

伝統木造建物の耐震設計法の改良提案へ向けた実験的研究

—横架材を有する架構の復元力特性—

主査 多幾山 法子*¹

委員 井立 直人*², 宮本 慎宏*³, 松本 慎也*⁴, 山田 幸正*⁵

【和文要旨】本報は、伝統木造建物の耐震要素の1つである大断面横架材の配置が架構全体の力学特性へ与える影響を把握するため、2スパンまでの架構試験体に対して実施した静的加力実験やシミュレーション解析から得られた成果を報告するものである。大断面横架材として差鴨居に着目し、この配置を変化させた架構試験体の静的加力実験を実施し、横架材の配置高さや接合部形状が架構全体の力学特性に及ぼす影響を把握するとともに、限界耐力計算で用いられる復元力との差異を確認した。また、実験結果に基づき、バイリニア型の復元力を持つバネを用いて架構を簡単にモデル化し、線形解析を行うことで初期剛性をシミュレーションした。

キーワード：1) 伝統木造建物, 2) 静的加力実験, 3) 横架材, 4) 差鴨居, 5) 2スパン,
6) 復元力, 7) 接合部回転角, 8) モーメント, 9) 線形解析, 10) 初期剛性

EXPERIMENTAL STUDY WITH AIM OF PROPOSING IMPROVEMENT OF SEISMIC DESIGN METHOD OF TRADITIONAL WOODEN STRUCTURE

-Restoring Force of Frame with Large Section Beams-

Ch. Noriko Takiyama

Mem. Naoto Idate, Mitsuhiro Miyamoto, Shinya Matsumoto, Yukimasa Yamada

This paper reports on the results of cyclic loading tests and a linear analysis conducted with the aim of determining the seismic performance of house frames with large-section beams, while studying the influence of the beams on the overall behavior of the frame. First, a cyclic loading test was conducted on four frames with large-section beams. In a two-span frame, the center column between the beams broke before other damage occurred. Second, a simple analysis model of a fitting-type joint was constructed using beam elements. Finally, the initial stiffness was simulated for all the specimens by using the abovementioned model.

1. 序

我国には、文化や歴史を象徴し、地区独特の様相を呈した伝統木造建物が多く存在する¹⁾。また、1995年兵庫県南部地震以降、頻発している地震によって我国の多くの伝統木造建物の倒壊が報告されている²⁾。一方、幾度もの震災を経てもなお健全に残る伝統木造建物も多いことは非常に興味深い³⁾。

伝統木造建物の耐震性評価手法の一つに、限界耐力計算に基づく耐震設計法^{4,5)}がある。1つの構造要素に対して、復元力が一意に設定されており、建物を構成する構造要素の数に応じて復元力を単純加算するものである。

しかし、既往の研究により、この手法では要素配置や仕様による差異を反映できないなどが指摘されており、多くの課題が残されている。

以上を踏まえ、本研究では、耐震要素のうち、大断面横架材の差鴨居に着目し、その配置が架構全体の力学特性へ与える影響を把握することを目的とする。差鴨居に関しては、要素実験などを実施した先行研究がある⁶⁻⁹⁾が、2スパンで架構全体の挙動を検証した事例は少ない。そこで、本報では、差鴨居を有する架構の静的加力実験を実施し、横架材の配置や接合部形状が架構全体の力学特性に及ぼす影響を把握する。また、この実験結果を反

*¹ 首都大学東京都市環境科学研究科建築学域 准教授 博士(工学)

*² 首都大学東京都市環境科学研究科建築学域 博士前期課程1年

*³ 香川大学工学部安全システム建設工学科 講師 博士(工学)

*⁴ 近畿大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

*⁵ 首都大学東京都市環境科学研究科建築学域 教授 博士(工学)

映し、試験体の架構を簡単にモデル化し、線形解析により初期剛性をシミュレーションする。

2. 静的水平加力実験概要

本章では、静的水平加力実験に用いる試験体の概要と加力システムや計測方法について説明する。

2.1 試験体概要

試験体概要を図 1-1 に、各部材に用いた樹種、機械等級、木取りを表 1-1 に示す。試験体は、単位フレームの軸組試験体 (F) および差鴨居試験体 (S1) に加え、2 間フレームの差鴨居試験体 (S2) と差鴨居を段違いに配置した 2 間フレームの試験体 (S3) の計 4 体とする。

試験体は柱 (杉, 120mm 角), 桁 (米松, 120mm × 240mm), 土台 (米松, 120mm 角), 差鴨居 (米松, 120mm × 270mm), 込栓 (米松, 15mm 角) から構成され、基本寸法は 1,820mm × 2,730mm とする。ほぞは柱頭で 80mm × 150mm × 30mm, 柱脚で 80mm × 100mm × 30mm の込栓留めとし、柱差鴨居接合部も込栓留めとする。図 1-1 (f) のように試験体 S2 の中柱の差鴨居接合部は同位置での継手であるため、左右でほぞの形状が異なる。

なお、本報では材料試験を実施せず、材のヤング係数は文献 10) に依るものとする。

2.2 加力・計測システム

静的加力実験の概要を図 1-2 に示す。試験体頂部に設置した治具を介して加力を行い、水平変位 ±60mm (最大

試験体	部材	材種	機械等級	木取
F	柱	杉	E90	芯持
	桁	米松	E110	芯去
	土台	米松	E110	芯去
	込栓	米松	E110	芯去
S1 S2 S3	柱	杉	E90	芯持
	桁	米松	E110	芯去
	土台	米松	E110	芯去
	差鴨居	米松	E110	芯去
	込栓	米松	E110	芯去

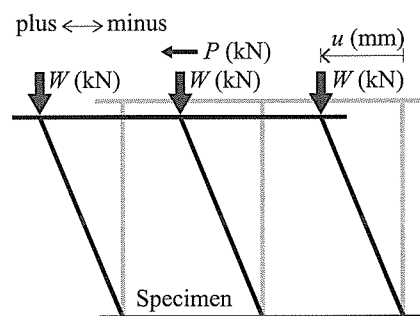


図 1-2 加力システム

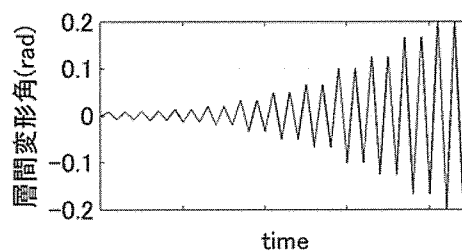


図 1-3 加力スケジュール

表 1-1 部材一覧

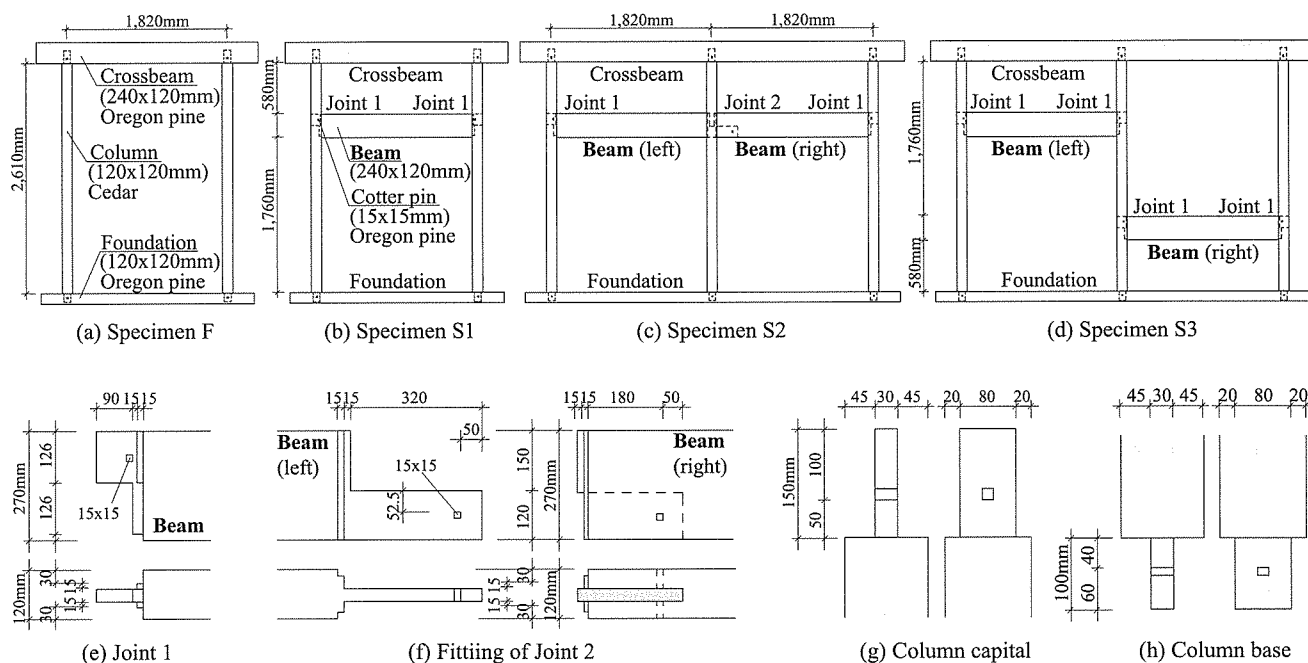


図 1-1 試験体詳細図

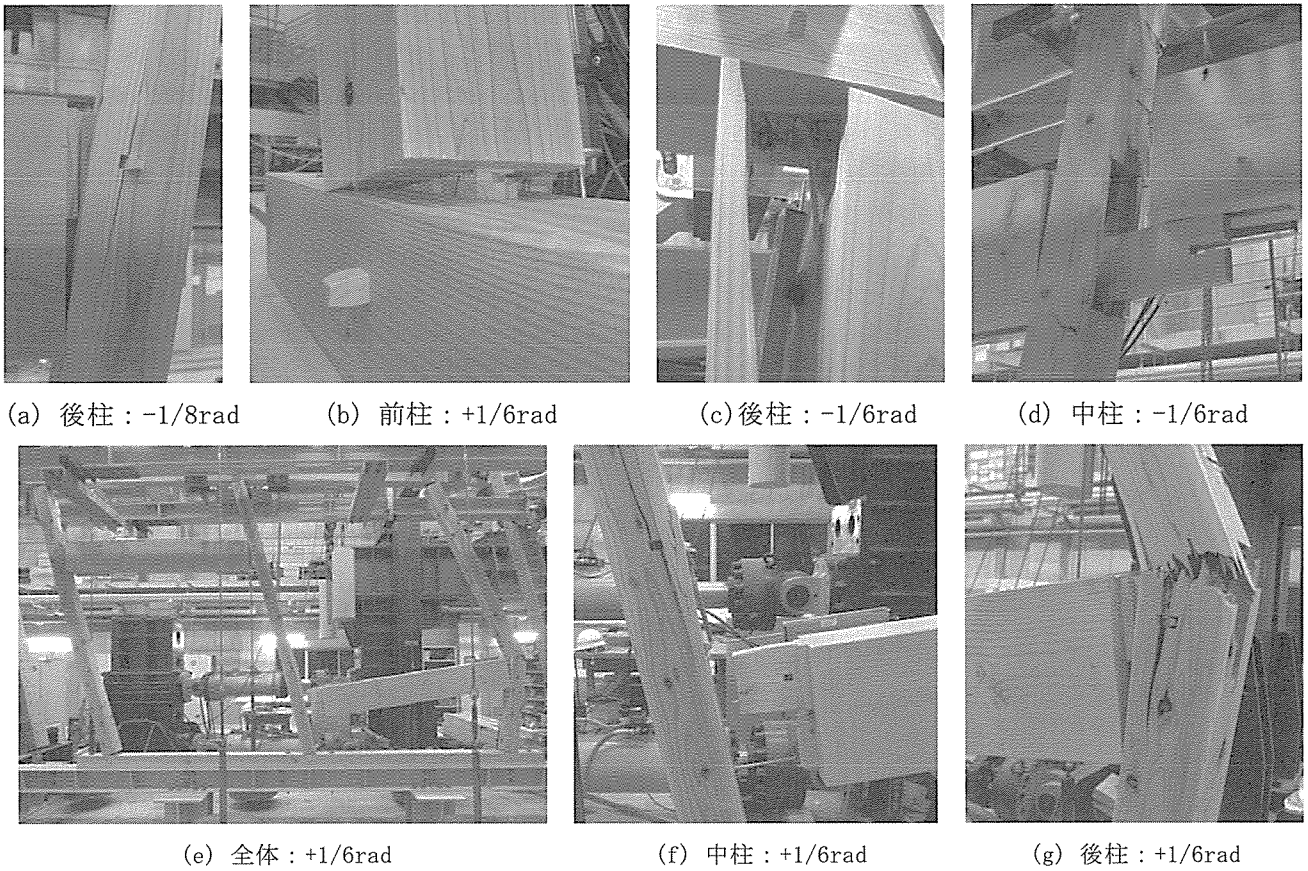


図 1-4 主な損傷の状況 ((a)-(d): S2 試験体, (e)-(g): S3 試験体)

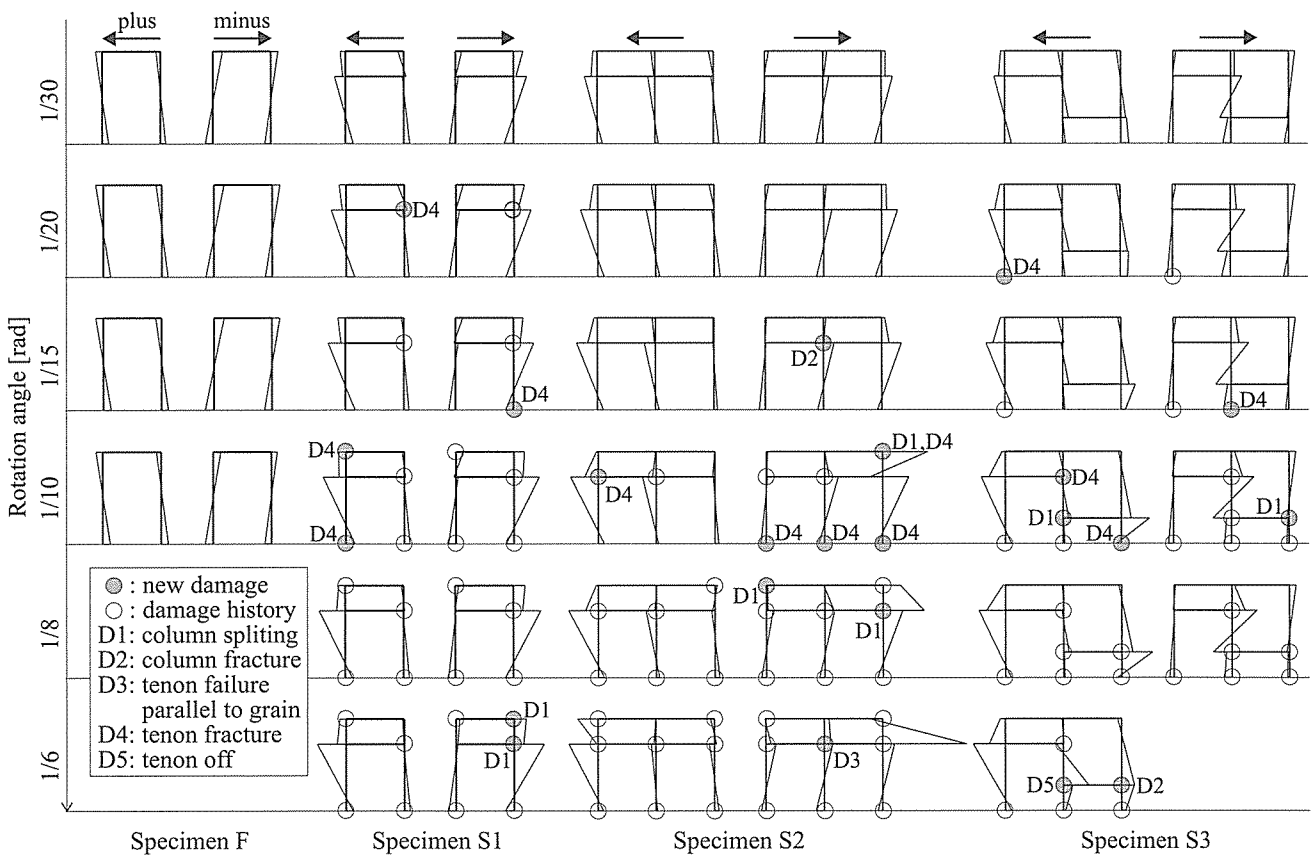


図 1-5 主な損傷とモーメント進展図

変形角 $1/5\text{rad}$) まで荷重を漸増させて加力する。試験体の土台はアンカーボルトで鉄骨架台に固定し、文献 11) に示される柱 1 本あたりの荷重が比較的大きい地域の建物を参考に、上載荷重は柱 1 本あたり $1t$ を上載する。図 1-2 のように加力方向は紙面左方向を正方向とする。なお、載荷方向正側の柱を前柱、負側の柱を後柱、中央の柱を中柱と呼ぶ。

また、変位計を用いて試験体頂部の絶対変位 u を計測する。試験体の層間変形角 R は変位 u を柱の内法高さ H で除した値と定義する。図 1-3 に示すように R で試験体の変位の制御を行い、試験体が水平抵抗力を喪失するまで正負交番漸増繰返し載荷を行う。また、柱側面にはひずみゲージを向かい合わせに貼付し、モーメント分布や軸力変動を把握する。

3. 実験結果

本章では、実験結果として、試験体損傷状況、復元力特性、差鴨居接合部の接合部回転角について説明する。

3.1 試験体損傷状況

代表的な損傷写真を図 1-4 に示す。また、図 1-5 に $1/30 \sim 1/6\text{rad}$ までに生じた柱の曲げモーメントの進展と損傷状況を正負加力時に分けて示す。なお、試験体ごとに左列は正側加力時、右列は負側加力時を示しており、●は目標変形角で新しく損傷が生じた箇所、○はそれまでの損傷歴を示す。以降は図 1-5 に示す損傷発生順に照らし合わせて記述する。

F 試験体については、加力中に目立った損傷が見られなかった。

S1 試験体では、正側 $1/20\text{rad}$ で後柱側差鴨居ほぞに曲げひび割れが生じた。その後、負側 $1/15\text{rad}$ から正側 $1/10\text{rad}$ にかけて、後柱の柱脚ほぞ、前柱の柱頭と柱脚ほぞが折損した。負側 $1/6\text{rad}$ では後柱の柱頭と後柱の差鴨居接合部の込栓穴から繊維方向に割裂が生じた。

S2 試験体では、負側 $1/15\text{rad}$ で中柱の差鴨居接合部下端から繊維直交方向にひび割れが生じ、加力サイクルが進むにつれてに割れが進展した。その後、正側 $1/10\text{rad}$ では前柱側差鴨居ほぞの曲げひび割れが生じ、負側 $1/10\text{rad}$ では全柱脚ほぞの折損と後柱の柱頭での繊維方向への割裂、ほぞの折損が生じた(判別し易さのため、正側 $1/6\text{rad}$ 時の状態を図 1-4(b) に示す)。負側 $1/8\text{rad}$ では前柱柱頭でのひび割れと後柱の差鴨居接合部の込栓穴から繊維方向への割裂が生じた。また、正側 $1/6\text{rad}$ では前柱柱頭の割裂が大きく進展し、後柱の柱頭が負側にずれ元の位置に戻らなくなった(図 1-4(c))。負側 $1/6\text{rad}$ では後柱で柱頭と込栓穴から生じていた割裂が繋がり、中柱では差鴨居が端抜けした(図 1-4(d))。

S3 試験体では、正側 $1/20 \sim 1/10\text{rad}$ にかけて全柱の柱脚ほぞが折損し、全柱の差鴨居接合部込栓穴では曲げが生じた。また、正側 $1/10\text{rad}$ では、中柱負側差鴨居接合部の込栓穴から繊維方向に割裂が生じ、中柱正側差鴨居のほぞに曲げひび割れが生じた。負側 $1/10\text{rad}$ では後柱差鴨居接合部の込栓穴から繊維方向に割裂が生じた。正側 $1/6\text{rad}$ では後柱が差鴨居接合部の上端から折損し、中柱負側差鴨居ほぞが端抜けした(図 1-4(e)-(g))。解体時には、全柱の柱頭柱脚ほぞにおける繊維方向の割裂および折損、差鴨居ほぞのめり込みや繊維方向への割裂、前柱差鴨居接合部以外の栓の破断を確認した。なお、正側 $1/6\text{rad}$ で折損した後柱は完全に上下で分離した。

3.2 復元力特性

図 1-6 に全試験体の復元力特性を示す。

F 試験体の水平抵抗力は $1/30\text{rad}$ で最大 1.03kN を示して以降、緩やかに低下し、 $1/10\text{rad}$ で喪失した。

S1 試験体の水平抵抗力は $1/30\text{rad}$ で最大 1.83kN を示して以降、緩やかに低下した。その後、 $1/6\text{rad}$ で後柱の差鴨居接合部での割裂と柱頭ほぞの折損に伴い、水平抵抗力が大きく低下し、直後に喪失した。

S2 試験体の水平抵抗力は $1/30\text{rad}$ で最大 4.16kN を示して以降、緩やかに低下した。その後、 $1/10\text{rad}$ での後柱柱頭の割裂とほぞの折損、 $1/8\text{rad}$ での後柱の差鴨居接合部での割裂により、水平抵抗力は大きく低下して喪失した。

S3 試験体の水平抵抗力は $1/20\text{rad}$ で最大 4.66kN を示して以降、緩やかに低下した。その後、 $1/10\text{rad}$ において中柱と前柱の割裂が生じ、 $1/6\text{rad}$ 付近で中柱の後柱側差鴨居接合部においてほぞが端抜けし、水平抵抗力を喪失した。

3.3 せん断力

図 1-7 に $P\Delta$ 効果を除去した骨格曲線¹²⁾を示す。

F 試験体と S1 試験体では、正側と負側での骨格曲線に差異は見られなかった。しかし、S2 試験体と S3 試験体の場合はせん断力の差異が大きく、同じ耐力要素を有している架構であっても、加力方向に依存することがわかる。S2 試験体では中柱のほぞ形状が対称ではないこと、S3 試験体は差鴨居高さが対称ではないことが原因であると考えられる。

3.4 差鴨居接合部の接合部回転角

本節では、柱芯における差鴨居木口との間に生じる角度を接合部回転角と定義し、試験体層間変形角との関係を確認する。

S1, S2 試験体の差鴨居接合部での接合部回転角を図

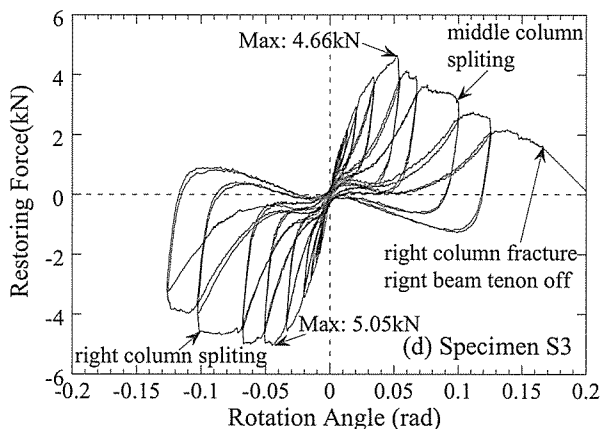
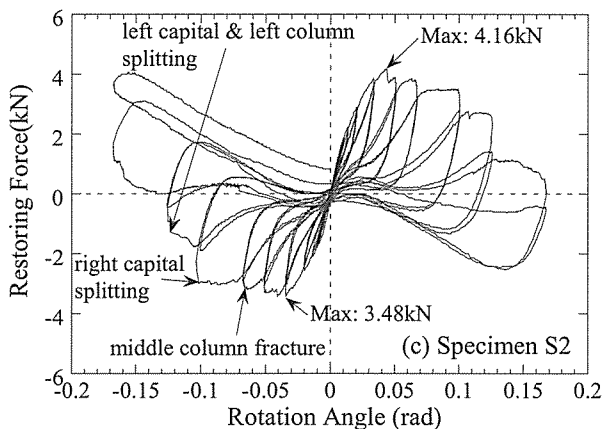
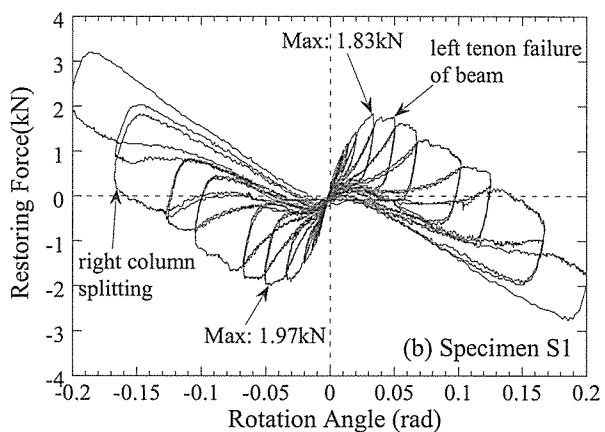
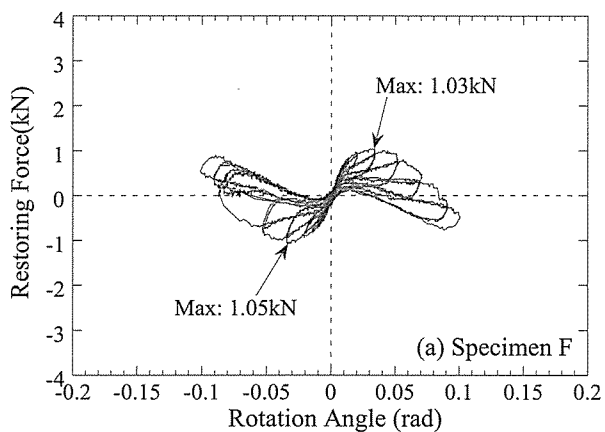


図 1-6 復元力特性

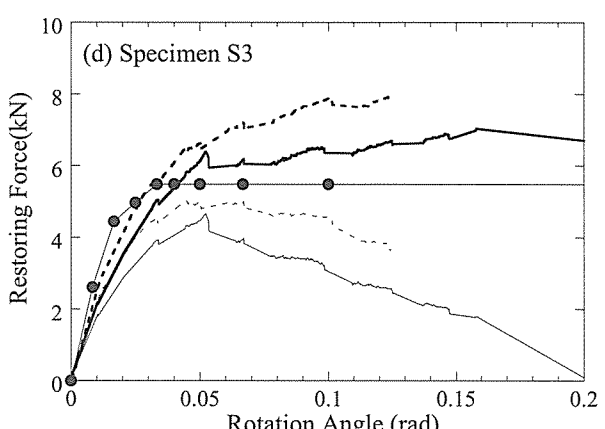
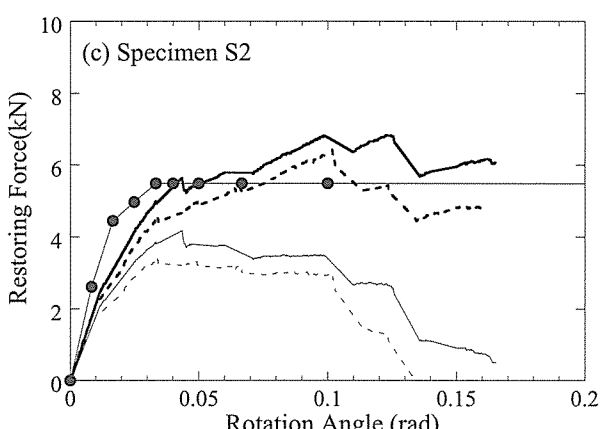
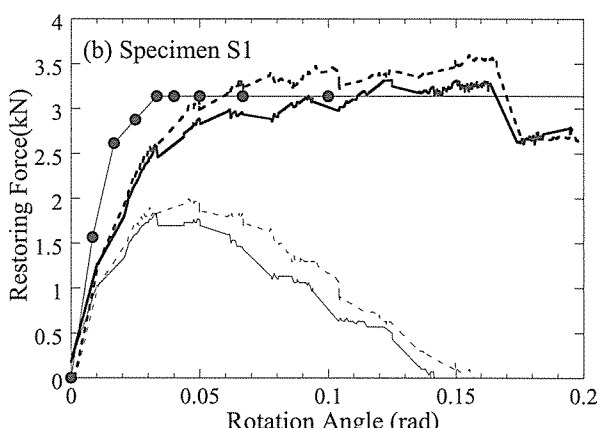
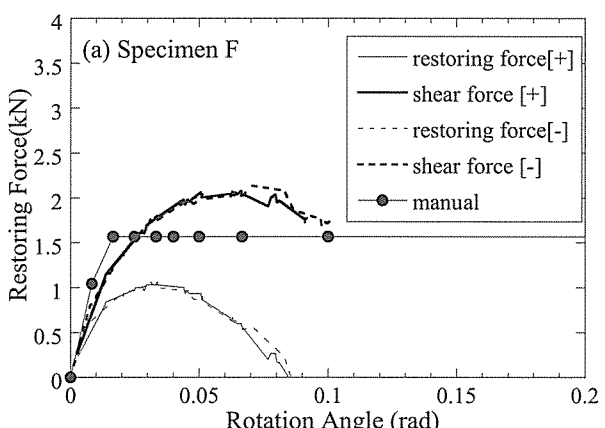


図 1-7 せん断力の骨格曲線

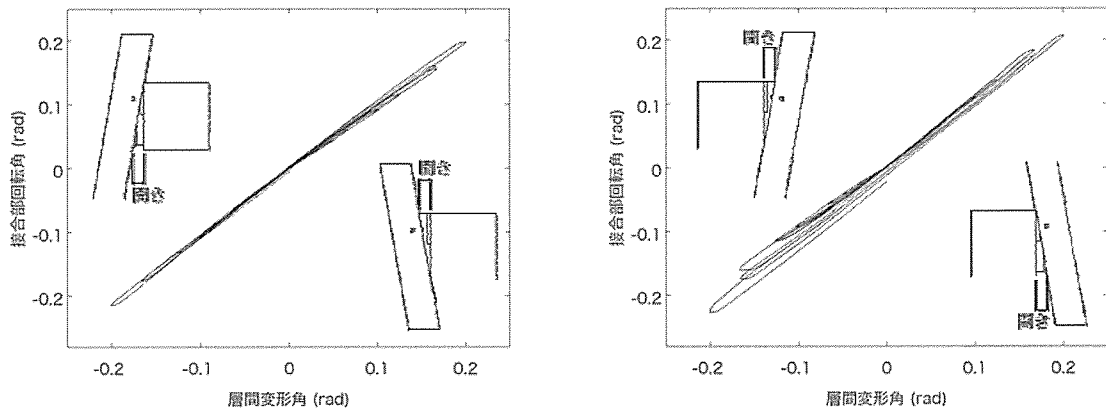


図 1-8 試験体変形角—柱差鴨居接合部回転角 (S1 試験体)

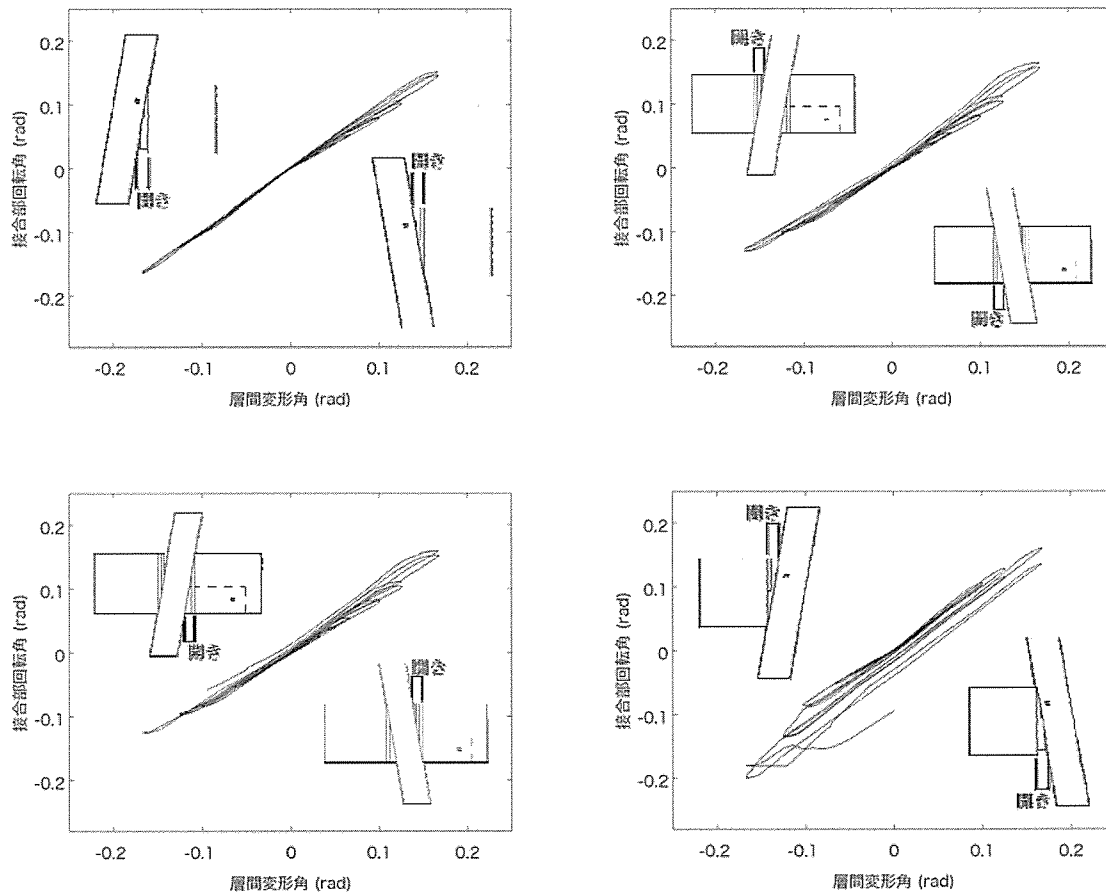


図 1-9 試験体変形角—柱差鴨居接合部回転角 (S2 試験体)

1-8 と図 1-9 に示す。なお、図中に示すように、接合部回転角の符号は接合部の開く向きに応じて決定している。

S1 試験体については、試験体変形角と柱差鴨居接合部回転角は概ね等しい (図 1-6)。S2 試験体は、前柱側と後柱側では S1 試験体と同様に、試験体変形角と柱差鴨居接合部回転角は概ね等しいが、中柱を差鴨居で挟む接合部においては、負側加力時に接合部回転角が試験体変形角を若干下回る (図 1-7)。これは、 $-1/15\text{rad}$ で柱の折損が生じたことに起因する。

4. 破壊メカニズムの考察

本章では、前章の静的加力実験で把握した試験体の破壊メカニズムについて、中柱の折損、柱の曲げ変形に分けて考察する。

4.1 中柱の折損 (S2 試験体)

S2 試験体の中柱は、曲げモーメントが後柱ほど大きくないにも関わらず、柱のほぞ穴下端からの折損が生じた。しかし、柱の断面欠損を考慮しても、縁応力度は基準強度を下回り、折損の理由付けはできない。

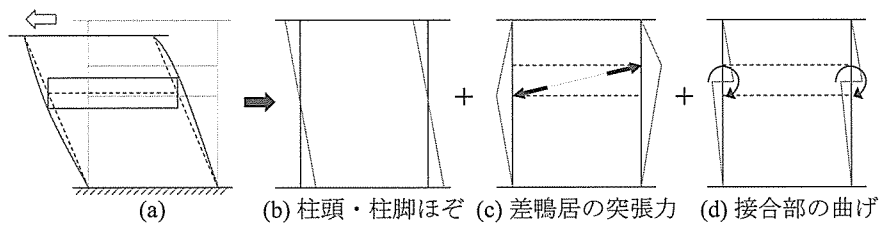


図 1-10 単スパンの場合のせん断力発生メカニズム

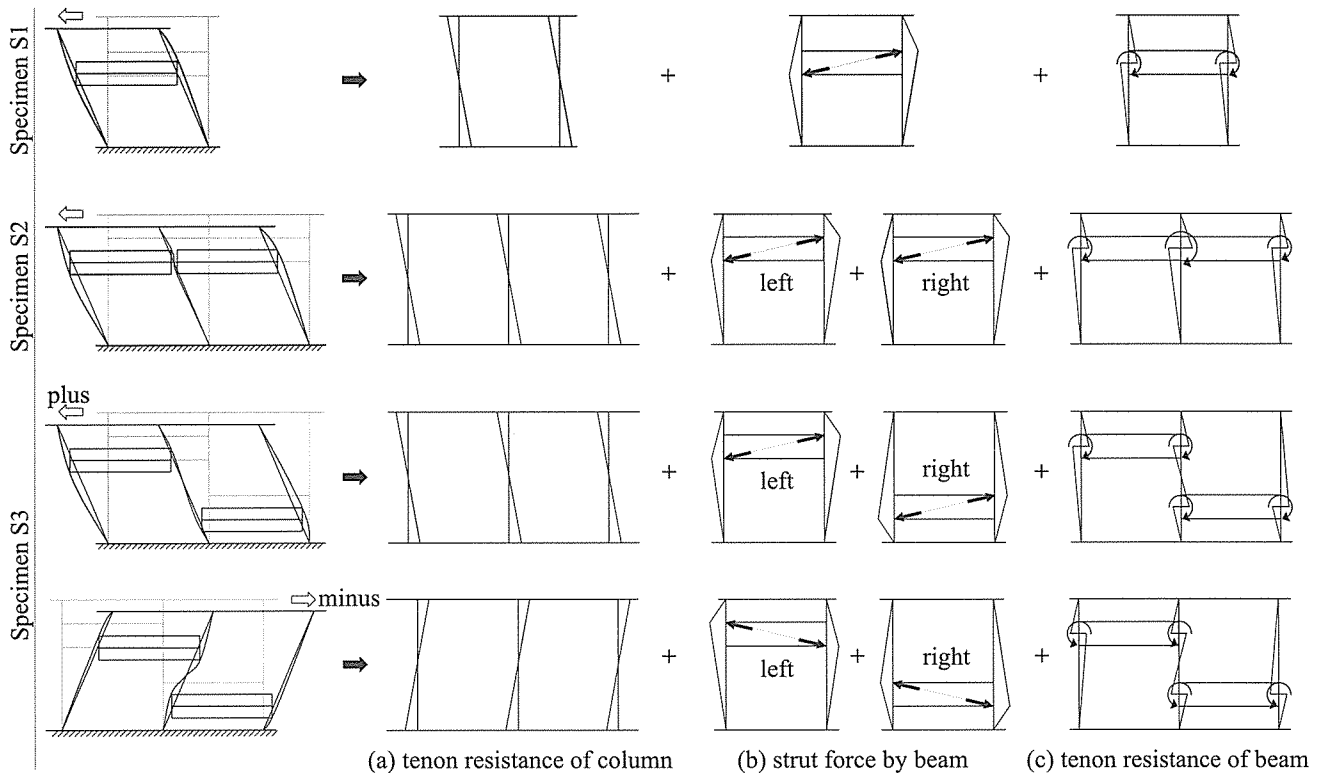


図 1-11 全試験体のせん断力発生メカニズム

実験において、中柱は両差鴨居から突張力を受け、めり込み（部分圧縮）が生じ、その箇所からのひび割れが確認された。これと、木材は部分圧縮を受けると繊維の分断が生じることを踏まえ、柱のせいが約 20%低減したと仮定した場合、柱が折損に至る縁応力度に達すると推定され、試験体に生じた現象とほぼ整合することが確認された。以上より、中柱の断面を低減すると実現象を評価できる可能性があるが、部分圧縮を受ける部材の断面係数の低減率に関しては、今後検討を重ねる必要がある。

4.2 差鴨居の突張力による柱の曲げ変形

差鴨居のような大断面横架材が配される架構の場合は、試験体変形角が大きくなるにつれて、差鴨居に突張力が生じることで、架構全体に生じるせん断力に影響を及ぼすことが幾何学的に論じられている（図 1-10）^{6,7)}。これを基に、図 1-11 に 2 スパンの架構となった場合についてのせん断力発生メカニズムを描いた。損傷が生じる

1/20rad までのモーメント図（図 1-5）を確認すると、加力方向へ向かって順に柱の曲げモーメントが大きくなっているのがわかる。単スパンの架構と同様にせん断力の発生メカニズムを検討した場合、中柱は両側の差鴨居から受ける突張力によって曲げモーメントが相殺され（図 1-11(b)）、加力方向後方の柱は架構の変形方向（図 1-11(a)）と逆向きに差鴨居から突張力を受けることで曲げモーメントは小さくなる（図 1-11(b)）。一方で、加力方向の先頭の柱は架構の変形方向（図 1-11(a)）と同向きに突張力が加わることで（図 1-11(b)）、3本の柱の中では最も大きなモーメントが発生することがわかる。また、2スパンの場合は、図 1-11 の左列に示すように、幾何学的に、側柱（前後柱）の変形量は単スパンの場合より大きくなると推測でき、加力方向先頭の柱頭の負担が大きくなることで図 1-4(c)のような損傷が生じたと考えられる。

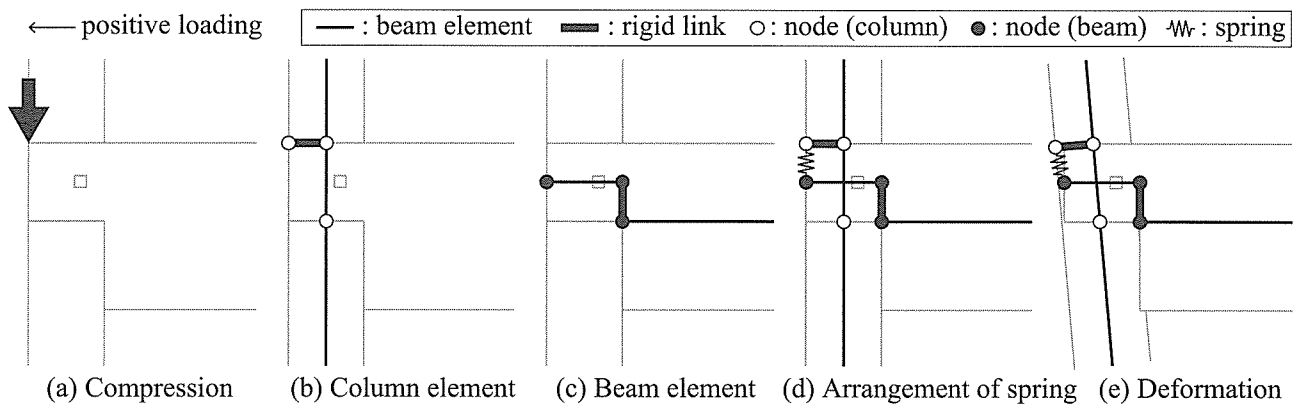


図 1-12 正側加力時における前柱差鴨居接合部のモデル化

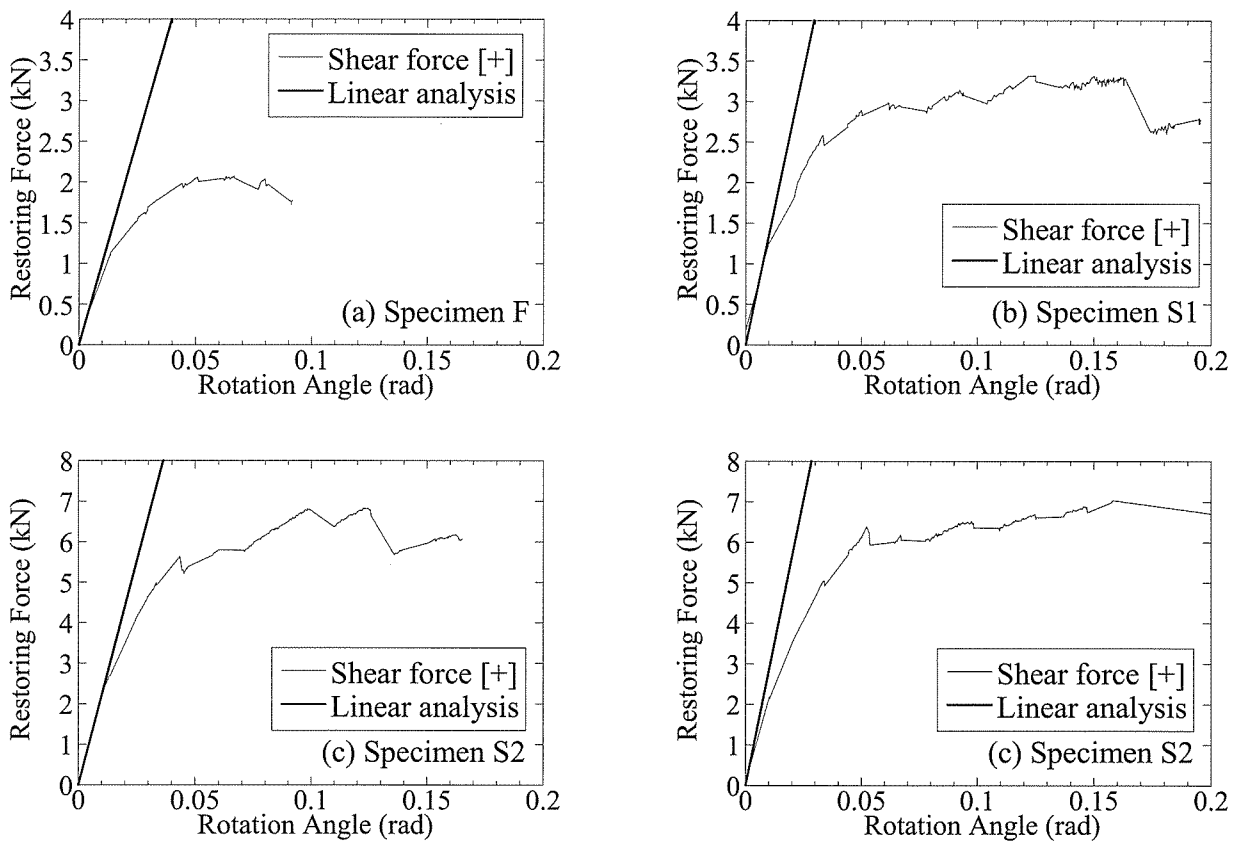


図 1-13 初期剛性の評価結果

4.3 限界耐力計算に基づき単純加算されたせん断力と実験値の比較

限界耐力計算で用いられる従来の水平抵抗力^{4,5)}を図 1-7 に P Δ 効果を除いた骨格曲線と併せて示す。なお、図中では 'manual' として示しており、以降の記述では設計値と呼ぶ。

F 試験体と S1 試験体の場合は、従来の水平抵抗力に比較的近い値が再現されている。

一方、S2 試験体の実験値を見ると、正側では設計値と比較的近いものの、負側では設計値より低めのせん断力で剛性低下が生じた。主な原因として、(a) 正側差鴨居

の両ほぞが対称に設計されていないことや負側差鴨居の中柱側にほぞが無いことから、加力方向によって抵抗力が異なること⁷⁾、(b) 前節で述べたとおり、前後柱の変形量が増加することで差鴨居に生じる軸力が単スパンの場合より増大することが考えられる。

また、S3 試験体の実験値については、正負とも設計値よりも大きい、正側では負側より低めの骨格曲線を描いた。また、復元力を喪失する前に中柱が折損している。主な原因として、(a) 2 つの差鴨居の高さが異なり、架構に対称に設計されていないことから、加力方向によって抵抗力が異なること⁷⁾、(b) S2 試験体と同様に、前後

柱の変形量が増加することで差鴨居に生じる軸力が単スパンの場合より増大することが考えられる。

5. 線形解析による初期剛性の評価

本章では、簡易な解析モデルを作成し、初期剛性の評価を行い、前章の静的加力実験の結果と比較する。なお、非線形解析については今後の課題とし、本論文では非線形性を考慮しない。

5.1 解析概要とモデル構成要素

バイリニア型の復元力を持つバネを用いて、接合部のめり込みおよび摩擦、込栓のせん断抵抗についてモデル化する¹³⁾。

ここでは、下記の仮定を設ける。

- ・ 抵抗要素は、繊維直交方向めり込みと摩擦、込栓のせん断抵抗とする
- ・ めり込みは繊維直交方向のみに生じ、繊維方向は剛とする
- ・ ほぞでのめり込みは三角変位めり込み¹⁴⁾とする
- ・ 摩擦抵抗については、動摩擦力のみを考慮する。また摩擦はくいこみ摩擦とすべり摩擦とする
- ・ 込栓には対称な2面せん断¹⁰⁾が働く
- ・ バネは圧縮に関してのみ作用し、バネ特性は文献14)より算出する
- ・ 各材は材軸線上に線材置換する

桁、柱、差鴨居、土台にそれぞれ節点を設ける。土台の節点は完全固定とし、他節点には3自由度（水平・上下・回転）を持たせる。また、材料特性値と断面形状を有する梁要素で柱と横架材を置換し、節点間をリジッドリンク（変形を考慮しない剛な要素と定義する）とバネで結合する。

5.2 接合部に働く抵抗力のモデル化

正側加力時に柱差鴨居接合部で生じる抵抗力のモデル化手順およびモデル化の例を図1-12に示す。ここでは、(a)のように前柱差鴨居接合部におけるめり込み抵抗と柱側面の摩擦抵抗を示す。

- [1] 柱と差鴨居に節点を設け、梁要素を用いて結合する((b), (c))
- [2] 柱と差鴨居ほぞ上端の接触面の柱節点から、柱外縁に向けてリジッドリンクを設ける((b))
- [3] 図(b), (c)を重ね合わせ、リジッドリンクと差鴨居のめり込み箇所を、めり込み抵抗バネで連結する((d))
- [4] 接合部が変形するとバネに圧縮力が働き、めり込み抵抗を表現できる((e))

5.3 解析結果

解析結果を図1-13に示す。1/100radまでを初期剛性で見なすと、S2試験体では実験値よりも解析結果が若干高く評価されたが、他の試験体では解析結果は概ね合致した。

6. 結

本報では、伝統木造建物の耐震要素である大断面横架材の差鴨居に着目し、その配置が架構全体の力学特性へ与える影響を把握することを目的とし、静的加力実験やシミュレーションを行った。まず、差鴨居を有する架構の静的加力実験を実施し、横架材の配置や接合部形状が架構全体の力学特性に及ぼす影響を把握した。また、限界耐力計算に用いられる復元力との比較分析も行った。さらに、実験結果に基づき、試験体の架構の簡単な解析モデルを作成し、線形解析により初期剛性をシミュレーションした。

得られた成果を以下に示す。

- 1) 2スパン試験体の静的加力実験により得られたせん断力や破壊性状を比較すると、同じ耐力要素を有している架構であっても、差鴨居の非対称配置や中柱の接合部ほぞ形状の非対称性などに影響を受け、架構せん断力は加力方向に依存することがわかった。
- 2) 加力方向の先頭の柱に発生するモーメントが最も大きいことがわかった。
- 3) バイリニア型の復元力を持つバネを用い、接合部のめり込みおよび摩擦、込栓のせん断抵抗についてモデル化してシミュレーションを行った。初期剛性までは概ね評価できた。今後は非線形性も考慮した解析を行う。

なお、本研究の成果は、既に文献15-17)として発表、投稿を行っている。

<謝辞>

本研究は、一般財団法人住総研2014年度研究助成(代表者:多幾山法子)の補助の下で遂行した。また、研究の一部に関して、アジア高度研究 アジア地域の風土と社会に根ざした持続可能都市建築の構築技術の補助を受けた。試験体作成にあたり、(公財)文化財建築物保存技術協会の菊岡喜一氏、(株)鈴木建設事務所の鈴木寿子氏、鈴木真治氏から多大な助力を頂いた。実験の遂行に関しては、首都大学東京都市環境学部建築都市コースの学部生から多大な助力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 文化庁: 伝統的建造物群保存地区,
<http://www.bunka.go.jp/bunkazai/shoukai/hozonch>

- iku.html
- 2) 槌本敬大, 鈴木修治, 河合直人, 山口修由, 中川貴文, 杉本健一, 村上智徳:平成 19 年能登半島地震による木造建築物の被害状況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.5-6, 2007.7.
 - 3) 多幾山法子, 南部恭弘, 渡辺千明, 林康裕:斜め貫接合部を有する木造軸組架構の力学特性と耐震性評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 卷, No. 701, pp.691-968, 2014.7.
 - 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ー限界耐力計算による耐震設計・耐震補強法, 学芸出版社, 2008.12.
 - 5) 伝統的な軸組構法を主体とした木造住宅・建築物の耐震性能評価・耐震補強マニュアル(追補改訂版), 日本建築構造技術者協会関東支部, 2011.3.
 - 6) 松本拓也, 多幾山法子, 林康裕:柱一差鴨居接合部の力学特性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 卷, No.675, pp.747-754, 2012.5.
 - 7) 横田治貴, 中川敦嗣, 多幾山法子, 林康裕:京町家の柱梁接合部における復元力特性評価に関する実験的研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 53 号・構造系, pp.233-236, 2013.6.
 - 8) 佐藤弘美, 藤田香織:伝統的木造接合部の構造性能評価ー柱・差鴨居接合部の要素実験ー, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 III, pp.9-10, 2008.9
 - 9) 井上智大, 北原照男, 三芳紀美子:静的載荷実験に基づく足固め構法による伝統木造軸組の耐震性能評価:その 2:異なる仕口により接合された足固め・差鴨居を有する軸組の性能, 日本建築学会研究報告.九州支部.1, 構造系(49), 669-672, 2010.3
 - 10) 日本建築学会:木質構造設計規準・同解説ー許容応力度・許容耐力設計法ー第 4 版, 2006.12.
 - 11) 南部恭弘, 焦健, 多幾山法子, 渡辺千明, 林康裕:伝統木造住宅における構造的特徴の地域性, 日本建築学会構造工学論文集, Vol.59B, pp.585-592, 2013.3.
 - 12) 森井雄史, 宮本慎宏, 高橋遥希, 林康裕:P Δ 効果が木造軸組架構の変形性能に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集 第 75 卷 第 650 号, pp.849-857, 2010.4.
 - 13) 多幾山法子, 石塚悠伍, 大西良広, 神吉紀世子, 林康裕:2006 年ジャワ中部地震で被災したインドネシア伝統木造建築物の耐震性評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 卷, No.675, pp.739-746, 2012.5.
 - 14) 日本建築学会:木質構造接合部設計マニュアル, 2009.
 - 15) 井立直人, 多幾山法子:伝統木造建物の耐震要素配置が力学特性へ与える影響 その 1.大断面横架材を有する平面架構の静的加力実験, 日本建築学会関東支部研究報告集 85(I), pp.309-312, 2015.3.
 - 16) Noriko Takiyama, Naoto Idate and Yukimasa Yamada:Fitting-type Joint Model for Traditional Wooden Structure, *Proceeding of The 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures (REHAB2015)*, Porto, Portugal, July, 2015
 - 17) Noriko Takiyama and Naoto Idate:Experimental Study on Seismic Behavior of Frames with Uneven Large Section Beams of Traditional Wooden Structure, *Proceeding of The Eighth International Structural Engineering and Construction Conference*, Sydney, Australia, Nov. 2015 (in print)