011	1列3室	5.2	9.7	2階	昭和4年	布	足・土				199.6	432	0.11	0.38
012	1列2室	5.3	6.6	2階	大正期	ひ・の	足	140角			140.8	301	0.15	0.47
013	1列3室	5.5	10.3	2階	明治期	の	足	135角			115.4	287	0.11	0.45
014	2列2室	5.7	6.4	平屋	築200年	の	足				36.1	131	0.42	0.53
015	1列3室	5.9	12.7	中2階	不明	ひ・の	足	165角			145.4	362	0.15	0.44
016	1列3室	5.9	13.7	中2階	明治25年	ひ・の	足	200角			141.4	413	0.10	0.39
017	1列3室	6.0	11.0	2階	昭和6年	の	土	165角			124.2	304	0.11	0.41
018	1列1室	6.0	15.8	中2階	明治末期	ひ・の	足	150角			47.2	121	0.15	0.36
019	1列2室	6.0	15.8	2階	明治末期	ひ・の	足	185角			114.3	245	0.10	0.42
020	1列3室	6.1	11.8	2階	昭和7年	ひ・の	足・土	220角			133.0	377	0.17	0.42
021	1列4室	6.3	12.0	2階	大正末期	ひ・の	足・土				145.7	425	0.09	0.38
022	1列3室	6.5	10.9	2階	昭和12年	ひ・の 煉	足・土	180角			140.1	358	0.04	0.34
023	1列3室	6.7	13.9	中2階	明治初期	ひ・の	足	200角			153.9	341	0.12	0.41
024	1列3室	6.8	11.9	2階	大正末期	ひ・の 煉	足	180角			136.9	291	0.12	0.26
025	別形式	6.8	12.5	2階	明治	ひ・の	足				126.3	374	0.32	0.36
026	別形式	6.8	10.3	中2階	不明	ひ・の	足・土	140角			125.5	283	0.22	0.41
027	1列3室	7.5	8.9	2階	明治35年	ひ・の	足				132.6	305	0.14	0.40
028	1列2室	8.9	7.9	2階	大正期	ひ・の	足	220角			120.5	329	0.15	0.26
029	2列2室	11.2	7.7	2階	昭和8年	ひ・の	足・土				158.5	365	0.17	0.25
030	2列3室	10.8	15.7	2階	明治33年	ひ・の	足	340角			291.2	643	0.10	0.42

凡例 基礎形式 / ひ：ひとつ石 の：のべ石 布：布基礎 煉：煉瓦 土台形式 / 足：足固め 土：土台

ここで平屋建ては棟数が少ないため、1.5階建て以上を対象とすると、延べ床面積あたりでは平均 2.52kN/m^2 、標準偏差 0.31 である。また各構面の単位荷重は水平構面の個体差は小さく、全体の単位荷重は1階の壁の量に応じて増加する傾向にある。

C_b は全棟で張り間方向 0.25 から 0.73 、けた行方向で 0.04 から 0.7 である。平屋建ての3棟は規模が小さく、建物方向によらず耐力は比較的高い。図15最左の建物は、部屋数が1室で張り間よりけた行の方が長い。その為、この建物のみ、けた行の耐力の方が高くなっている。

1.5階以上では、それぞれ平均 0.42 と 0.15 、標準偏差 0.1 と 0.07 である。張り間方向の C_b は建物規模による影響は少ないが、けた行方向の C_b は建物規模が大きくなるほど小さくなる傾向がある。特に京町家の標準規模である1列3室型以上では C_b が 0.2 を超える建物はなく、張り間方向とは平均値で2倍以上の耐力差である。張り間方向は建物規模による影響は少ない。張り間方向の耐力は土壁の占める割合が大きく、約8割以上が土壁である。けた行方向は土壁小壁の占める割合が大きくなり土壁とそれ以外の割合が平均的にほぼ等しい。軸組の C_b は両方向とも小さい値である。各棟の算出結果を構造調査で明らかにした構造形式と共に構造的な性能として表2に示す。

図16は、限界耐力計算¹⁰⁾¹⁴⁾に基づく極めて希に発生する地震動に対する最大応答変形角の算出結果である。地盤種別は第1種地盤と第2種地盤であり、それぞれ(a)、(b)に示す。第1種地盤では、張り間方向の最大応答変形角は凡そ $1/30\text{rad}$ 以内であり、けた行方向は10棟が $1/15\text{rad}$ を超えている。第2種地盤では、張り間方向で $1/15\text{rad}$ 以内、けた行方向では殆どが $1/10\text{rad}$ を超えている。いずれの場合にもけた行方向の応答値が大きい。

建物の変形性能は、構成される構造要素によって決定されるが、京町家の構造要素が主に土壁と軸組であり、これらの耐震要素が $1/15\text{rad}$ 以上の変形性能を有することを実験的に確認している¹²⁾。これより京町家の安全限界変形角を安全側に見積もって $1/15\text{rad}$ と設定し、図16中に太線で示している。張り間方向は、概ね安全限界変形角を超えないが、けた行方向では、第1種地盤では10棟、第2種地盤では27棟が安全限界変形角を超えており、倒壊の危険性が指摘される。

7. まとめ

本研究では、構造的観点から京町家の調査を行い、軸組架構の構造特性を明らかにするとともに、耐震性能の評価を行った。

まず構造的な特徴として、構造要素の種類と配置から各方向の耐力構成を調べ、けた行方向の耐力が少なく、けた行方向と張り間方向で極端な耐力差が生じていることを指摘した。

限界耐力計算に基づいた耐震性能の評価では、多くの建物で、極めて希に発生する地震動に対して倒壊の危険性がある判定結果となり、耐震改修の必要性があることを指摘した。

京町家の耐震補強においては、耐力のみならず変形性能を考慮した耐震要素や制震技術を用いて耐震補強設計を行い、補強効果を確認することが大切である。このような耐震改修を促進することで、住民の安全性を確保し、地域の防災力を向上し得る。

今後の課題としては、詳細に調査を行った仕口、継ぎ

手の構造力学的な解明とともに、建物全体の耐震性能を定量的に評価することが重要である。また京町家の構法に適した耐震補強法の開発が必要である。

謝辞

本研究は、京都市の助成を受け平成15年度に実施された。調査に際して、地域住民の方々に快くご協力頂きました。京町家耐震調査研究会および京都市建築指導課の方々には精力的に調査を実施して頂き、(社)日本建築構造技術者協会関西支部木構造分科会、京都建築構造研究会木造部会には構造特性の評価でご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災災害調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告，建築編-4 木造建築，pp. 76, 1998. 3.
- 2) 北原昭男，林康裕，奥田辰雄，鈴木祥之，後藤正美：2000年鳥取県西部地震における木造建物の構造特性と被害，日本建築学会構造系論文集，No. 561, 161-167, 2002.
- 3) 京都市：京都市第3次地震被害想定報告書，2003. 10
- 4) 京町市：京町家まちづくり調査詳細集計結果，1993. 3
- 5) ノ瀬博明，山田真澄，鈴木祥之，野島千里：木造組の単位フレームを用いた振動台実験による制振補強法の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，No. 22147, 2002. 8.
- 6) 鈴木祥之，清水秀丸，須田達，北原昭男：実大振動実験による軸組構法2階建木造住宅の動特性と耐震性一筋かい付及び土壁付木造軸組の振動台実験一，2002年日本地震工学シンポジウム，pp. 1377-1382, 2002. 11.
- 7) 高橋康夫：京町家・千年のあゆみ一都にいきづく住まいの原型，学芸出版社，2001. 6.
- 8) 京町家作事組編著：町家再生の技と知恵 京町家のしくみと改修のてびき，学芸出版社，2002. 5.
- 9) 武井豊治：古建築辞典，理工学社，1994. 5.
- 10) 住吉寅七，松井源吾：木造の継手と仕口，鹿島出版会，1989. 6.
- 11) 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ー限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法一，学芸出版，2004. 3.
- 12) 山田真澄，鈴木祥之，後藤正美，清水秀丸：単位木造フレームを用いた動的・静的実験による木造軸組の耐震性能評価，日本建築学会構造系論文集，No. 582, pp. 95-102, 2002.
- 13) 鈴木祥之，中治弘行：木造住宅土塗り壁の実大実験による耐震性能の再検討，日本建築学会構造系論文集，No. 515, pp. 115-122, 1999. 1.
- 14) 鈴木祥之，斉藤幸雄，樫原健一，五十子幸樹，野島千里：木造軸組の耐震性能評価法一小変形から大変形・倒壊の領域まで評価する限界耐力計算，第11回日本地震工学シンポジウム，pp. 1523-1528, 2002. 11.

(原稿受付 2005. 5. 27)