

# かしも明治座における板壁の水平抵抗メカニズムに関する研究

A Study for Lateral Resistance Characteristics of Board Wall of Traditional Wooden Structure

須田 達<sup>1</sup>・鈴木祥之<sup>2</sup>

Tatsuru SUDA and Yoshiyuki SUZUKI

<sup>1</sup>金沢工業大学准教授 環境建築学部建築系建築学科 (〒924-0838 石川県白山市八束穂3-1)

Associate Professor, Kanazawa Institute of Technology Dept. of Architecture

<sup>2</sup>立命館大学教授 衣笠総合研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

The wooden board walls are used in many of the traditional wooden buildings. These board walls are expected as a structural element to resist the horizontal force. However, board wall is because it is made by a variety of specifications in each region, the elucidation of resistance mechanism is not sufficient. In this study, to elucidate the structure performance to conducted the static loading tests of the board wall. In addition, wood embedment resistance is evaluated by the elements experiment, it is presumed the configuration of the resistance elements of the board wall.

**Keywords :** Restoring force characteristic, Wooden Embedment, Traditional Wooden Structure, Static Loading Test

## 1. はじめに

2014年6月に加子母明治座耐震改修検討委員会が設置され、耐震補強改修案を提案することを目的に様々な調査研究が実施された。図1のかしも明治座は、土塗り壁と板壁を主要な構造要素としており、耐震補強改修案を提案するためには、これらの構造性能に基づいて建物の耐震性能を評価する必要がある。しかし、それらの構造要素の復元力特性の推定は、既往の研究<sup>1)</sup>や技術資料<sup>2)</sup>とは仕様が異なるため抵抗機構も異なり、課題といえる。

本報では、かしも明治座で使用されている板壁の仕様に基づいて試験体を作成し、水平加力実験によって復元力特性を明らかにすると共に、要素実験と併せて抵抗メカニズムとその構成要素の負担割合を推定する。



図1 かしも明治座の外観

## 2. 板壁試験体の静的加力実験

### (1) 試験体

板壁試験体は、柱、桁、貫による軸組を基本の構成とし、柱は背割りが無く、桁との接合部は長ほぞ接合とし、柱脚底面は角を斜めにテーパカットとした。貫は2段に設けて、柱に通し貫接合とし楔留めとした。壁板は縦張りとし、15mmの溝を掘って貫をはめ込み、はめ込み箇所ごとに釘2本で留めつけた。壁板の上端部は桁下端に突き合わせで接しており、壁板端部は上下ともに釘等で留め付けていない。施工精度は標準的であり、目に見えて隙間等はないが、人力で組立てられる程度である。

試験体の寸法は、高さ2450mm、スパン1820 mm、柱断面120mm角、桁断面240mmx120mm、貫断面30mmx180mm、板断面30mmx180mmである。試験体の材種は、柱、貫をヒノキ、桁をスギとした。図2に試験体図、図3に柱ほぞ、図4に板壁と貫の接合状況をそれぞれ示す。

試験体の種類は、壁板の片面張りと同面張りをパラメータとし、各3体を製作した。表1に試験体の種類を示す。また水平加力実験後に計測した試験体の含水率を部位ごとに平均して表2に示す。

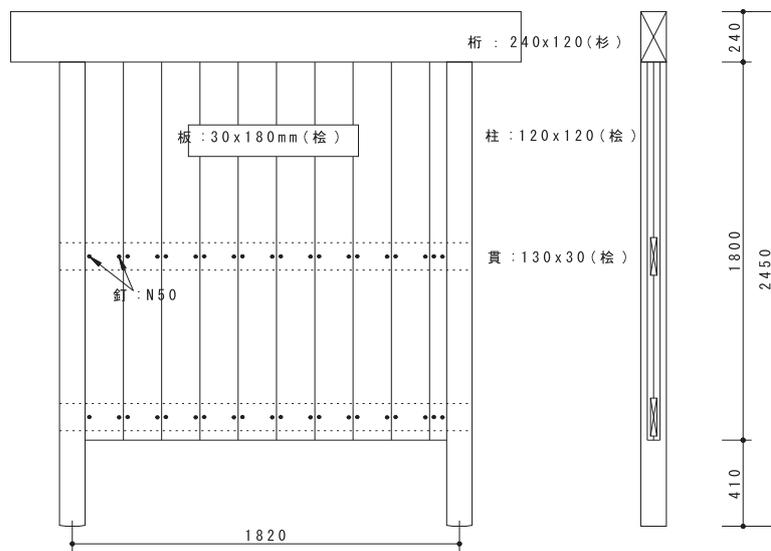


図2 板壁試験体



図3 試験体の柱長ほぞ



図4 試験体の貫-板壁接合部

表1 試験体パラメータ

名称	板張り	試験体数
NS	片面	3
ND	両面	3

表2 試験体の含水率

	平均含水率(%)	標準偏差
柱	10.83	1.34
貫	13.89	1.48
板	13.01	1.59

## (2) 実験方法

試験体は、桁端部とアクチュエータ先端をユニバーサルジョイント金物で接合し、試験体上部には2tonの鋼製錘（柱1本当たり1ton）を載荷して、柱脚部を固定せずに鉄骨架台の土台上に設置した。ただし柱の浮き上がりが予想される1/30rad以降は、柱脚部をホールダウン金物で反力フレームの土台上に固定した。

加力はアクチュエータを変位制御して水平力を加え、目標変形角を1/480、1/240、1/120、1/80、1/60、1/40、1/30、1/20、1/15、1/10radとして3回ずつ正負交番加力を行った。載荷速度は、1/120radまでは0.5mm/s、それ以降は1.0mm/sとした。1/10radの繰返し終了後、可能な範囲で一方向に単調載荷を行った。図5、6に試験体の設置および加力状況、実験における終局状態をそれぞれ示す。

計測はアクチュエータ先端にロードセル、柱頭および柱脚部にワイヤー変位計、接触型変位計を設置して、水平力、層間変位、柱の部材角を計測し、柱頭、柱脚部とその中間にひずみゲージを貼り付けて柱のひずみを計測した。



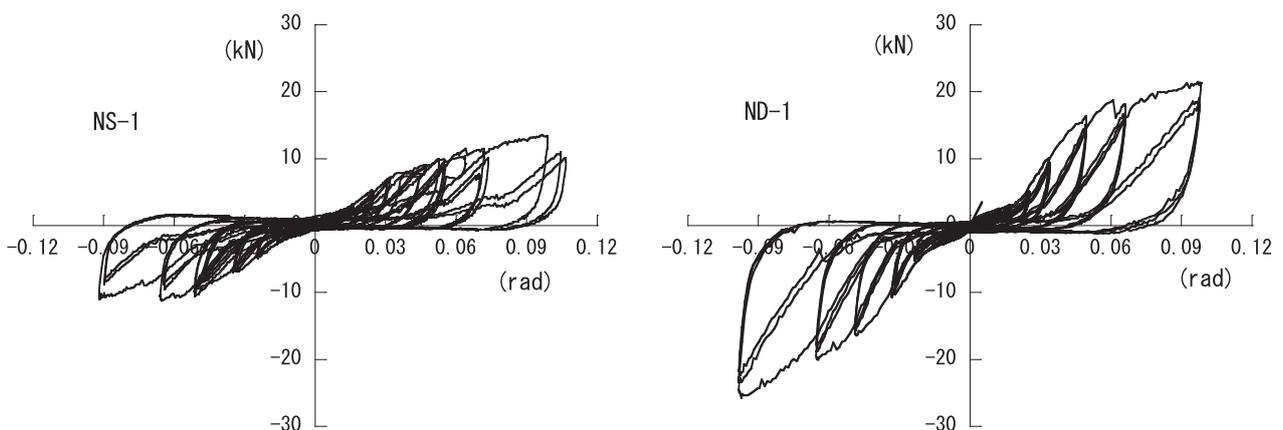
図5 試験体の設置および加力状況(1/30rad時)



図6 試験体の最大加力状況(約1/7rad)

## (3) 荷重-変形角関係

荷重変形角関係として、図7に例として試験体パラメータ各1体の履歴曲線、図8および表3に各試験体の履歴曲線から特定変形角ごとに平均した包絡線とその値をそれぞれ示すと共に、目標変形角ごとに正負の最大荷重の値を結んだ直線から算出した等価剛性と変形角の関係を図9に示す。



(a) NS試験体(板壁片面張り) (b) ND試験体(板壁両面張り)

図7 履歴曲線

試験体によるバラツキはほとんど無く、耐力上昇は原点から約1/60radまでの変形領域では小さく、約1/60radから1/30radにかけて上昇し、約1/30rad以降に緩やかになる。板壁を片面とした場合と両面張りとした

場合に、変形が大きくなるに従って耐力比も徐々に大きくなる傾向にあり、およそ1.2倍～1.8倍となり、大変形時においても2倍とはならない結果となった。

履歴特性としては、左右でほぼ対称の比較的安定した履歴を示すが、1ループ目に比べて、2、3ループ目の耐力低下は極めて大きい。

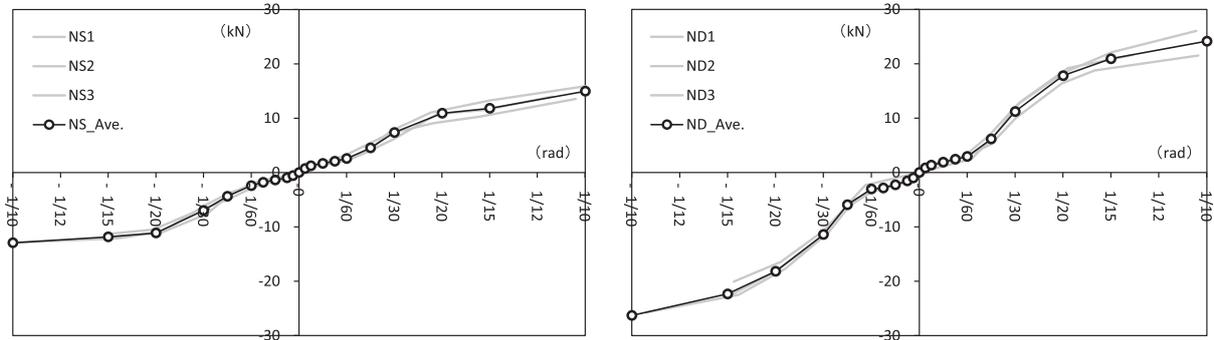


図8 各試験体と特定変形角ごとの平均値による包絡線 (左: NS、右: ND)

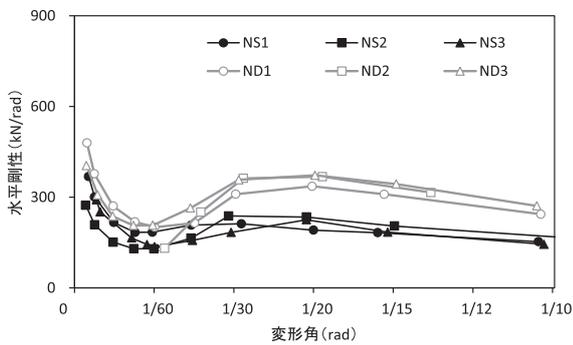


図9 等価剛性と変形角の関係

表3 特定変形角ごとの耐力

特定変形角	NS_Ave. (kN)	ND_Ave. (kN)	ND/NS (比)
1/120	1.53	2.07	1.35
1/60	2.49	2.98	1.20
1/30	7.18	11.31	1.58
1/20	11.02	17.99	1.63
1/15	11.82	21.62	1.83
1/10	13.94	25.21	1.81

#### (4) 損傷

試験体各部の損傷状況を図10に示す。板壁の主な抵抗機構は、板壁による貫へのめり込みであり、実験後に試験体を解体して行った損傷観察において、同図 (a) に示すような貫のめり込み跡を確認した。



(a) 貫のめり込み痕



(b) 板末端部の割れ



(c) 板のズレ・隙間



(d) 貫の引き抜け



(e) 柱脚部の折損



(f) 柱脚部の割裂

図10 損傷状況

同様に、桁下面にもめり込みを確認している。同図 (b) は板壁の下端部である。下端部は貫からの端あきが45mmと小さく、板壁と貫とのめり込みにより生じる応力によってせん断割裂したと考えられる。また板の上下端部は釘等で留めつけておらず、実験载荷とともに、同図 (c) のような板壁の面外へのズレを確認した。同図 (d) は、貫柱接合部であり、貫を楔で留めている程度で、引き抜きに対する拘束力はほとんど無く、大変形時には引き抜きが生じた。同図 (e) は柱脚部の折損であり、ND2試験体のみで発生した。同図 (f) は柱脚部の割裂であり、約1/10radを超えると、ほとんどの試験体において木口からの割裂を生じた。大変形時の浮き上がりを防止するために取り付けしたHD金物による損傷であり実験的な要因であると考えられる。

### 3. 板壁-貫接合部のめり込み抵抗要素実験

#### (1) 要素試験体

要素試験体は、寸法を幅30mm、長さを1200mm、高さを130mmとし、バラツキを考慮して5体とした。なお要素試験体の寸法は2章で示した板壁試験体の貫と同じ寸法である。試験体めり込み箇所には、めり込み深さを目視でも確認できるように、グリッド間隔5mmの印を付けた。材種はヒノキである。図11に試験体図面、図12にグリッド印の状況を示す。

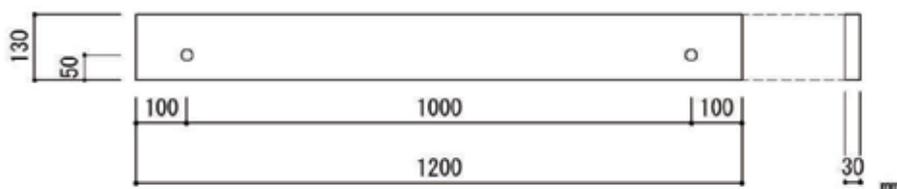


図11 130mm試験体

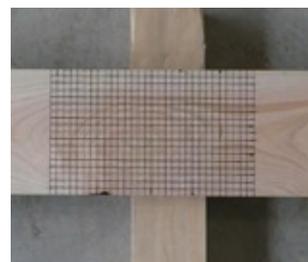


図12 5mmのグリッド

#### (2) 実験方法

要素試験体は、板-貫接合部のめり込み抵抗のみとするため、図13、14のように鉄骨治具に試験体をはめ込んで、板-貫接合部以外はピン接合として設置した。水平加力実験は、治具頭頂部の水平変位による変位制御とした。目標変形角は1/240、1/120、1/80、1/60、1/40、1/30、1/20、1/15、1/10radとし、正負交番3回の繰り返しとした。载荷速度は1/60までは0.5mm/s、1/40から1/30までは1.0mm/s、それ以降は2.0mm/sとした。1/10radの繰り返し終了後、試験体を設置し直して4体を1/4radまで、1体を可能な範囲で一方向に単調载荷した。図13に要素試験体の設置状況、図14に要素試験体めり込み部の設置状況を示す。



図13 要素試験体の設置状況



図14 要素試験体のめり込み部の状況

### (3) 荷重-変形角関係

要素実験から得られた水平荷重と水平変位から、治具の載荷点と支持点間の距離を1000mmとして、モーメントと変形角を求め、要素試験体のモーメント変形角関係として、図15に例として130mm試験体1体の履歴曲線を示し、図16に要素試験体5体の包絡曲線と、それらの包絡曲線を特定変形角ごとに平均化した包絡曲線を併せて示す。

実験結果より、初期のスリップはほとんど無く、原点から緩やかに耐力が増加しており、約1/30rad付近で、やや緩やかな勾配となるが、明瞭な降伏点は無く、その後も耐力は増加し、1/10radを超えても、いずれの試験体においても耐力低下は無い。各変形角における耐力として履歴特性は、板壁試験体と同様に、左右でほぼ対称の比較的安定した履歴を示し、1ループ目に比べて2、3ループ目の耐力低下が極めて大きい。損傷状況は図17に示すように、板壁試験体と同様のめり込み跡を確認した。

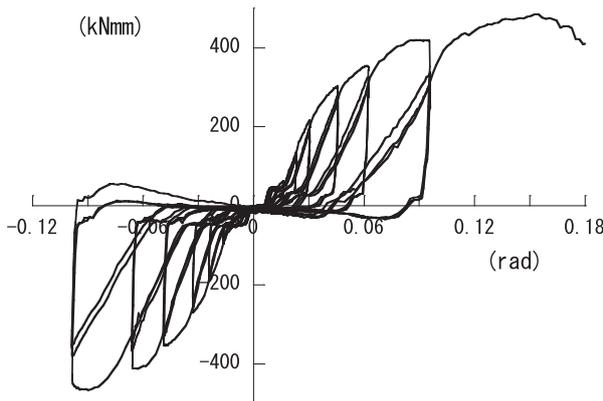


図15 要素試験体の履歴曲線

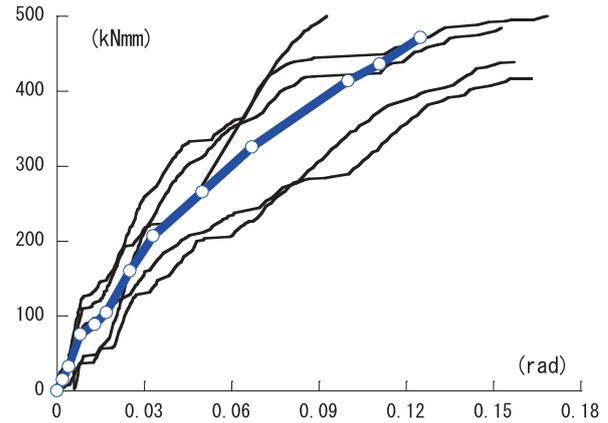


図16 要素試験体の包絡曲線とその平均

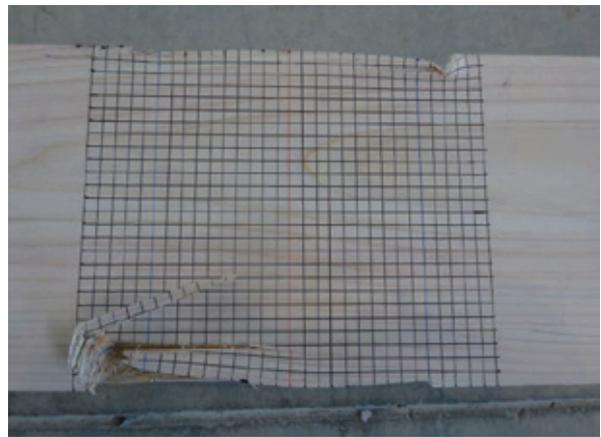
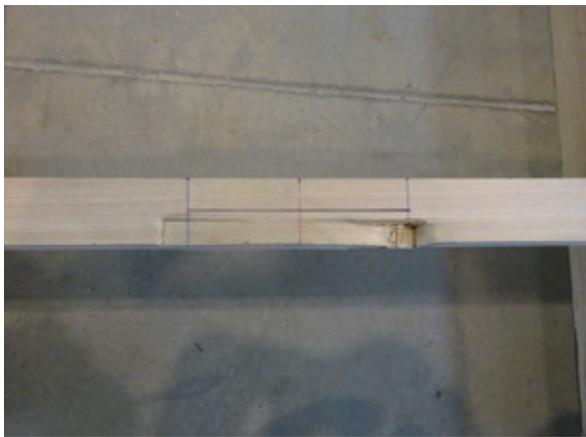


図17 要素試験体のめり込みの様子

## 4. 板壁の水平抵抗要素

板壁試験体の水平抵抗要素は、図18に示すようにA：桁の柱ほぞ接合部によるめり込み抵抗、B：桁の板材によるめり込み抵抗、C：通し貫接合部の柱によるめり込み抵抗、D：通し貫の板材によるめり込み抵抗、さらに板壁試験体の実験状況から推察された、図19に示すような板壁同士の摩擦抵抗と考えられる。ただし、Cの通し貫接合部は、図10 (d) で示したように大変形において引き抜きが生じており抵抗していないことから、主要な抵抗要素はBの桁-板材のめり込み、Dの通し貫-板材のめり込み、板材同士の摩擦、Aの桁-柱ほぞのめり込みと考えられる。

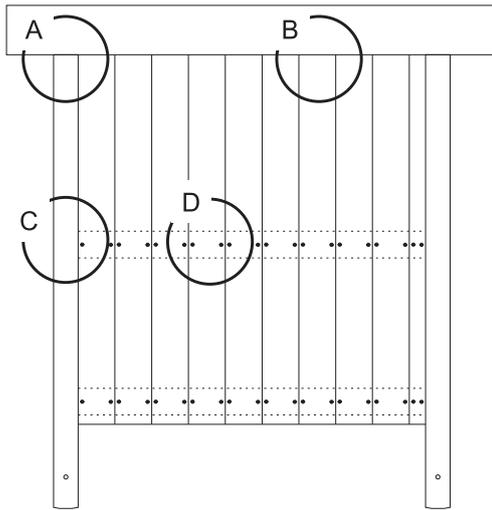


図18 板壁試験体の抵抗要素

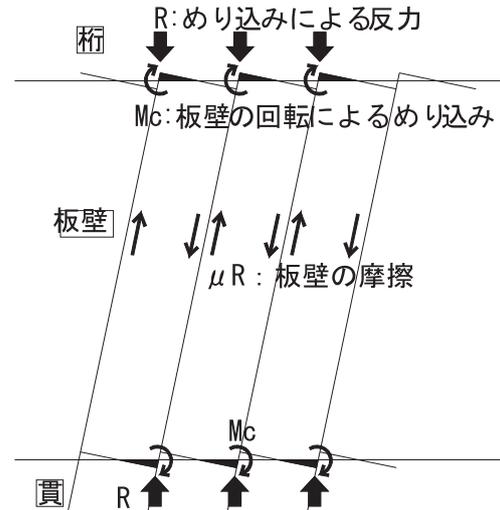
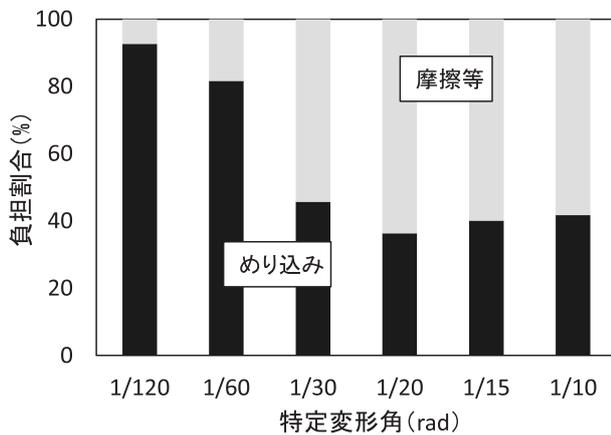


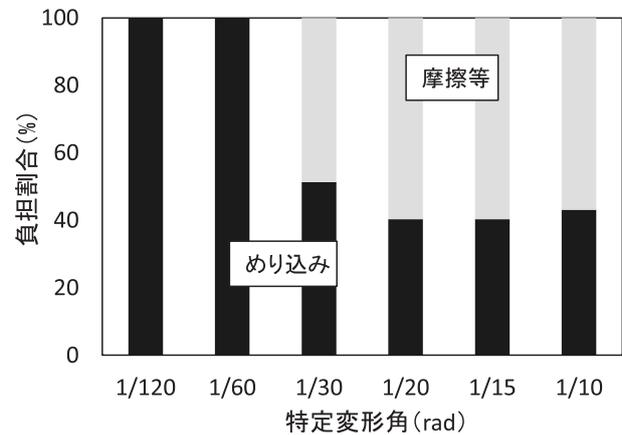
図19 板壁の抵抗メカニズム

そこで、通し貫一板材のめり込み (D) は、要素実験の結果から接合部の箇所数に比例して算定し、桁一板材のめり込み (B) は、板材のめり込み幅がDの板材の幅の2倍であることから面積比例して算定<sup>3) 4)</sup>、桁一柱ほぞのめり込み (A) は既往の文献<sup>5)</sup>に基づいて算定して、板壁試験体のめり込み要素が負担する水平抵抗力を推定した。その結果と板壁試験体から得られた荷重変形角関係と比較して、板壁試験体の水平抵抗について、めり込み抵抗とそれ以外の摩擦抵抗等の負担割合を推定した。

推定した結果を特定変形角ごとに図20に示す。板壁試験体と要素試験体はそれぞれ異なる材料によって作成したため、木材の材料特性が異なることや、試験体の作成精度によって、実験における初期のスリップ性状も異なり、算出された水平抵抗の負担割合は、若干の厳密性を欠くが、同図より、初期から1/60rad程度までは、水平変形に対して、ほとんどめり込みによって抵抗しているが、1/30rad以上の大変形時においては、めり込みと摩擦が同等の抵抗要素であると言える。



(a) NS試験体 (片面張り)



(b) ND試験体 (両面張り)

図20 抵抗要素の負担割合

## 5. まとめ

本論では、かしも明治座で使用されている板壁を対象に水平加力実験を実施し、復元力特性や損傷状況について検証した。また木材めり込みの要素実験を実施して、板壁試験体の実験結果と比較検討することで、抵抗メカニズムについて推察した。以下に本論で得た知見を示す。

- ・板壁試験体の主要な抵抗要素は、板壁の回転変形によるめり込み抵抗と、その力を反力とした板壁の摩擦である。これらは大変形時に構造要素として十分な耐力を有している。
- ・しかし比較的安定した履歴を示すものの、繰り返し荷重に対する抵抗は極めて小さく、スリップ特性が顕著である。また、初期のスリップも大きく、めり込み抵抗も小さいことから、耐震設計における損傷限界レベルに対して、構法の改善が課題である。
- ・さらに初期のスリップは、木材のバラツキや試験体の制作精度に大きく影響するため、実際の耐震補強要素とする場合に適正な材料と加工に配慮する必要があると共に、本報における抵抗要素の負担割合に関する検討は十分とは言えず、シミュレーション解析等による木材めり込みと摩擦を合わせた抵抗メカニズムの解明が課題である。

**謝辞：**本研究は、加子母明治座耐震改修検討委員会のもとで実施されました。試験体の制作にあたり、川端建築計画一級建築事務所の石黒恵之様、株式会社中島工務店の中島敏明様ならびに大工の皆様にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 瀧野敦夫、鈴木祥之：東本願寺御影堂門における板壁構面の耐震性能と吸い付き栈を用いた補強法に関する実験的研究、歴史都市防災論文集、8巻、pp.25-32、2014.7
- 2) 土塗壁等告示に係る技術解説書作成編集委員会：土塗壁、面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書、(財)日本住宅・木材技術センター、2004.12
- 3) 棚橋秀光、大岡優、伊津野和行、鈴木祥之：木材のめり込み降伏メカニズムと均等めり込み弾塑性変位の定式化、日本建築学会構造系論文集、第76巻、第662号、pp.811-819、2011.4
- 4) 棚橋秀光、鈴木祥之：伝統木造仕口の回転めり込み弾塑性特性と十字型通し貫仕口の定式化、日本建築学会構造系論文集、第76巻、第667号、pp.1675-1684、2011.9
- 5) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を活かす木造耐震設計マニュアル、学芸出版社、pp.77-78、2004