

木造軸組の動的・静的実験による耐震性能評価

後藤正美（金沢工業大学建築学科，gotou@neputune.kanazawa-it.ac.jp）

山田真澄（京都大学大学院修士課程，yamada@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp）

鈴木祥之（京都大学防災研究所，suzuki@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp）

1. 研究の背景と目的 本研究では、木造建物の基本的な軸組構造を対象として、静的水平繰り返し加力実験と振動台加振実験を行い、ほぞ長さや接合方法及び柱の断面寸法の違いが軸組に与える力学的影響を明らかにするとともに、各地に存在する様々な木構法の耐震性能評価法や耐震設計法を確立するための基礎資料を提供することを目的に行う。

2. 実験の概要 柱と桁・土台から構成される木造軸組を対象に、柱の断面寸法と仕口の構造（長ほぞ差込み栓留め、短ほぞ差金物補強）をパラメータに、静的水平繰り返し加力実験と振動台加振実験を実施し、静的及び動的復元力特性や振動特性を明らかにし、各構造要素が軸組の特性に及ぼす影響について明らかにする。試験体の1例を図1に示す。

3. 実験の結果と考察 実験の結果の要約を以下に記述する。

3.1 静的実験結果における比較 (a)柱断面の影響 **短ほぞ差金物補強の場合**：柱断面が太くなることによって、最大耐力が1.1KNから2.7KNへと約2.5倍に上昇するとともに、柱の傾斜復元力の影響と推定される特性が顕著に反映されている。**長ほぞ差込み栓の場合**：柱断面が太くなることによって、耐力が1.9KNから4KNへと約2倍に上昇している。破壊性状は150長ほぞ試験体は、ほぞの損傷が見られるものの、土台・柱には外見から損傷は確認できないが、120長ほぞ試験体においては、土台の割裂の発生や込み栓部分での割れの発生が確認できる。柱断面（ほぞ断面）によって、軸組の破壊性状が異なり、周辺軸組の断面とほぞ断面の組合せが、復元力特性に相当の影響を与えることを示唆している。

(b)接合部の影響 長ほぞ差込み栓の方が耐力で2.7KNから4KNへと約1.5倍大きくなっている。復元力特性の形状を比較すると、短ほぞ差金物補強では、軸力による柱傾斜復元力特性が、相当に全体の復元力特性に影響を与えているが、長ほぞ差込み栓では、紡錘型の特性が優位となり、傾斜復元力特性の影響は若干みられる程度に留まっている。

3.2 振動台加振実験結果における比較 (a)柱断面の影響 **短ほぞ差金物補強の場合**：柱断面が太くなることによって、耐力が1KNから3KNへと約3倍に上昇している。静的実験結果のFig.6(a)(b)と比較すると復元力特性は、スリップの性状が顕著となっているが、柱傾斜復元力特性の形状はほとんど現れていない。(b)接合部の影響 長ほぞ差込み栓の方が耐力で3KNから4KNへと約1.3倍大きくなっている。金物を使用した場合、大きな変形を経験すると接合部内に遊びが発生し、経験した変形領域では、水平抵抗能力の低下が大きく構造として不安定になることを示唆している。

3.3 静的と動的復元力特性の比較 振動台加振実験の結果の方が変形量が小さくなっている。また、総じてスリップ型の特性が卓越して復元力特性に反映され、鉛直荷重による傾斜復元力特性の影響は、小さくなる傾向にあると言える。

3.4 軸組の変形 軸組構造の変形は、接合部の回転と柱の曲げ変形の2種類が考えられるが、節点回転角と層間変形角の関係はほぼ1対1の線形関係を示しており、柱と横架材（桁・土台）とから構成される軸組の変形は、ほとんど接合部の変形が支配しており、柱の曲げ変形成分は極微少であることが明らかとなった。

3.5 軸組の応力 柱と横架材のみから構成される軸組の水平抵抗要素は、柱の曲げ抵抗である。ここでは、柱の柱頭・柱脚に貼付した歪みゲージの計測値から柱に作用している曲げモーメント M を算出し、載荷荷重あるいは慣性力による層モーメントとの比較を行った。 M と層モーメントとの関係は、 M の方が約2～3割高い値を示している。軸組の水平抵抗機構は、「外力のなすモーメント = 鉛直荷重による転倒モーメント + 柱の曲げモーメント」となっていると考えると、 M の値が層モーメントを下回る結果となると想定されるが、どの試験体においても歪みゲージから算出したモーメント M の方が層モーメントより大きくでている。このことは、接合部内の抵抗機構と応力の分布状況が大きく関係しているものと考えられる。ほぞ内部に発生する応力のモードを図1に示す。P1：

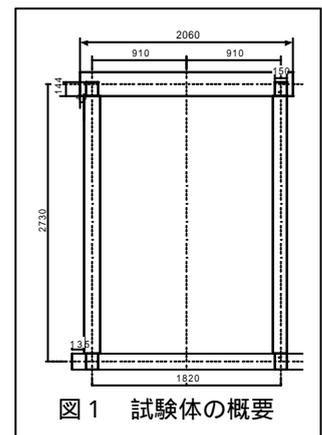


図1 試験体の概要

静的実験では治具の拘束による変動軸力、振動台加振実験では積載荷重、P2：接合部の回転に伴いほぞが抜け出す際に発生する木材間の摩擦力、P3：ほぞの回転に伴い発生する圧縮力、P4：込み栓あるいは補強金物による拘束力（引張）、P5：補強金物による拘束力（圧縮）の5種類が主な応力であると考えられる。これらの応力が作用していることによって、接合部近傍の部材は複雑な応力状態になっていると推測される。軸組構造の部材の設計に当たって、単純に外力の釣り合いから応力を算出し検討することは、実際の応力状態より危険側になる可能性があることが示された。今後は、これらの応力状態を明確に把握できる計測システムを考案し、接合部内の応力・変形を的確に表現できる解析法を構築する予定である。

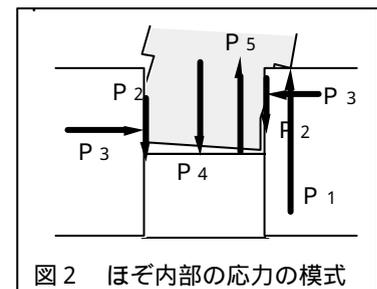


図2 ほぞ内部の応力のモード

木造軸組の動的・静的実験による耐震性能評価 DYNAMIC AND STATIC TESTS OF WOODEN FRAMES FOR EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE

後藤正美¹, 山田真澄², 鈴木祥之³

¹ 金沢工業建築学科, 助教授 博(工)

Gotou Masami, Kanazawa Institute of Technology, gotou@neputune.kanazawa-it.ac.jp

² 京都大学大学院修士課程

Masumi Yamada, Graduate School of Eng., Kyoto University, yamada@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp

³ 京都大学防災研究所, 教授 工博

Yoshiyuki Suzuki, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, suzuki@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp

SUMMARY

The static tests and shaking table tests were carried out for evaluating the seismic performance of wooden frames that consist of columns, a beam and a sill. From experimental results, the structural mechanisms of mortise and tenon joints in wooden frames were made clear. In particular, it is found that the specification of mortise-tenon joints and the difference of column section affect significantly on the dynamic and static properties of wooden frames. By comparison of the storied moment applied by external forces and the internal moment of the column, it is pointed out that complicated stresses act on the mortise-tenon joint and these stresses can be diagrammatically classified.

キーワード：振動台実験，木造軸組，耐震性能，ほぞ仕口，柱断面，復元力特性

Key words: Shaking table test, Wooden frame, Seismic Performance, Mortise-tenon joint, Column section, Restoring force characteristics

1. 研究の背景と目的

建築基準法の改正や住宅性能表示制度の設立に伴い、現在の日本国内の一般的な構法を主に対象として、木造住宅の耐震設計法や耐震性能評価法の提案^{例1)}、²⁾がなされている。しかし、各地に存在する多種多様な地域独特の構法に対しては、木材のばらつきや構法の複雑さ等により構造解析が難しく、正当に耐震性能を評価することには課題が多い。近年、振動台を用いた振動台加振実験が実施されるようになり^{例2)}、⁵⁾、木造建物の地震時の挙動が徐々に明らかにされているが、伝統・在来構法の耐震性能については未解な点が多い。

伝統・在来構法の耐震性能を実験的・解析的に明らかにするとともに、地域特性を反映した古来からの構法で建物を設計・建築する伝統・在来構法の建物を正当に評価する方法の開発が望まれている。

本研究では、木造建物の基本的な構造を対象として、静的水平繰り返し加力実験と振動台加振実験を行い、ほぞ長さや接合部法及び柱の断面寸法の違いが骨組に与える力学的を明らかにするとともに、各地に存在する様々な木構法の耐震性能評価法や耐震設計法を確立するための基礎資料を構築することを目的に行う。

2. 実験の概要

柱と桁・土台から構成される木造軸組を対象に、柱の断面寸法と仕口の構造(長ほぞ差し込み栓留め、短ほぞ差し金物補強)をパラメータに、静的水平繰り返し加力実験と振動台加振実験を実施し、静的及び動的復元力特性や振動特性を明らかにするとともに、各構造要素が軸組の特性に及ぼす影響について明らかにする。

2.1 試験体の概要

柱と桁・土台から構成される単位軸組(高さ2730mm×幅1820mm)を基本として、柱の断面寸法、接合方法、面内の耐震要素をパラメータにして試験体を設定した。静的水平繰り返し加力実験では、各種類毎に3体の実験を行った。振動台加振実験では、加振方向に2枚の壁面を併置し、水平構面に構造用合板24mmを使用して、試験体が一体として挙動するようにした。また、直交方向には倒壊及びねじれを防止するためにステンレスブレースを配置した。

2.2 試験体の種類

試験体の一覧をTable 1に示す。また、試験体立面図をFig. 1に、接合部の詳細をFig. 5(a)~(d)に示す。ほぞの長さや込み栓の入れ方については、種々の考え方や構法があるが、ここでは、大工の意見を参考にFig. 5

(c), (d)の収まりを採用した。材種は込み栓が檜材、桁が米松、他はすべて杉材である。

105短ほぞ試験体は、柱の断面寸法を105mm角とし、柱-横架材接合部を短ほぞ差し金物補強とし、ほぞ長さは土台背の1/2の52.5mm、接合金物に山形プレートを採用した。この試験体を基本軸組とする。

150短ほぞ試験体は、柱の断面寸法を150mm角、柱-横架材接合部を短ほぞ差し金物補強とし、ほぞ長さは土台背の1/2の75.0mm、接合金物に山形プレートを採用した。

150長ほぞ試験体は、柱の断面寸法を150mm角とし、柱-横架材接合部を長ほぞ差し込み栓（16mmの丸栓）留めとし、ほぞ長さを144mmとした。

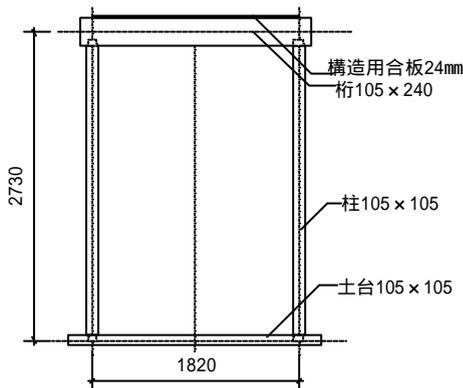


Fig. 1. Elevation of specimen with short-tenon joint

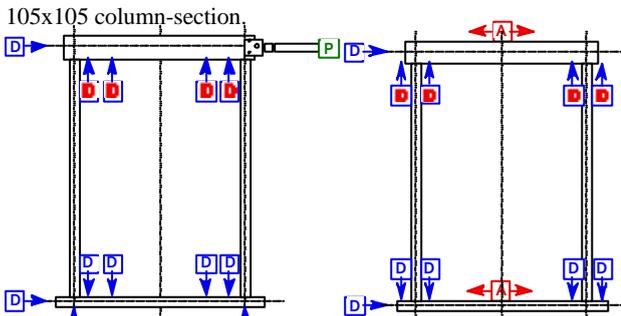


Fig. 2. Allocation of measurement instruments in static test.

120長ほぞ試験体は、柱の断面寸法を120mm角とし、柱-横架材接合部を長ほぞ差し込み栓（15mm角の角栓）留めとし、ほぞ長さを114mmとした（施工の手違いで込み栓の仕様が150長ほぞ試験体と異なり、角栓を使用し、柱には背割りが入っている）。

2. 3 静的水平繰り返し加力実験

試験体を反力フレームに設置し、Photo 1に示すような振れ留めと柱の浮き上がりを拘束する特別な治具を用いて、鉛直方向・面外方向へのはらみを抑えた。試験体は土台両端をアンカーボルトで反力フレームに固定した。

加力の方法

試験体の桁の一端にオイルジャッキを、他端にワイヤ変位計を取り付けた。水平繰り返し載荷は変位制御とし、載荷荷重反転点を見かけのせん断変形角が $\pm 1/450$, $\pm 1/300$, $\pm 1/200$, $\pm 1/150$, $\pm 1/100$, $\pm 1/75$, $\pm 1/50$, $\pm 1/25$, 及び正側片載荷で1/10付近までとした。

計測の方法

載荷荷重は、オイルジャッキから油圧シリンダーを介して、油圧シリンダーに取り付けてあるロードセルによって計測した。変位計によって試験体の真の変形角と各接合部の回転角を計測した。変位計の設置箇所を fig. 2 に示す。また、柱に作用する応力を推定するために柱上下端（横架材面から100mm離れた箇所）左右に歪ゲージを貼付した。

2. 4 振動台加振実験

加振の方法

本実験では、試験体の変形レベルや損傷状況に応じて、実験を2段階（1次、2次実験）に分けて行った。加振波には、Fig. 4に示すように色々な周波数成分が含まれる日本建築センター模擬波（BCJ-L2）を採用した。

・1次実験：静的加力実験のデータなどから初期剛性を想定し、固有周期が約0.3秒となるよう積載重量を設置し、BCJ-L2を入力して、変形が小さい時の振動特性を把握した。加振は50Gal刻みで、変形が非線形領域に至らない範囲で段階的に加振実験を実施した。



Photo 1. Appliance for supporting specimen in static tests.

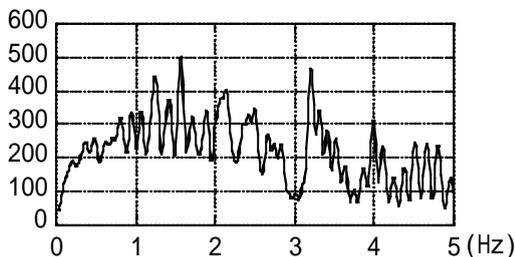


Fig. 4. Spectrum of artificial earthquake BCJ-L2.

Table 1. List of the specimens

| 試験体名 | ほぞ種類 | 柱太さ(mm) | ほぞ寸法(mm) | 試験体数 (振動加力実験用) | 振動加力実験時の積載重量 | | 試験体数 (静的実験用) |
|--------|------|---------|------------|-------------------|--------------|--------|-----------------|
| | | | | | 1次実験 | 2次実験 | |
| 105短ほぞ | 短ほぞ | 105×105 | 30×84×52.5 | 1体 | 0.2ton | 0.5ton | 3体 |
| 150短ほぞ | 短ほぞ | 150×150 | 50×130×75 | 1体 | 0.2ton | 1.0ton | 3体 |
| 150長ほぞ | 長ほぞ | 150×150 | 50×130×144 | 1体 | 0.5ton | 1.5ton | 3体 |
| 120長ほぞ | 長ほぞ | 120×120 | 30×96×114 | 1体 | 0.2ton | 1.0ton | 3体 |

・ 2次実験：大変形領域における試験体の振動特性・最大耐力や破壊性状を明らかにするために、対象試験体の固有周期が1.0秒程度となるように積載重量を増設し、試験体が破壊に至るまで、あるいは変形角1/10程度となるまで加振した。各実験段階の進行に合わせて、適宜スイープサイン波を10～20Gal程度の小さいレベルで入力し、時々試験体の振動特性を把握した。

1次実験と2次実験で設定した積載重量の一覧をTable 1中に併記する。

計測の方法

試験体に作用する慣性力を算出するために、各構面の桁上と土台上に加速度計を、変位計によって試験体の真の変形角と各接合部の回転角を計測した。加速度計・変位計の設置箇所をFig. 3に示す。また、柱に作用する応力を推定するために柱上下端（横架材面から200mm離れた箇所）左右に歪ゲージを貼付した。

3. 実験の結果と考察

静的水平繰り返し加力実験で得られた復元力特性をFig. 6(a)～(d)に、100gal～500gal入力加振した復元力特性をFig. 7(a)～(d)(120長ほぞは、350gal入力で損傷が見られたので、それ以降の加振は実施しなかった)に、静的加力実験における最大変形時の土台・柱接合部の状況をPhoto 2(a)～(d)に示す。

3.1 静的実験結果における比較

(a) 柱断面の影響

短ほぞ金物補強の場合：Fig. 6(a)(b)から105短ほぞと150短ほぞの復元力特性を比較すると、柱断面が太くなることによって、最大耐力が1.1KNから2.7KNへと約2.5倍に上昇している。105短ほぞの復元力特性は、ほぼ紡錘型の安定した特性を示しているのに対して、150短ほぞの復元力特性は、柱の背(150mm)の近傍(層間変形角で約1/20rad)まで復元力は上昇カーブを描いているが、それ以降に変形が進むと、復元力曲線は負勾配を示している。また、荷重反転後は復元力は減少する傾向が顕著にみられ、柱の傾斜復元力の影響と推定される特性が顕著に反映されている。

長ほぞ込み栓の場合：Fig. 6(c)(d)から150長ほぞと120長ほぞの復元力特性を比較すると、柱断面が太くなることによって、耐力が1.9KNから4KNへと約2倍に上昇している。Photo 2(c)(d)を比較すると150長ほぞ試験体は、ほぞの損傷が見られるものの、土台・柱には外見から損傷は確認できない。一方、120長ほぞ試験体においては、土台の割裂の発生や込み栓部分での割れの発生が確認できる。今回の試験体では150長ほぞ試験体は柱に背割りが無く、120長ほぞ試験体では柱に背割りがあったので、単純な比較はできないが、柱断面(ほぞ断面)によって、軸組の破壊性状が異なり、周辺軸組の断面とほぞ断面の組合せが、復元力特性に相当の影響を与えることを示唆している。

(b) 接合部の影響

Fig. 6(b)(c)を比較すると、長ほぞ込み栓の方が耐力で2.7KNから4KNへと約1.5倍大きくなっている。復元力の形状を比較すると、短ほぞ金物補強では、軸力による柱傾斜復元力特性が、相当に全体の復元力特性に影響を与えているが、長ほぞ込み栓では、紡錘型の特性が優位となり、傾斜復元力特性の影響は若干みられる程度に留まっている。

3.2 振動台加振実験結果における比較

(a) 柱断面の影響

短ほぞ金物補強の場合：Fig. 7(a),(b)から105短ほぞと150短ほぞの復元力特性を比較すると、柱断面が太くなることによって、耐力が1KNから3KNへと約3倍に上昇している。静的実験結果のFig. 6(a),(b)と比較すると復元力特性は、スリップの性状が顕著となっているが、柱傾斜復元力特性の形状はほとんど現れていない。長ほぞ込み栓の場合については、120長ほぞ試験体の破損状況が進み加振入力を350galまでとしたので、大変形領域での比較ができなかった。

(b) 接合部の影響

Fig. 7(b)(c)を比較すると、長ほぞ込み栓の方が耐力で3KNから4KNへと約1.3倍大きくなっている。復元力特性の形状を比較すると、短ほぞ金物補強では原点近傍において復元力が相当に小さくなっており、長ほぞ込み栓の方は原点近傍でもある程度の復元力を保っている。金物を使用した場合、大きな変形を経験すると接合部内に遊びが発生し、水平抵抗能力の低下が大きくなり、構造として不安定になることを示唆している。

3.3 静的と動的復元力特性の比較

Fig. 6とFig. 7を比較すると、振動台加振実験の結果の方が変形量が小さくなっている。また、総じてスリップ型の特性が卓越して復元力特性に反映されており、鉛直荷重による傾斜復元力特性の影響は、小さくなる傾向にあると言える。

3.4 軸組の変形

軸組構造の変形は、接合部の回転と柱の曲げ変形の2種類が考えられる。150短ほぞの実験結果による層間変形角を横軸に節点回転角を縦軸に、その変形状況をFig. 8に示す。Fig. 8から節点回転角と層間変形角の関係はほぼ1対1の線形関係を示している。この関係は、今回実施した静的及び振動実験のどの実験結果においても成立している。このことから柱と横架材(桁・土台)とから構成される軸組の変形は、ほとんど接合部の変形が支配しており、柱の曲げ変形成分は極微少であることが明らかとなった。

3.5 軸組の応力

柱と横架材のみから構成される軸組の水平抵抗要素は、柱の曲げ抵抗である。ここでは、柱の柱頭・柱脚に貼り付けた歪みゲージの計測値から柱に作用している曲げモーメントを算出し、載荷荷重あるいは慣性力による層間モーメントとの比較を行った。150短ほぞと150長ほぞ試験体を対象に、静的実験結果による比較をFig. 9に、振動実験結果による比較をFig. 10に示す。柱の柱頭・柱脚

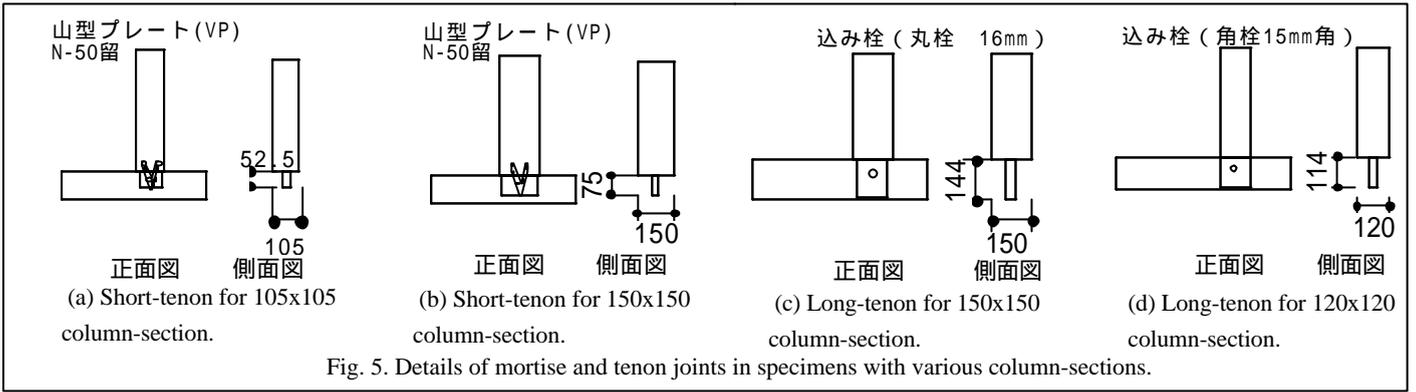


Fig. 5. Details of mortise and tenon joints in specimens with various column-sections.

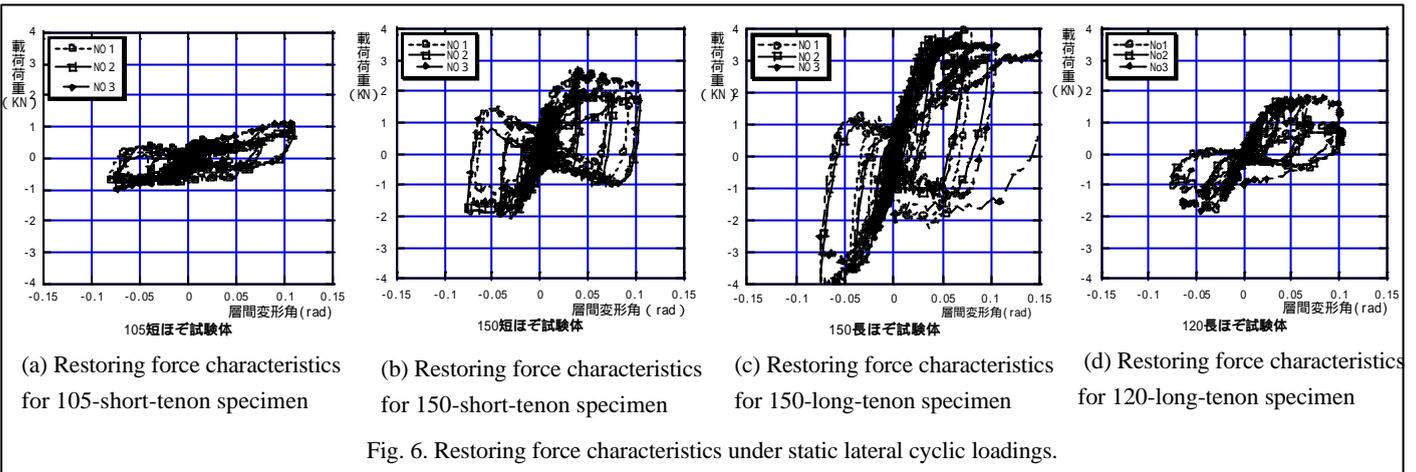


Fig. 6. Restoring force characteristics under static lateral cyclic loadings.

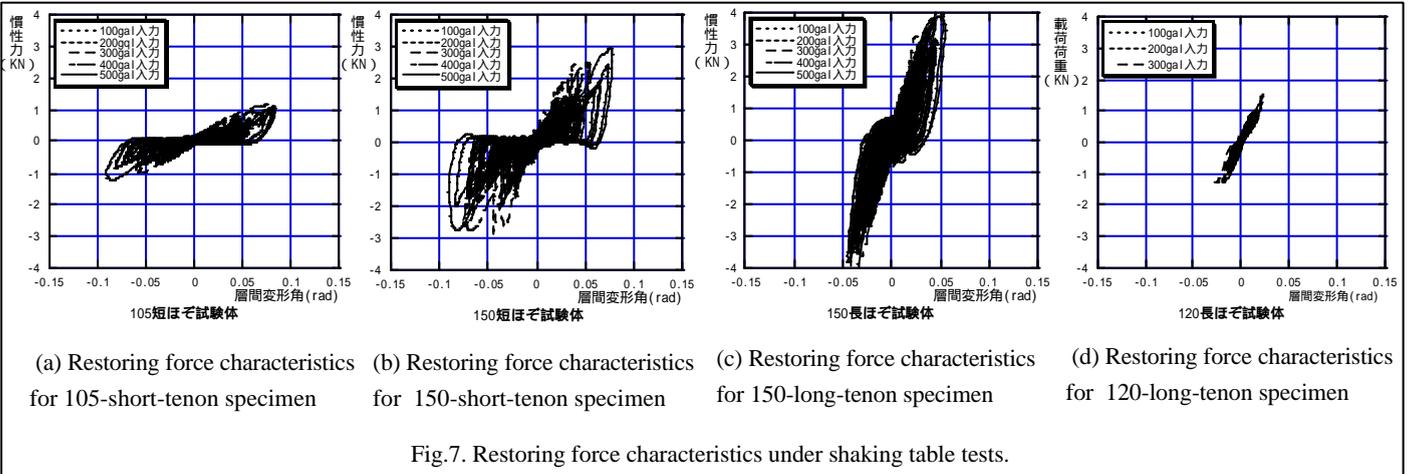


Fig. 7. Restoring force characteristics under shaking table tests.

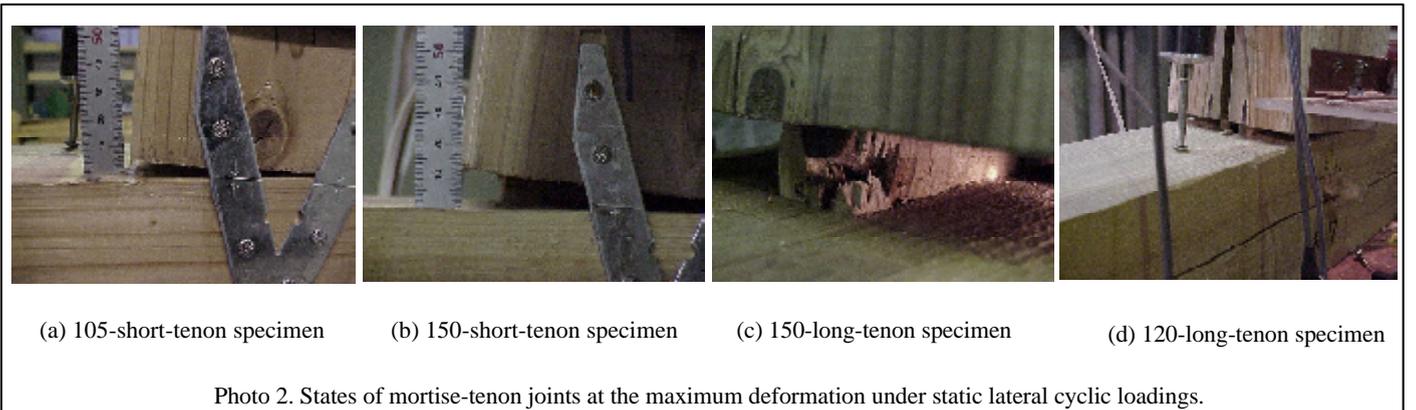


Photo 2. States of mortise-tenon joints at the maximum deformation under static lateral cyclic loadings.

に相当するモーメントの和を M と表記してある。Fig. 9 (a), (b) から、 M と層モーメントとの関係は、 M の方が約 2 ~ 3 割高い値を示している。一方、Fig. 10(a), (b) からは、150 短ほぞ試験体では M は最大で 2 倍にも達している。一方、150 長ほぞ試験体では、負側で約 5 割 M が大きくなっているが、その他はほとんど差がない。軸組の水平抵抗機構は、「外力のなすモーメント = 鉛直荷重による転倒モーメント + 柱の曲げモーメント」となっていると考えると、 M の値が層モーメントを下回る結果となると想定されるが、どの試験体においても歪みゲージから算出したモーメント M の方が層モーメントより大きくでている。このことは、接合部内の抵抗機構と応力の分布状況が大きく関係しているものと考えられる。

接合部内の力学的な機構の解明については、幾つかの定式化や実験的解明が行われている(例えば 6) - 8)。多くは、接合要素単体の実験や解析である。ここでは、平面軸組の中での接合部の抵抗機構について分析する。Photo 3 は、文献 6) に掲載した短ほぞ接合部内の状況を転載し

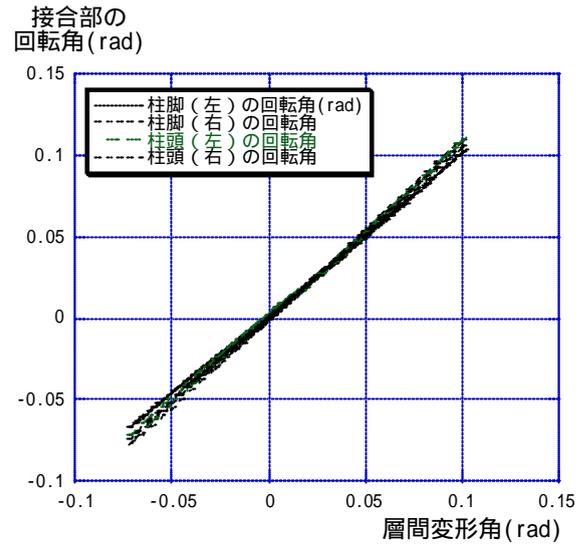
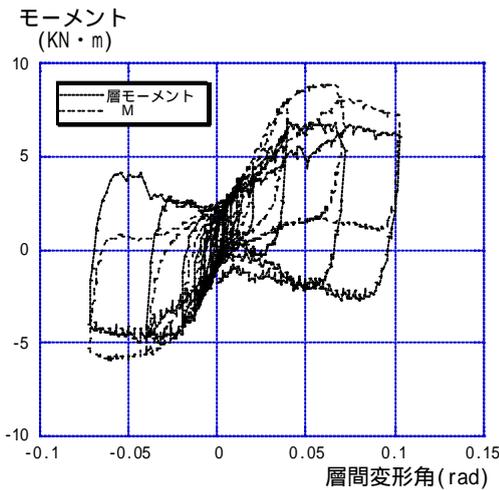
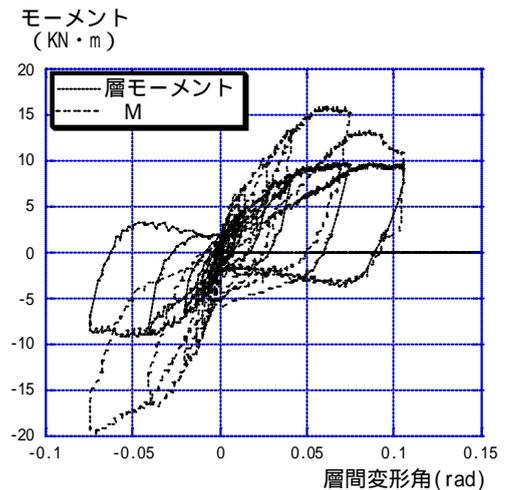


Fig.8. Relationships of rotation-angle of joint and storied deformation-angle.
(105-short-tenon specimen by static test)

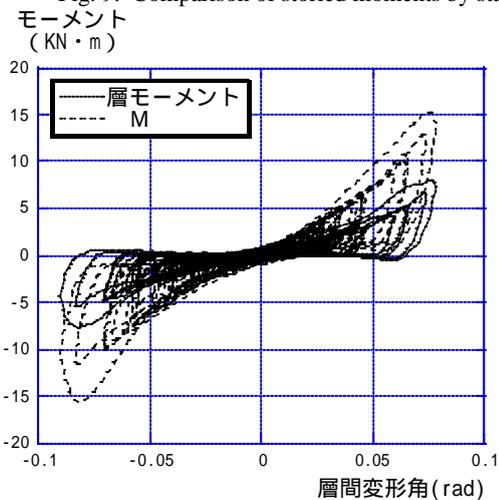


(a) Case of 105-short-tenon

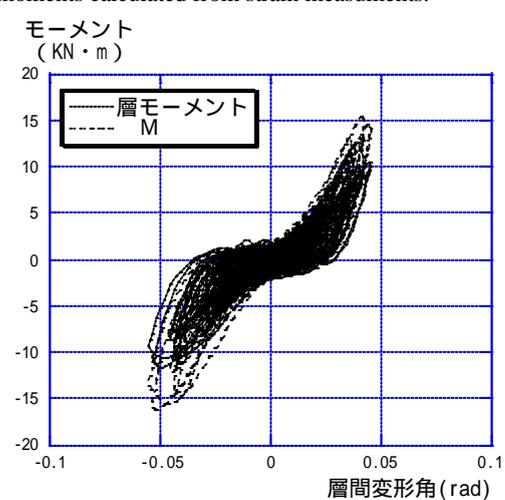


(b) Case of 150-long-tenon

Fig. 9. Comparison of storied moments by static lordings and moments calculated from strain measurements.



(a) Case of 105-short-tenon



(b) Case of 150-long-tenon

Fig. 10. Comparison of storied moments estimated from results by dynamic test and moments calculated from strain measurements.

たものである。これらの実験結果を参考に、今回の短ほぞ差し金物補強と長ほぞ差し込み栓留め接合部内の柱（ほぞ）の状況を模式化したものをFig.11(a),(b)に示す。柱（ほぞ）に作用すると考えられる各応力の一覧をTable 2に示す。P₁は静的実験では治具の拘束による変動軸力であり、振動台加振実験では積載荷重となる。軸組が変形することによって、柱の角の一端に作用すると考えられる。P₂は接合部の回転に伴いほぞが抜け出す際に発生する木材間の摩擦力、P₃はほぞの回転に伴い発生する圧縮力、P₄は込み栓あるいは補強金物による拘束力（引張）P₅は補強金物による拘束力（圧縮）である。これらの応力が作用していることによって、接合部近傍の部材は複雑な応力状態になっていると推測される。特にP₃については、一般に木材のめりこみ式から三角形分布を仮定して定式化されているが、木材がめり込みながらずれて行く効果の評価については、今後の問題であろう。今回の計測システムでは、これらの応力を十分には把握できてはいないが、軸組構造の部材の設計に当たっては、単純に外力の釣り合いから応力を算出し検討することは、実際の応力状態より過小評価となり危険側になる可能性があることが示されたと言える。今後は、これらの応力状態を明確に把握できる計測システムを考案し、接合部内の応力・変形を的確に表現できる解析法を構築する予定である。

まとめ

木造軸組の動的・静的実験から接合部の仕様、柱断面の違いによる力学的性状について明らかにした。また、外力による層モーメントと柱に発生するモーメントの比較から、接合部には複雑な応力が発生していることを指摘し、発生する応力の分類を示した。

謝辞：本実験を行うに当たって、京都大学大学院清水秀丸、前野将輝両君並びに金沢工業大学4年生（当時）斉藤美穂、南谷恵、原知子、小栗一哉、原田規行、杉山亮太君に多大な協力を受けました。また、実験の実施に当たっては工学院大学宮沢健二先生に御支援を頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村上雅英, 清水秀丸, 他: 在来軸組工法における石膏ボード有開口大壁の終局強度設計法の提案, 日本建築学会論文報告集, 第533号, 2000.7, pp.121-126.
- 2) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計法, 国土交通省住宅局指導課・木造住宅振興室監修, (財)日本住宅・木材技術センター企画編集, 2001年度版
- 3) 松田昌洋, 坂本功: 伝統的木造軸組構造の耐力性能に関する研究 - 民家を礼とした構造計算による検討 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2001.9, pp.279-280.
- 4) 三芳紀美子, 大橋好光, 他: 軸組構法住宅用各種壁の静加力試験及び振動台実験 その1 各種壁の静加力試

験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2001.9, pp.201-202.

- 5) 坂本功, 大橋好光, 他: 軸組構法住宅の実大振動実験(A棟)その1 試験体, 計測計画, 実験スケジュール, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1996.9, pp.129-130.
- 6) 後藤正美, 鈴木有: 接合部の特性を考慮した在来構法木造骨組の静的及び動的力学特性, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第36号, 1993.7, pp.1-7.
- 7) 後藤正美, 森迫清貴, 鈴木有, 石田修三: 除荷抵抗を持たない縮み要素による木造ほぞ接合部のロッキング挙動モデルの検討, 構造工学論文集, Vol.40B, pp.35-42.
- 8) 村橋久昭, 嘉戸通幸, 福谷勝: 貫構法耐力壁に関する研究(その1)貫T型接合部の変形特性と耐力推定,(その2)込栓T型接合部の変形特性と耐力推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2001.9, pp.97-98, 99-100.

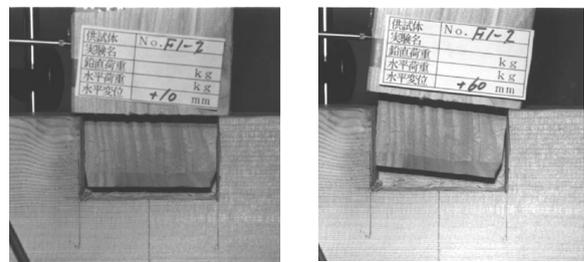
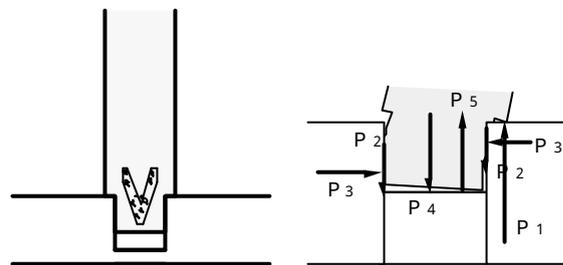
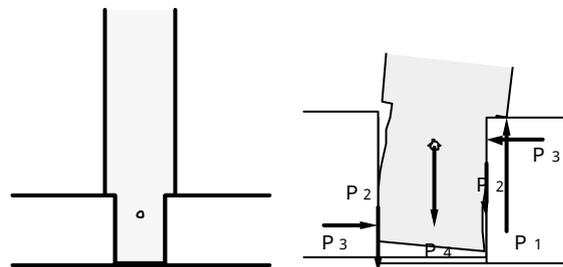


Photo 3. Deformation states of tenon in a mortise-tenon joint. ⁶⁾



(a) Case of short-tenon



(b) Case of long-tenon

Fig.11. Stress diagram in mortise-tenon joints.

Table 2. Classification of stresses acting in mortise-tenon joints

| 接合部の仕様 | 柱に作用する応力 | | | | |
|--------|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 短ほぞ | 鉛直荷重 P ₁ | 木材間の摩擦による引張力 P ₂ | せん断力 P ₃ | 金物による引張力 P ₄ | 金物による圧縮力 P ₅ |
| 金物仕様 | | | | 込み栓による引張力 P ₄ | |
| 長ほぞ | | | | | |
| 込栓仕様 | | | | | |