

姫路城大天守における建具の強度試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：姫路城大天守

文化財種別 (指定年月日)：重要文化財 (昭和 6 年 1 月 19 日)

国宝 (昭和 26 年 6 月 9 日)

所在地：兵庫県姫路市本町

所有者 (管理団体)：文部科学省 (姫路市)

構造形式：五重六階、地下一階付、本瓦葺

建築年：慶長 13 (1608)

事業名称：国宝 姫路城大天守保存修理工事

事業期間：平成 18 年 6 月－平成 21 年 3 月

工事種別：調査工事

事業者：姫路市

設計監理：公益財団法人文化財建造物保存技術協会

実験計画者：公益財団法人建築研究協会

実験機関：大阪工業大学建築学科 西村泰志研究室

実験年月日：(実験Ⅰ)平成 18 年 11 月 15 日－12 月 23 日，平成 19 年 1 月 11 日－31 日

(実験Ⅱ)平成 19 年 2 月 5 日－3 月 10 日

引用・参考文献：国宝姫路城大天守保存修理工事に伴う調査工事 構造調査報告書 (平成 18 年度 国庫補助事業分)

●実験に至る経緯と目的

姫路城は大天守完成後、約 400 年の歴史を刻み、その間天災、戦災に遭うことなく、現在に至っている。木造の天守閣が現在まで残っている例は極めて稀であり、貴重な文化財として国宝・重要文化財、世界遺産に指定されている。

本実験は姫路城大天守保存修理工事にあたり、建具が建物の耐震要素として活用できるかを検討すること目的としている。「実験Ⅰ」と「実験Ⅱ」を行い、前者では建具を含む建具の耐震性能の調査を、後者では建具自体の剛性および耐力の調査を行った。

実験 I

● 姿図・寸法

柱と鴨居および敷居がピン接合され、その開口部に 2 枚の建具をはめ込む。

【使用材料】

(軸組) 柱：角型鋼管 300 角，鴨居・敷居：米ヒバ 185×210

(建具) 竪框：米ヒバ 80×82，中棧：米ヒバ 60×47，下棧：米ヒバ 82×47，板：米ヒバ厚 12，釘：長 30，楔(本実験のみ)：米ヒバ・榿

【試験体寸法】

図に示す通り。

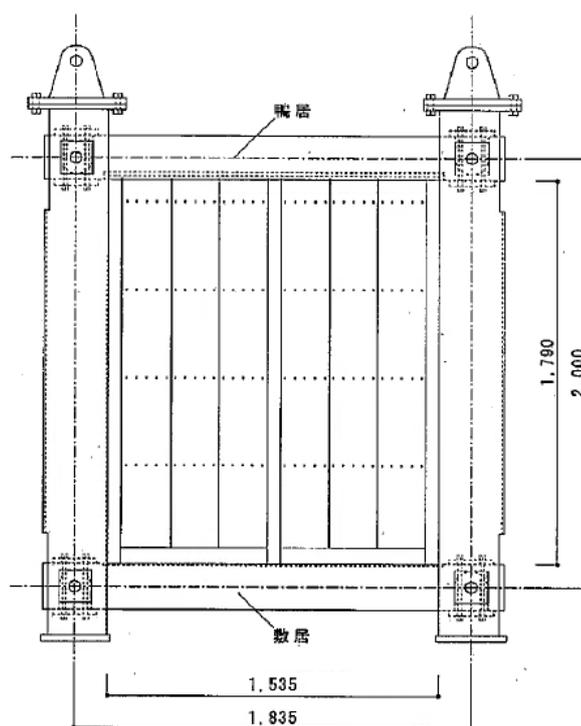


図 実験 I 試験体寸法

● 概要

5 階の建具を含む軸組を対象とし、建具が建物構造の剛性、耐力に寄与するかどうかを確認する。寄与する場合、変形角 1/30 までの荷重変位関係を求める。予備実験と本実験を行い、試験体は各 1 体用意した。予備実験では建具が耐震要素となるための条件を確認した。なお、本試験の試験体には、鴨居と建具および建具と敷居の間に楔を加えて設置した。

●実験方法

柱脚はピン支持、柱頭は載荷梁をピン接合し、正負繰返し載荷を行う。荷重はロードセルで測定し、また柱と鴨居および敷居とのピン節点の水平および鉛直変位、建具の面外方向の変位は変位計で測定した。加えて、ひずみゲージで鴨居、堅枠および板のひずみを測定した。

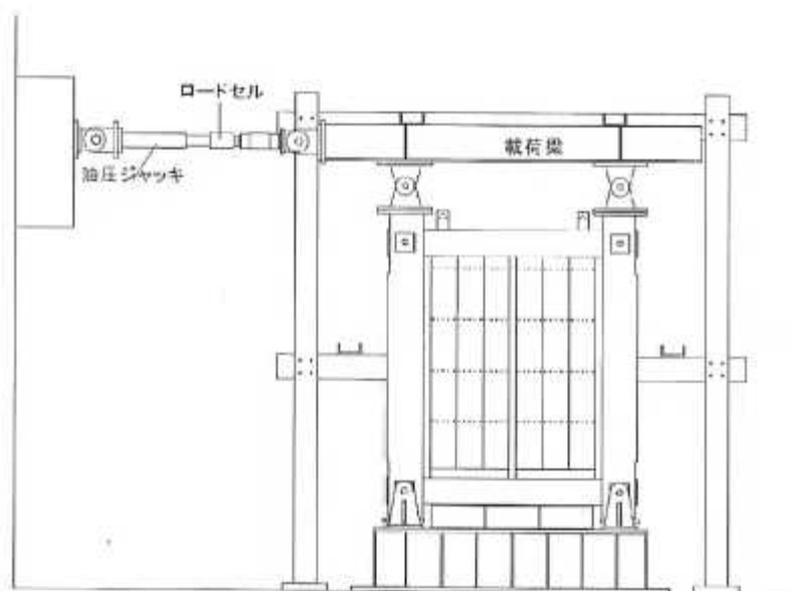


図 載荷装置

(予備実験)

まず、予備実験の方法および結果を以下にまとめる。

建具が地震力に抵抗するためには、地震力が作用することで建具と鴨居あるいは建具と敷居が接触し(つまり鴨居と建具の隙間 t が Δh と等しくなり)、摩擦力が発生することが必要になる。

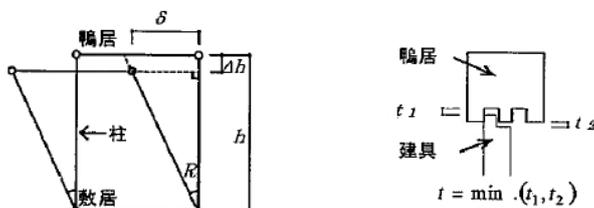


図 軸組モデルおよび敷居と建具の隙間

鴨居と敷居との中心間距離を h 、部材角を R とすると Δh と R の関係は、

$$\Delta h = h \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 - R^2}} \right)$$

と表せる。 $h=2000$ とすると、この関係は次のように図示でき、 t が大きいほど大きな部材角が必要となる。図中の③が相当な補修で再使用可能な限界を示しており、部材角

$R=1/30\text{rad}$.以下で建具を地震力に抵抗させるには、 Δh (すなわち t)を 1 mm程度以下にすることが条件となる。

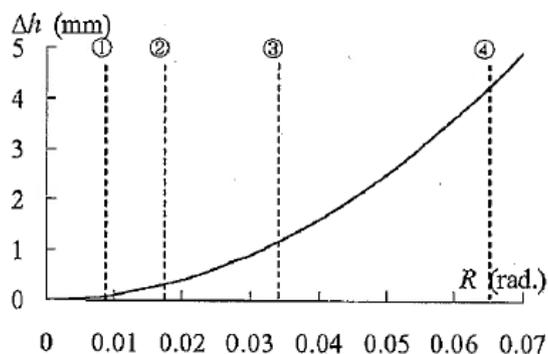


図 hと R の関係

しかし予備実験を行ったところ、繰返し载荷に伴って建具が移動したことにより、 $R=1/15\text{rad}$.になっても建具と鴨居が接触せず、抵抗力は生じなかった。

(本実験)

载荷と同時に建具と鴨居が接触するように、鴨居と建具および建具と敷居の間に楔を設置し、繰返しに伴う建具の移動を拘束した。そして、次の図に示すプログラムで载荷した。

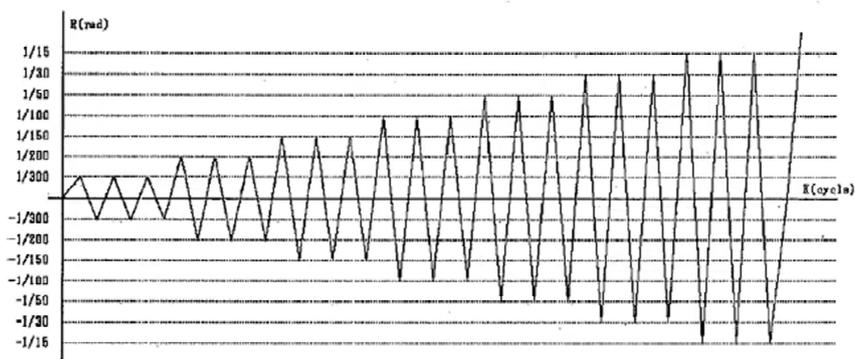


図 载荷プログラム

●特性値

—

●荷重変形

図に示す通り。

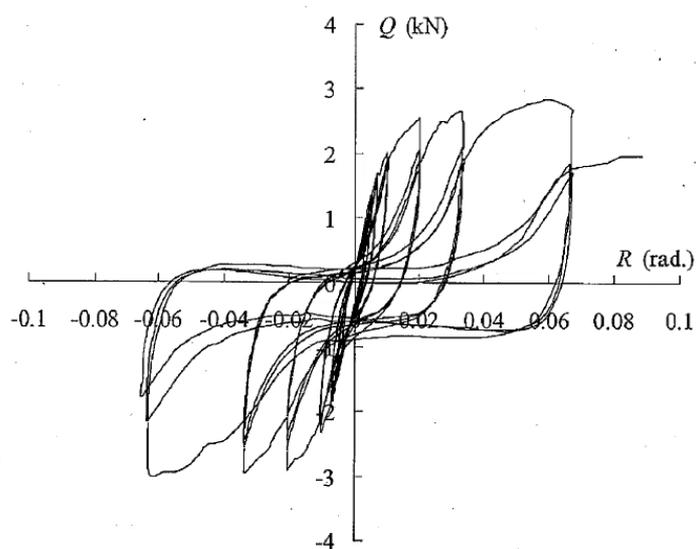


図 実験 I 履歴曲線

●破壊形状

部材角 $1/15\text{rad.}$ に至ると、堅框からの中棧および下棧の抜け出しや建具の回転に伴う板下棧へのり込みおよび板と中棧との釘止め部の釘の抜け出しが顕著に現れた。

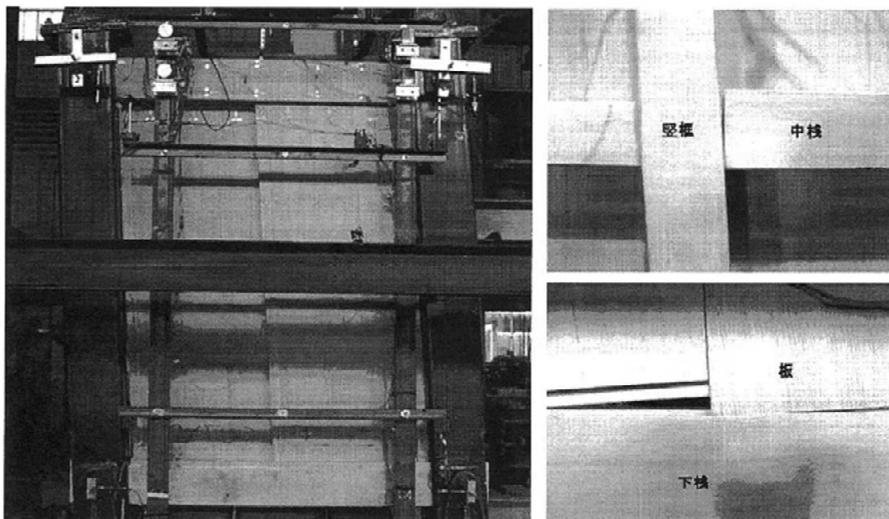


図 実験 I 破壊状況

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

- 1) 建具が軸組のなかで移動する状況においては、大変形にならないと建具は耐震要素として期待できない。
- 2) 建具を耐震要素として活用するには、建具と鴨居、建具と敷居との間に楔等を打ち込んで移動を拘束する必要がある。
- 3) 部材角 $1/15\text{rad.}$ に至っても、耐力低下のない安定した履歴性状を示す。

実験Ⅱ

●姿図・寸法

柱と鴨居および敷居がピン接合され、その開口部に2枚の建具をはめ込む。

【使用材料】

実験Ⅰに同じ(軸組は除く)。

【試験体寸法】

5階建具は実験Ⅰに同じ。1階建具は次の図の通り。なお、5階建具の板と中棧が釘止めされていたのに対し、1階建具は吸い付き棧になっている。

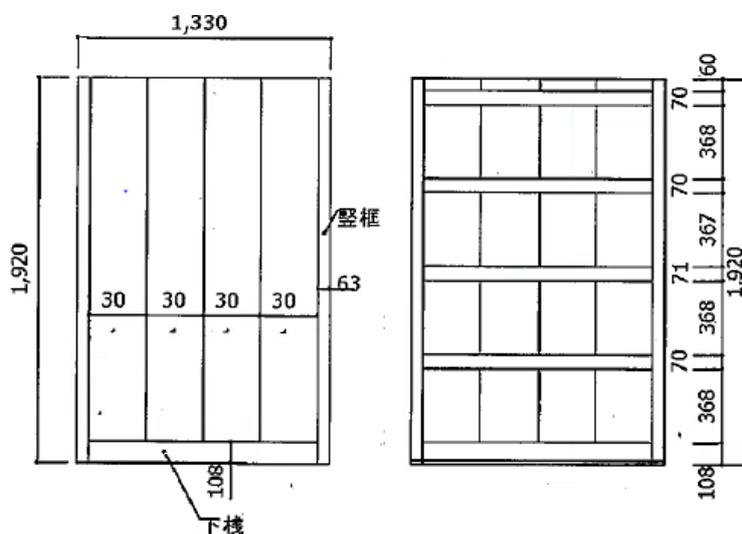


図 実験Ⅱ 1階建具試験体

●概要

1階および5階の建具を対象とし、建具自体の剛性や耐力等の変形状を実験的に明らかにする。試験体を各1体用意し、正負漸増繰返し载荷を行った。また、得られた実験Ⅰの結果を比較することにより、建具自体の性能が軸組のなかに設置された状態でも発揮できるかを明らかにする。

●実験方法

下棧を固定し、堅框の上端部をピン支持し、載荷梁を介して正負漸増繰返し載荷を行った(堅框の上端部に負荷したのは、実験Ⅰにおける堅框および板の軸ひずみ分布から、建具に作用する外力が堅框を介してのみ伝達されることが明らかになったため)。なお載荷プログラムは実験Ⅰの本実験に同じである。堅框上端および下端の水平および鉛直変位、堅框および板のひずみをひずみゲージにより測定した。

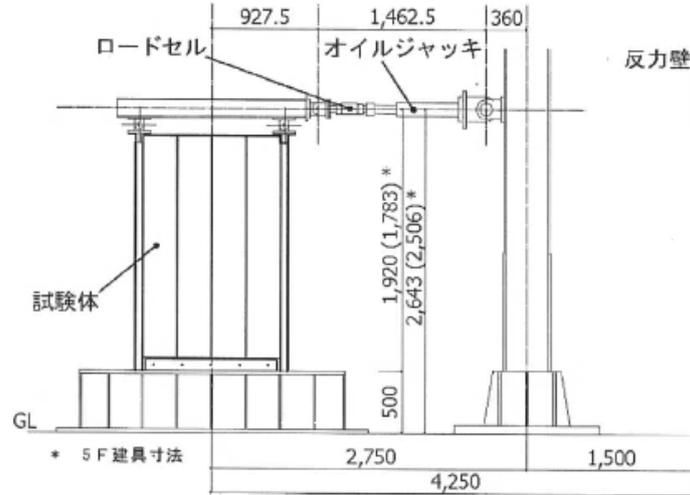


図 実験Ⅱ 載荷装置

●特性値

—

●荷重変形

図に示す通り。

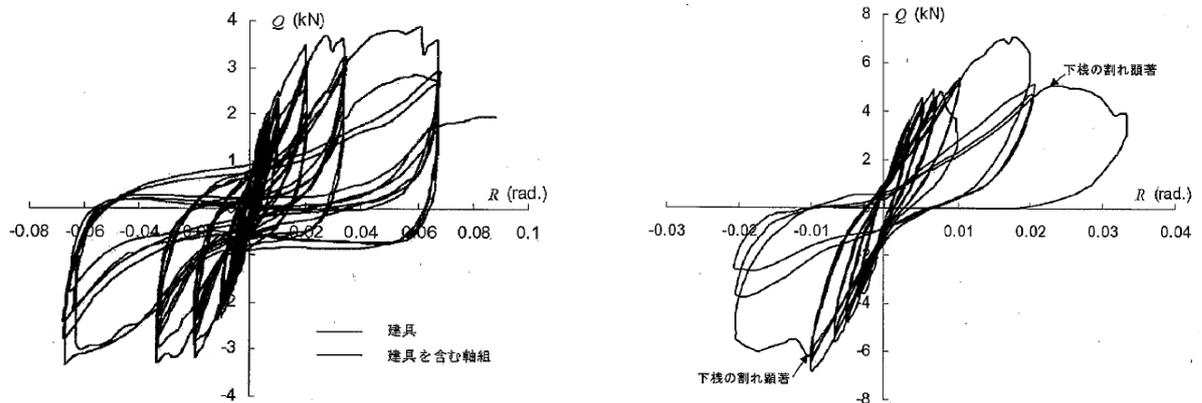
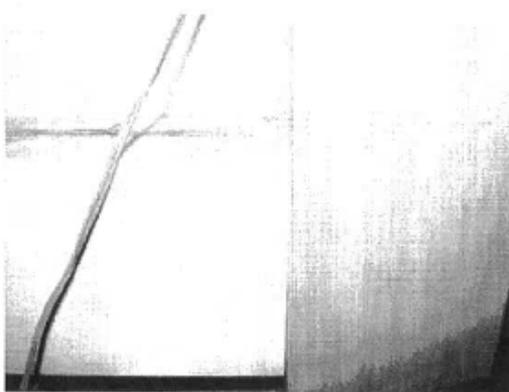


図 実験Ⅱ履歴曲線(左：5階建具，右：1階建具)

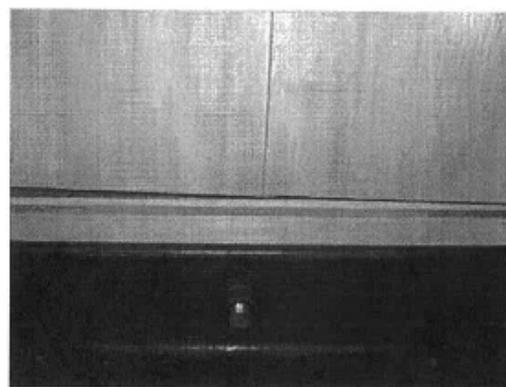
●破壊形状

5階建具は、最終部材角 $1/15\text{rad}$. に至ると、堅框からの中棧および下棧の抜け出し、中棧と板を留めている釘の抜け出しが顕著に現れた。

一方 1階建具においては、堅框からの中棧の抜け出しが非常に小さく、また中棧と板がほぼ一体となって挙動した。



(a) 中棧と堅框の仕口部の状況



(b) 下棧と板の抜け出し状況

図 実験Ⅱ破壊状況

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

- 1) 建具自体は非常に安定した履歴特性を有している。
- 2) 破壊状況から、中棧あるいは下棧の堅框からの抜け出しあるいは板と中棧との分離が防止できるのであれば、建具の耐震性能を向上させることが可能と推察される。
- 3) 5階建具を対象とした実験より、軸組に内蔵された建具は、建具自体の有している性能をほぼ発揮することができる。

建具の耐力について、実験Ⅰおよび実験Ⅱの結果に基づいて求められた壁倍率 α と部材角 R の関係を次の図に示す。

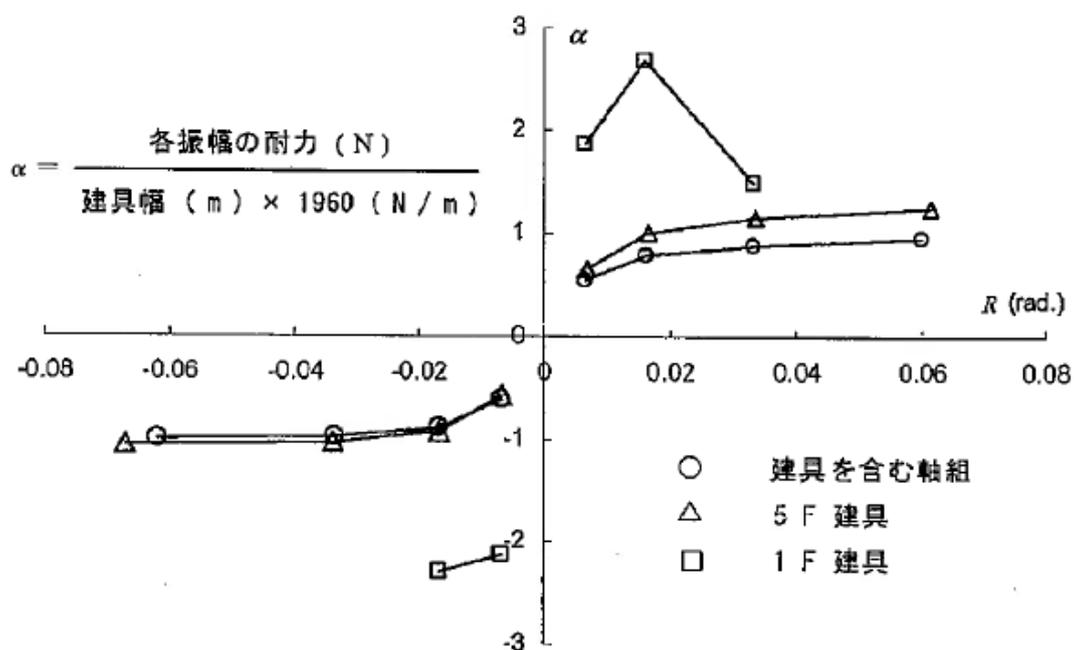


図 各振幅における壁倍率

これより、相対変位角 1/150rad.時の 5 階建具の壁倍率は 0.6 程度、1 階建具の壁倍率は 2.0 程度期待することができる。