

第5部門の研究活動に関する報告

(平成21～平成22年度)

研究課題名：伝統木造建築の新しい耐震建具の研究開発

片岡靖夫，小岱冬樹*，脇田健裕**，望月義信***

Keywords : Traditional wooden building, Earthquake proof, Fitting, Sliding door, SHOJI, Shear diaphragm

1. 研究目的

伝統木造建築の耐震補強のための耐震性能を付与した建具の研究開発が本研究の目的である。具体的には、重要伝統木造建築のうち、採光を要する引き戸に耐震性能を付与すること、及び建具の中では最も強度の小さい障子に耐震性能を保有させて耐震補強要素として機能する耐震障子の研究開発が研究目的である。これらの建具の製作には高度な製作技術を必要とすることなく、従来の建具製作技術で十分対応できる仕様をすることを前提にしている。そして、開発された耐震建具を、耐震補強を必要とする寺院建築に試用して、その施工性の検討を行うことも研究目的に含める。

2. 研究計画

2.1 可採光耐震建具の研究

社寺建築などの伝統木造建築にはガラス戸などの採光可能な建具が多く用いられているが、その部分に採光可能であり、かつ耐震性を有する建具の開発を計画した。それは、框や棧材の中央部に薄鋼板を接着して挟み込み、建具に強度と靱性を保有させることである。さらに、採光可能な建具にはガラスを使用しているが、ガラスは強度が低く脆性的な破壊をする性質を有するものなので、地震抵抗要素としてはふさわしくない。そこで、本研究ではアクリル樹脂をガラスに代えて使用することにした。特に採光を必要としない重要伝統木造建造物には耐震框戸／扉が多用されている。しかし、一般の寺院本堂では法要が日常的に催されるので採光を必要とするものが多く、耐震補強によって開口部が閉鎖されて本堂内が暗くなることを避けたいという要望が強い。そこで、ガラス戸や障子戸のように採光が可能でしかも耐震性能を有する建具を考案した³⁾。建具の部材構成は、心材に格子状の薄鋼板 (t=2.3mm) を用い、格子内にアクリル板を嵌め込み鋼板とアクリル板の切り口接触部はウレタン樹脂で接着する。そして格

* 中部大学大学院生，**中部大学助教，***伊藤平左エ門建築事務所

子の表裏に桧杵材を接着するが、鋼板と桧材の接触部はウレタン接着剤で接着し、桧と亚克力板の接触部はレゾシノール接着剤で接着する。さらに、格子状の棧の交点には鋼板を貫通するタップネジ(φ3)を用いて接着面の脆性的な剥離を防ぐ工夫をした。戸の腰部は桧の仕上げ材を貼り付け舞良戸の意匠にする。両引きの戸が重なる縦框にはせん断伝達のための錠を4箇所取り付け、柱との戸当たり部には4個の檜のダボを設ける。そして横框と戸はフランス落しで戸の水平移動を拘束する。同時に鴨居と敷居には戸の横移動拘束材を嵌め込む。この可採光耐震建具の詳細は図1に示す。

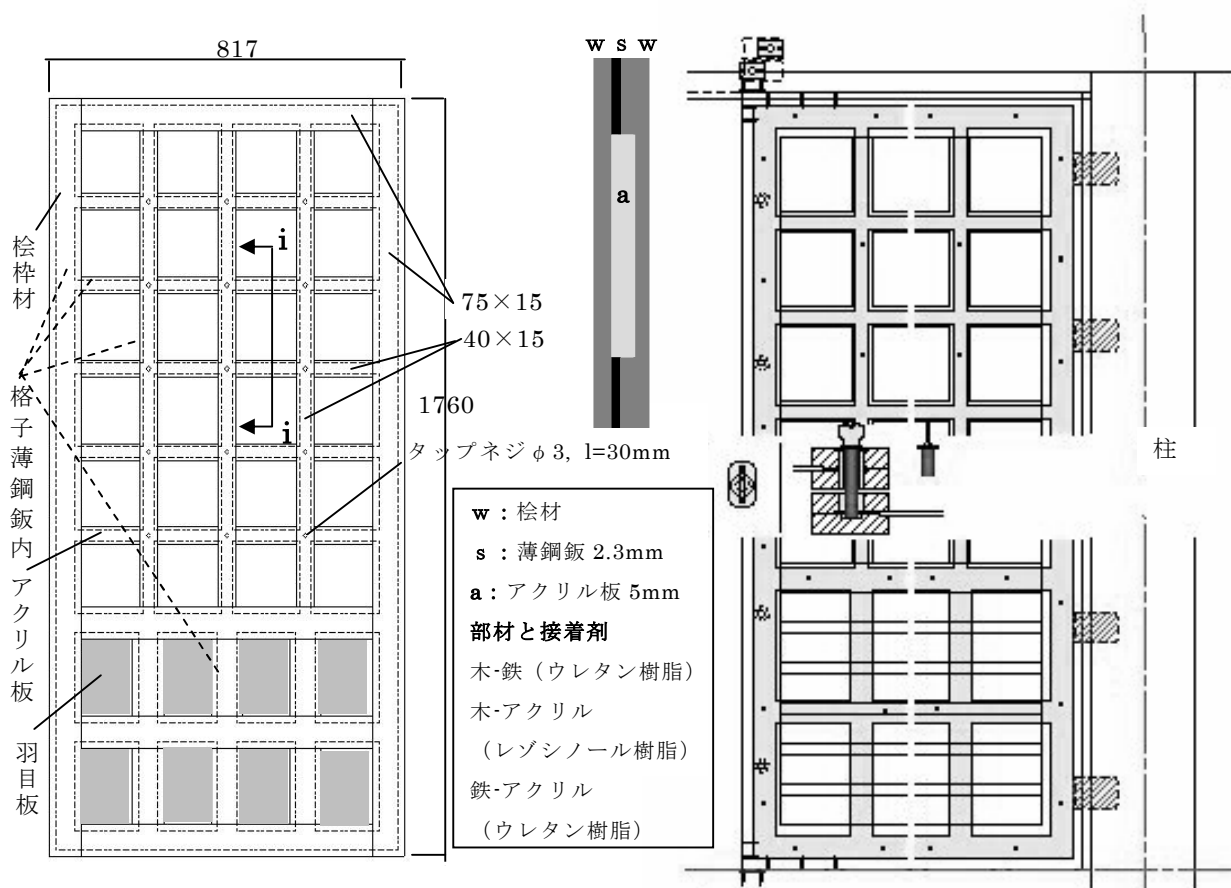


図1 可採光耐震建具の仕様

2.2 耐震障子の研究

障子は日本の住宅ばかりでなく、伝統木造建築のほとんどに使用されており、室内意匠のために極めて重要な要素である。それは、室内にやわらぎのある光を透過させて落ち着いた静かな空間の形成に重要な役割を果たすからである。また、茶室や書院においては障子そのものが最も重要な建築空間形成要素でもある。そのような障子が主体に用いられた建物は開放的な空間になっているため、壁などの耐震要素が少なく地震に対して部防備な建築構成になっていることが多い。

写真1に示した建物の室内空間は、永平寺の七堂伽藍の一つである僧堂の室内空間を示すものである。僧堂は修行僧の瞑想の場であり、就寝の場であり、食の場でもある最も重要な建物の一つになっている。室内は障子からの透過光だけである。この光による室内は、決して暗いものではなく、室内に座って心静かにいると、障子を透過した弱くさやさやかな光が、心を明るく清らかにするものであると感じる。人の感性に伝わる光は、その光の強弱ではない。このような空間を耐震補強のために壁や筋違などで補強して変えてしまうことは許されないことである。そこで日本建築で多用される障子に強度と靱性を付与することを考えた。その耐震障子の詳細を図2に示した。

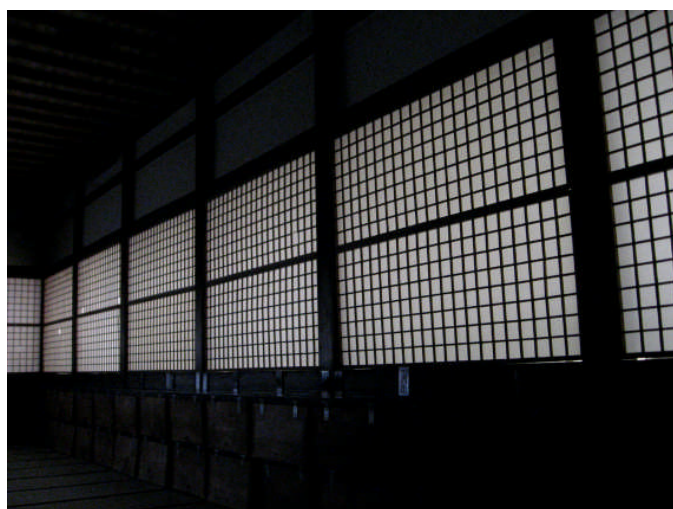
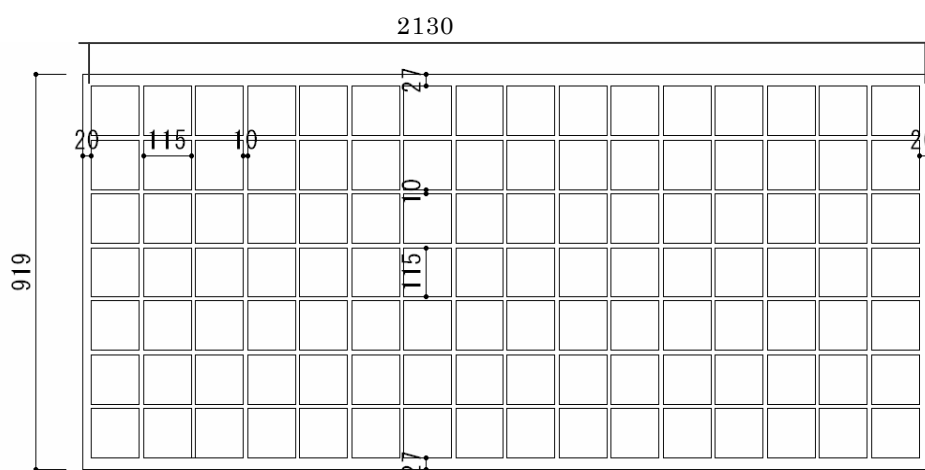


写真1 永平寺僧堂内の主要な障子



障子全体の重量=5.8 kg, 内挿薄鋼板 ($t=0.8\text{mm}$) の重量=2.4 kg
[2層の杉積層木部と中央薄鋼板の3層構造 (接着剤: ウレタン樹脂接着剤)]

図2 耐震障子の詳細図

3. 研究成果

3.1 可採光耐震建具の耐震性能

可採光耐震建具が必要耐震性能の発揮するためには、耐震建具を組み立てる部材相互の接着性能が保証されなければならない。そのために耐震建具の構成要素である桧と鋼板、鋼板とアクリル板そしてアクリル板と木材、の適切な接着剤を定めるため、エポキシ系接着剤、ゴム系接着剤、ウレタン接着剤、レゾシノール接着剤の接着性能試験を行い、その結果からウレタン接着剤とレゾシノール接着剤を用いることにした。そして実大試験体を作製して水平方向正負振り返し加力試験を行った。実験結果は図3に示した。履歴曲線はスリップを有する原点指向型であるが、これは鋼板が桧材と框に内挿されたサンドイッチ形式であるために鉄骨構造要素の変形特性が顕著に表れたものである。P- Δ 曲線から、 $1/50\text{rad}$ までは線形であり、その後は框材の局部屈曲が生じて耐力一定の変形性状を示した。

伝統木造建築の外周開口部は建具が二重になっていることが多い。室内側の障子戸やガラス戸の外側に雨戸や框戸、あるいは木の扉が設けられている。これらの外周部の建具を耐力壁にすることで建物の耐震性能向上させる耐震框戸を開発できた。耐震框戸/扉は、構造用合板 (特類9mm厚) と縦框と横框、

及び構造用合板と表裏の杉板をレゾシノール接着剤で圧着したものである。耐震框戸と耐震扉の構造仕様は同じであるが、耐震扉は重量金属扉用の蝶番で柱又は縦材に取り付ける。

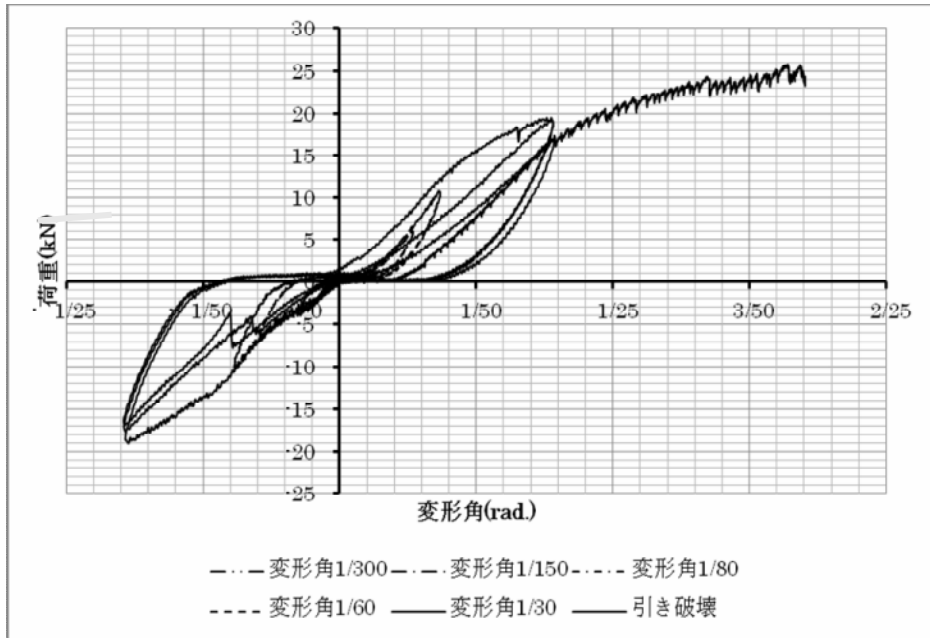


図3 可採光耐震建具 (P—Δ)

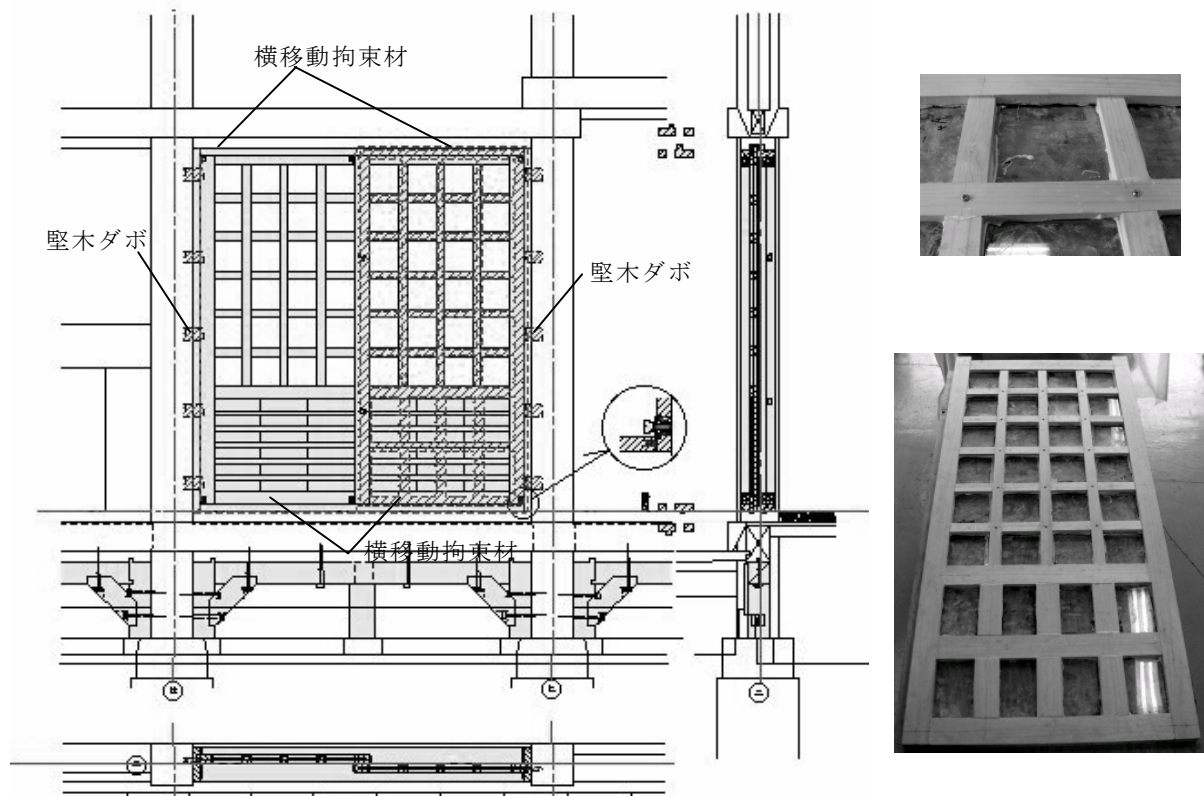


図4 可採光耐震建具と(右写真)と取り付け詳細(左図)

一般の寺院本堂では法要が日常的に催されるので採光を必要とするものが多く、耐震補強によって開口部が閉鎖されて本堂内が暗くなることを避けたいという要望が強い。そこで、ガラス戸や障子戸のように採光が可能でしかも耐震性能を有する建具を考案した。建具の部材構成は、心材に格子状の薄鋼板を用い、格子内にアクリル板を嵌め込み鋼板とアクリル板の切り口接触部はウレタン樹脂で接着する。そして格子の表裏に桧杵材を接着するが、鋼板と桧材の接触部はウレタン接着剤で接着し、桧とアクリル板の接触部はレゾシノール接着剤で接着する。戸の腰部は桧の仕上げ材を貼り付け舞良戸の意匠にする。両引きの戸が重なる縦框にはせん断伝達のための錠を4箇所取り付け、柱との戸当たり部には4個の檜のダボを設ける。そして横框と戸はフランス落しで戸の水平移動を拘束する。同時に鴨居と敷居には戸の横移動拘束材を嵌め込む。本研究で提案した方法は、従来の構造と工法を変更しないで耐震性能を向上できるので、従来の工法の変更にはならない。耐震建具を取り付ける場合、その建具は個別に保存しておけばよい。このような理由から、本研究の耐震建具は文化財建造物をはじめ伝統木造建造物全般に適用できると方法であり、伝統木造建築の耐震改修法として成果を上げることができた。

3.2 耐震障子の水平変形特性

耐震障子は変形角が $1/150\text{rad}$ 。近傍までは和紙そのものの変化は肉眼では観察できないが、その変形角を超えると和紙の表面に加力方向と $4\sim 5$ 度方向に斜めの皺が生じ始める。すなわち和紙の張力場の形成である（写真 6 左）。変形角が $1/30\text{rad}$ 。以上では和紙と和紙の重なり部分の剥れが生じる。写真 3 に示した 4 桟の障子による基礎実験の場合には、和紙の剥れが発生しない代わりに和紙の破断が生じている。基礎実験の試験体には 1 枚の和紙を貼り付け、かつ試験体周囲の棧材は加力用の鉄板治具で固定しているので和紙の剥れは生じなかったのである。障子全体の加力試験では、この和紙と和紙の剥れが全域に及んで終局状態になった。

最大水平せん断力は 2.8kN/m であり、耐震要素としての強度は高いものではない。しかし和紙の脆性的な破断や障子枠組みの面外座屈が生じることがなく、さらには杉と薄鋼板による枠組みの損傷もない。そして水平力に対する靱性のある挙動を示すので耐震要素として機能すると考えられる。

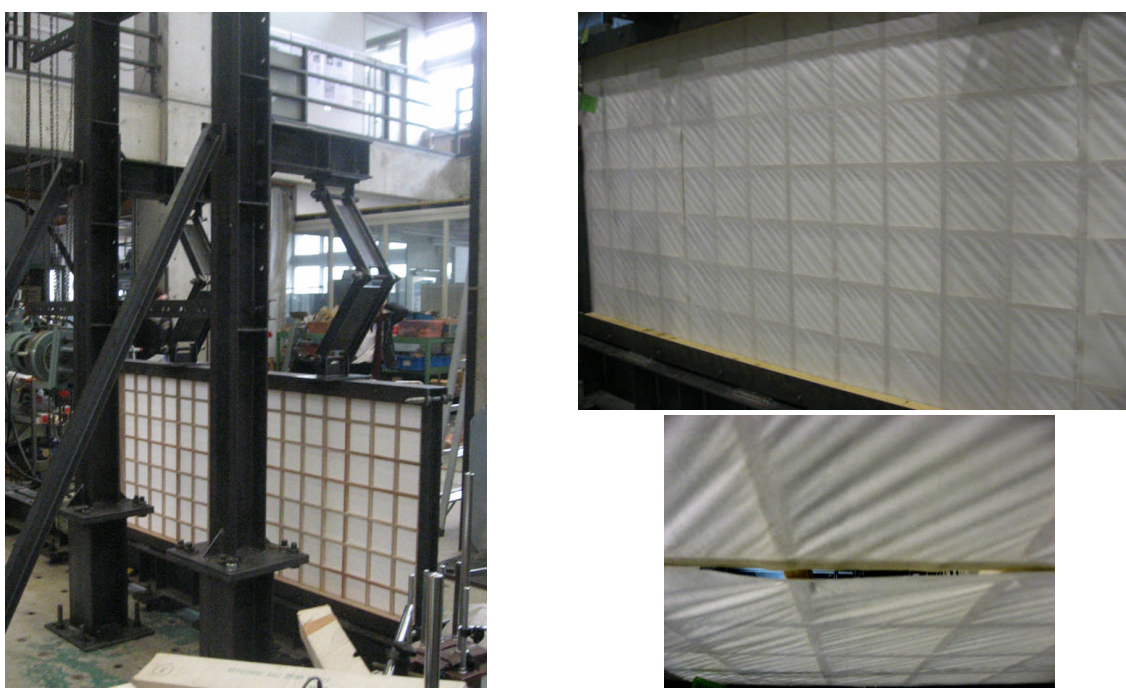


写真 2 桟材に貼られた和紙の張力場の形成と破断

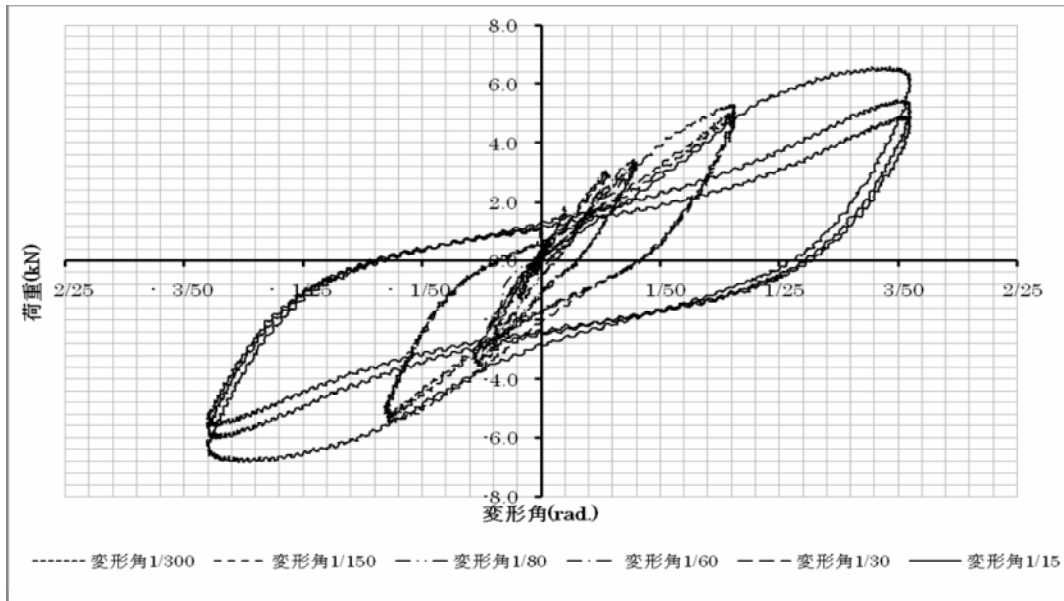


写真5 水平力を受ける耐震障子の荷重—変形履歴曲線

4. 結論

伝統木造建築の地震に対して弱点部とされる開口部に可採光耐震建具を用いることにより、建物の機能を損なうことなく耐震強度を高めることが出来るようになった。重要伝統建造物においては、これまで使用してきた建具は保存しておくことで、文化財建造物の保存法に合致する。また、建築要素の中で最も耐力の小さい障子に耐震性能を付与することはこれまでは考えられないことであった。一般の耐震要素の開発では、高い強度と剛性および優れた履歴特性を有することが研究目標になるが、我々の耐震障子の研究の目標は、ほどほどの耐震性能を有する耐震建具の開発ということである。障子に関しては、開け閉めする必要はあるものの、日常的に開閉をする障子はそれほど多くない。特に伝統木造建造物は年間を通じて開閉しない障子の方が多い場合もある。研究の発端となった永平寺の僧堂は、特定の場所以外開かれることはなく、そのほとんどが閉めたままの状態である。このような建造物や書院造りの建物に関して、特定の場所に耐震障子を用いることにより耐震性能を高めることができることが明らかになった。今後は、本研究で開発した耐震建具を実際の伝統木造建築物へ適用するための実用的な仕組みを開発していく計画である。

5. 謝辞

本研究は、中部大学総合工学研究所 平成21年度～22年度の第5部門の研究費、及び永平寺の委託研究を受け遂行されたものである。そして、本研究の耐震障子の研究は、小澤弘承、後藤誠、寺村圭剛の3君との共同研究として行われたものであり、ここに合わせて感謝の意を表します。

6. 研究発表

- 1) 北守頭久, 森拓郎, 片岡靖夫, 小松幸平: 木材の部分圧縮における余長効果の研究—支持条件における違いの検討, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻, 第642号, 2009年8月, 一査読付—
- 2) Fuyuki Konuta, Takehiro Wakita, Akihisa Kitamori, Yasuo Kataoka ; Development of Earthquake-Proof Fittings of Traditional Wooden rame Structures, Indonesian Wood Research

Society (IWoRS), 査読付

- 3) Naoaki Yamamoto, Takehiro Wakita, Akihiro Adachi, Yasuo Kataoka; Development of Damping Devices for Wooden Frame Structures, Indonesian Wood Research Society (IWoRS), 2010
- 4) Yasuo Kataoka, Fuyuki Konuta, Takehiro Wakita, Akihisa Kitamori; Development of Earthquake-Proof Fittings of Traditional Wooden Buildings, Wood Research Journal, Vol. 2, 2011 (掲載予定) 査読付
- 5) 片岡靖夫, 北守顕久, 越智弘幸, 小松幸平, 脇田健裕; 中国トン族の杉による伝統木造建造物の研究 (第2報 貫構造による各種建造物の構築システムと木割り), 日本建築学会論文集, 2011年掲載予定, 一査読付一
- 6) 片岡靖夫: 中国少数民族トン族の伝統木造建造物, 木の建築, 木の建築フォーラム, 2010一査読付一
- 7) 白井健介, 片岡靖夫, 小岱冬樹, 脇田裕健, 望月義信; 伝統木造建築の耐震性能向上のための改修補強法の研究, (その2. 可採光耐震建具の提案), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2010, 9月
- 8) 小岱冬樹, 片岡靖夫, 脇田裕健, 小岱冬樹, 望月義信; 伝統木造建築の耐震性能向上のための改修補強法の研究, (その3. 両開き耐震建具の提案), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2010, 9月
- 9) 片岡靖夫, 飯田喜四郎, 小岱冬樹, 野村俊也, 岸本 学, 脇田裕健; 伝統木造建築の耐震性能向上のための改修補強法の研究, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2010, 9月 (その4. ダブルスキン耐震小壁の提案)
- 10) 片岡靖夫: 熱田神諸殿御修造における耐震改修, 名古屋市熱田神宮, 2009年9月
- 11) 片岡靖夫: 伊藤平左エ門建築事務所: 岐阜市重要文化財妙照寺調査報告書, 岐阜市妙照寺, 2009
- 12) 望月義信, 片岡靖夫, 吉田貴史: 名古屋市浄土真宗再来寺改修工事, 名古屋再来寺, 2009