水平加力試験に基づくパネル型面格子壁の復元力特性モデルに関する考察

A MODEL OF RESTORING FORCE CHARACTERISTIC FOR PANEL TYPE GRID WALL BASED ON LATERAL LOADING TESTS

高田豊文*, 中西智也**

Toyofumi TAKADA and Tomoya NAKANISHI

Recently, experimental studies on wooden grid wall are carried out to clarify its structural characteristics. And grid walls are tried to use as shear resistant elements for seismic retrofit of wooden houses or Japanese traditional temples. The purpose of this study is to propose a new model of restoring force characteristics for panel type grid wall based on the results of lateral loading tests. This model can be graphically indicated as a tri-linear force-displacement relationship, and can be easily obtained using the lateral load at the drift angle of 1/200 rad.

Keywords: *Wooden grid wall, Panel type, Lateral loading test, Restoring force characteristics, Elastic-Plastic*
木製面格子壁，パネル型，水平加力試験，復元力特性，弾塑性

1. はじめに

面格子はこれまで建具や内装に用いられることが多かったが，近年，これを耐力壁（面格子壁）として活用し，力学性能を把握するための実験的研究や木造住宅や社寺建築への導入が行われている．面格子壁は，格子材を相欠きで接合することが一般的であり，構造用合板や土塗壁に比べて通風・採光に優れているだけでなく，デザイン性・美観面でもこれまでの耐震要素にはない優れた特徴がある．

面格子壁の力学性能を評価する研究は，2002年以降に本格的に始まった．平山・斉藤ら[1,2]は，筋かいあるいは合板と90 mm角材を用いた面格子壁とを併用させた試験体について水平加力試験（面内せん断試験）を実施し，その併用効果について考察している．稲山・村上ら[3,4]は，様々な格子材寸法・格子間隔の直交面格子・斜格子壁について実験を行い，さらに直交面格子壁については，めり込み理論をふまえた剛性・耐力の評価式を提案し，面格子壁の性能を評価している．この研究の成果を踏まえ，昭和56年建設省告示第1100号では格子材寸法が45mm×90mm，90mm角，105mm角の3種類の面格子壁の壁倍率が規定された[5]．中城・吉岡[6]は，格子材45 mm角の面格子を腰壁として用い，水平加力実験と文献[4,5]の剛性・耐力評価式に基づく考察を行っている．また，面格子壁の水平加力実験では，格子材の乾燥収縮を原因とする初期スリップが発生することが多いが，北守ら[7]は格子材90 mm角の面格子壁について1年間に4度の長期的実験を行い，剛性・耐力に対する初期隙間の影響について詳細に調査している．

いずれの水平加力実験でも，せん断変形角が1/15 radを超えても耐力は上昇し続け，面格子壁の粘り強さが確認されている．このような優れたせん断変形能力を踏まえて，面格子壁を実際の建物の耐震改修に用いる事例も報告されている．小野ら[8,9]は，やや太径（85～120 mm角）の格子材を用いた面格子壁について水平加力実験を行い，その結果に基づき，社寺建築の面格子壁による耐震改修事例について報告している．また，岡田，斉藤ら[10]は面格子の耐震シェルターへの応用も試みている．

施工の簡便さを考慮して，面格子壁をパネル化する研究も報告されている．北原・三芳ら[11,12]は，40 mm角あるいは55 mm角の格子材の面格子壁に見付30 mm程度の外枠を取り付け，それを軸組内に内挿した試験体について実験を行っている．小原ら[13,14]は，組み立て型の面格子壁（格子材90 mm角と45 mm×90 mmを使用）に見付30 mmあるいは45 mmの外枠を取り付けてパネル化し，これを軸組内に設置した試験体について実験および理論値との検証を行っている．筆者ら[15,16]も，60 mm角の格子材と同寸の外枠を用いた面格子壁について実験を行っている．これらのパネル化した面格子壁も，外枠なし試験体と同様の粘り強さが実験により確認されている．

一方，面格子壁を耐震設計・耐震改修に広く用いるためには，荷

* 滋賀県立大学環境科学部環境建築デザイン学科 准教授・博士（工学）
Associate Prof., Dept. of Environmental Architecture Design, School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, Dr. Eng.

** （有）ケイツー建築設計所　修士（環境科学）
K^2 corporation, Ms. Env.

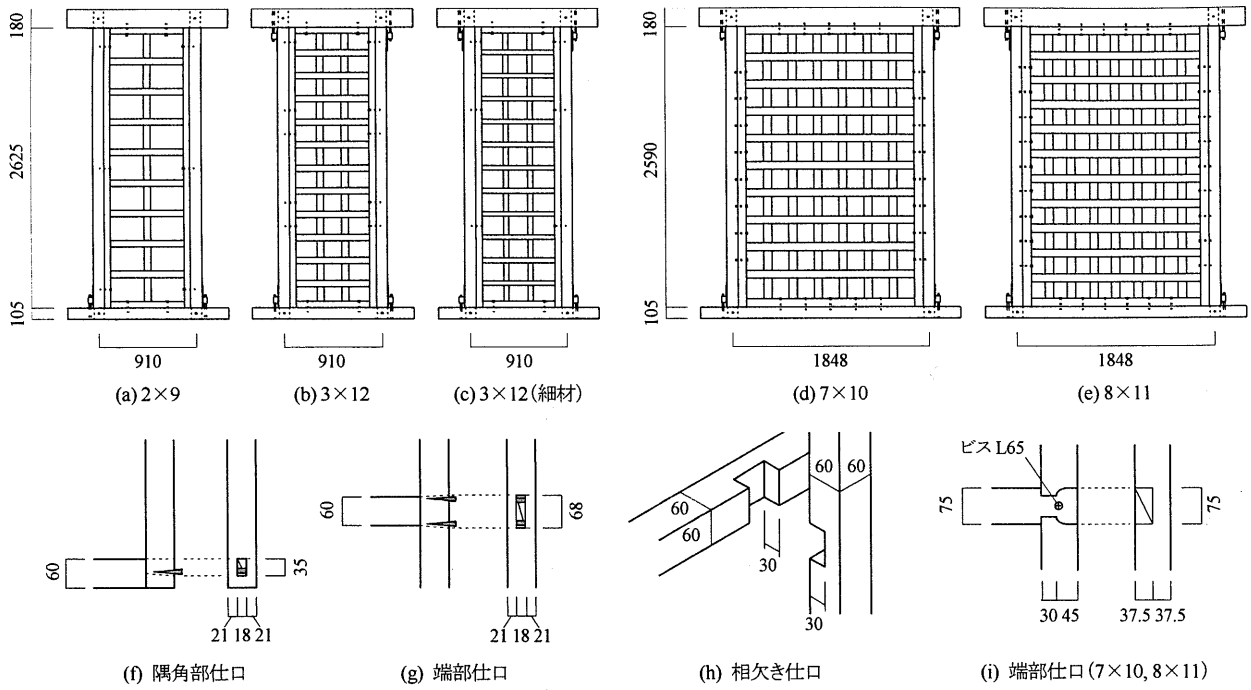


図1　試験体概要と接合部詳細（寸法の単位は mm）

重ーせん断変形角関係（復元力特性）のモデル化が必要である．文献[4,5]では，面格子壁の復元力特性が理論的に導出され，初期スリップ変形以降は完全弾塑性となる復元力モデルが示されている．また文献[5,18,19]では，水平加力試験による荷重ー変形関係の包絡線から完全弾塑性復元力モデルを求める方法が示されている．しかし，前述したように，面格子壁ではせん断変形角が 1/15 rad に至るまで耐力は上昇し続けるため，その復元力特性を完全弾塑性型にモデル化するのは合理的ではない．そこで本稿では，いくつかの仕様の外枠付きパネル型面格子壁について水平加力実験を行い，その結果を踏まえて，面格子壁の新たな復元力特性モデルを提案する[17]．

2. 実験概要

2. 1　試験体概要

本研究では，建物内部に面格子壁を設置することを想定し，幅 910 mm×高さ 2730 mm の面格子壁試験体について水平加力実験を行う．図 1 に試験体概要を示す．試験体名は格子材による横方向分割数×縦方向分割数で表している．いずれの試験体も，柱と土台・桁の軸組内に枠付きの面格子壁を内挿する形式で製作し，材料は軸組・格子とも全てスギを用いた．柱と土台は 105 mm 角，桁は 105 mm×180 mm の材を用いた．柱と土台・桁は長ホゾ差し込み栓（カシ 15 mm 角）で接合し，軸組仕口の破壊を防ぐために，羽子板ボルト（(株) 栗山百造製ビス止め万能羽子板）およびホールダウン金物（(株) タナカ製ビス止めホールダウン）を用いて補強した．面格子は格子材直交部分を相欠きで組み（図 1 (h)），格子材端部の接合はホゾ差しで，割りクサビを用いた（図 1 (f), (g)）．7×10，8×11 試験体は，実際の社寺建築の耐震改修用として製作されたものであり，他の試験体とは寸法や格子材端部仕口の仕様が異なる（図 1 (i)）．面格子と軸組はラグスクリューで留めた．表 1 に，試験体名，格子材寸法，ラグスクリューの仕様，柱頭柱脚金物の仕様などを示す．表中の 3×12（6 か月）試験体は製作後約 6 か月間室内で保管した後に実験したものであり，それ以外の試験体では，製作後 1 週間以内に実験を行った．3×12 試験体の柱脚のホールダウン金物の仕様は，事前の実験で同じ仕様の 3×12 試験体の 1/15 rad 時荷重がおおよそ 9 kN であったため，そのときの柱脚引抜力（9×3 = 27 kN）に対して十分

表1　試験体概要

試験体名	格子寸法（見付×見込）	ラグスクリュー:本数	柱脚金物（許容引張耐力）	柱脚金物（許容引張耐力）	制作から実験までの期間	試験体数
軸組	―	―	ビス止め HDU 20kN（短期 20.9kN）	なし	1 週間以内	1 体
2×9	枠・格子とも 60×60 mm	LS9-90:10 本				3 体
3×12		LS12-125:14 本	ビス止め HDU 25kN（短期 28.7kN）	ビス止め万能羽子板 M12（短期 10.6kN）		各 2 体
3×12(6 か月)					約 6 か月	
3×12(細材)	枠 60×60 mm 他 45×60 mm	LS12-125:10 本			1 週間以内	
7×10	枠・格子とも 75×75 mm	LS12-140:26 本	ビス止め HDU 35kN（短期 35.4kN）			各 1 体
8×11		LS12-140:30 本				

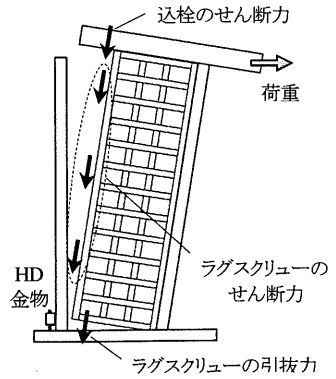


図2　水平荷重による面格子壁の回転

な終局耐力（短期許容耐力の 1.5 倍と想定）を有するものを選定した．それ以外の試験体では，適宜，サイズアップ・サイズダウンしてホールダウン金物の仕様を決めた．なお，2×9 試験体では実験時に柱頭接合部が破壊したため，その後に実験を行ったその他の試験体では，羽子板ボルトにより柱頭も補強している．

図２に示すように，水平荷重による面格子壁の回転（面格子脚部の浮き上がり）は，柱頭込栓のせん断力およびラグスクリューのせん断力・引抜力によって抵抗する考え，ラグスクリューの仕様・本数を決定した．ラグスクリューは概ね等間隔になるように配置しているが，3×12 試験体では，高さを 3 等分したパネル型の面格子壁の開発を視野に入れているため，3×12（細材）試験体では，3×12 試験体で配置されたラグスクリューから間引く形で配置を決定しているため，それぞれラグスクリュー配置が等間隔となっていない．

全ての格子材の含水率を，高周波木材水分計（(株) ケツト科学研究所，HM-520）によって実験開始直前に計測した．7×10，8×11 試験体では乾燥が不十分な材料を用いたため，平均含水率がそれぞれ 60.6%（変動係数 0.31），48.3%（同 0.41）と高かったが，それ以外の試験体では，平均含水率 11.3%（同 0.16）～16.4%（同 0.15）と低い値であった．全ての試験体で，実験開始前に顕著な格子材の割れ・そり，相欠き仕口の隙間は確認されなかった．2×9，3×12，3×12（細材）試験体については，実験後に格子材のひずみの少ない部分から，長さ 60 mm 程度の試験片を 6 個ずつ無作為に切り出して，体積・重量を計測し，密度を求めた．密度の平均値と変動係数を表２に示す．

表２　試験体格子材の密度

試験体名	平均 ($\times 10^3$ kg/m^3)	変動係数
2×9	0.40	0.096
3×12	0.39	0.044
3×12(細材)	0.39	0.021

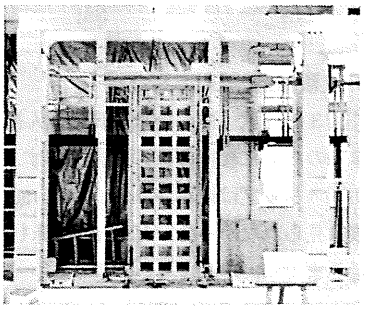


写真１　実験の様子

2．2 実験概要

面内せん断試験の方法や変位計の設置位置は文献[5,18,19]に従い，鉛直荷重は無載荷，水平荷重はスクリュージャッキによる正負交番漸増繰り返し加力とした．繰り返しは，見かけのせん断変形角が 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/15 rad の正負変形時に行い，同一変形段階では 3 回の繰り返しを行った．試験装置・試験体の様子を写真１に示す．

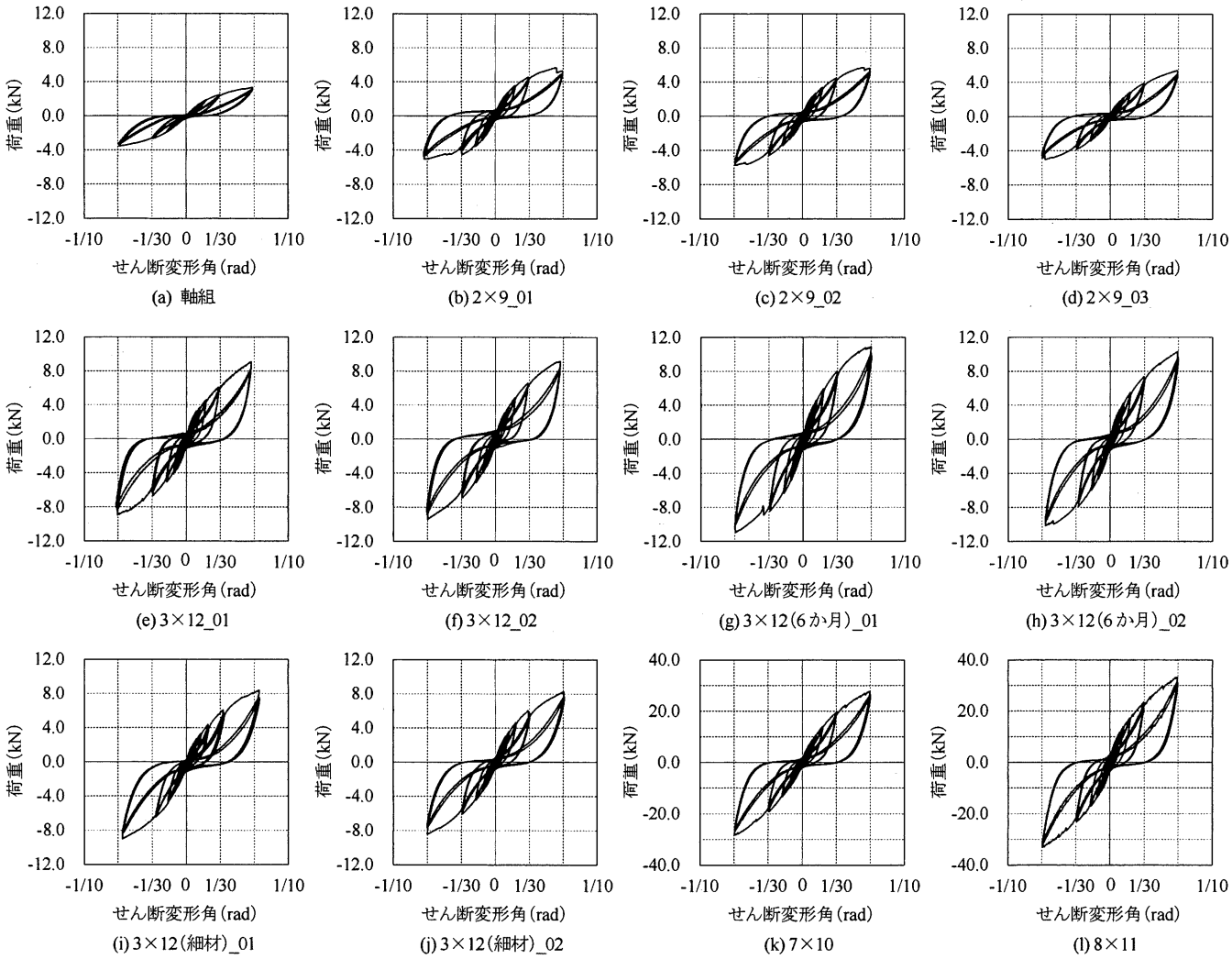
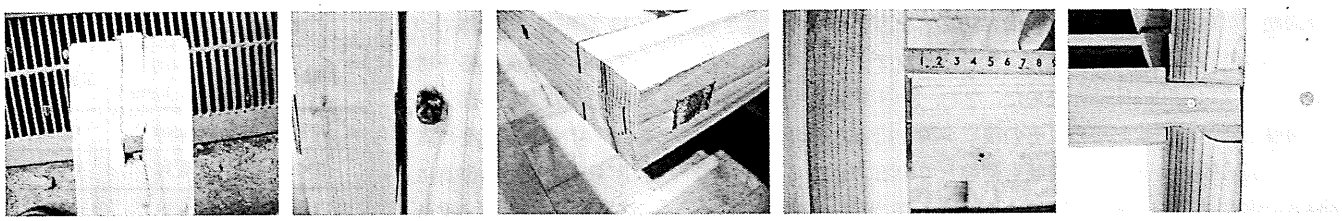


図３　各試験体の荷重-真のせん断変形角関係



(a) 長ホゾの端抜け　(b) 柱ー格子間の隙間　(c) 格子隅角部仕口の割れ　(d) 格子材端部の抜け出し　(e) 格子材端部のせん断破壊

写真２　軸組・格子端部の破壊・変形の様子

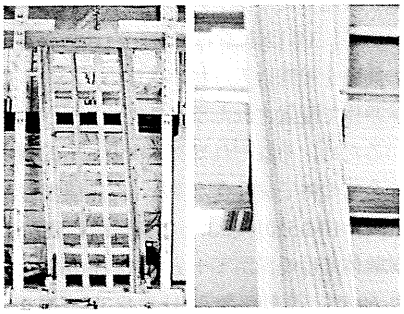
3. 実験結果とその考察

図３に各試験体の荷重ー真のせん断変形角関係を示す. 図中には, 参考のために軸組のみの結果も示す. いずれの面格子壁試験体も, 初期スリップは確認されず, 1/30 rad まで格子材や軸組に顕著な破壊は見られなかった. 1/30 rad 以降も耐力は上昇し続け, 1/15 rad に至るまでに,

- 2×9 試験体の一部で, 柱頭部ホゾの曲げ破壊や引張力による柱頭部ホゾの端抜け（写真２(a)),
- 2×9 試験体の全てで, 格子と柱との間の隙間（写真２(b)),
- 3×12 試験体の全てで, 格子隅角部仕口の割れ（写真２(c)),
- 3×12 シリーズの全てで格子材端部の抜け出し（写真２(d)),
- 7×10, 8×11 試験体で格子材端部のせん断破壊（写真２(e)）

が見られたが, 見かけのせん断変形角が 1/15 rad 時でも全ての試験体で格子材の曲げによる折損は生じなかった. 同種試験体間の荷重ー変形曲線のばらつきは小さく, 全ての試験体で安定したスリップ型の履歴性状を示している. 写真３に 3×12_01 試験体の 1/15 rad 時の様子を示す. 水平力に対して, 格子相欠き部のめり込みで抵抗している様子がうかがえる.

なお, 3×12 試験体に比べて 3×12（6 か月）試験体の方が高い荷重値となっている. これは, 3×12（6 か月）試験体の格子材にはほとんど節がなかったことや, 3×12 試験体では 2 体ともに縦格子材に含水率 20%を超えるものが含まれていた（3×12（6 か月）試験体では含水率 20%以上の縦格子材はない）ことなどが原因であると考えられる. 特に後者は, 通常の室内での保管したために, 平衡状態に近い含水率になったとも考えられる. 経年による構造性能の変化は, 現在研究を継続中であり, その結果は別の機会に発表したい.



(a) 全体　(b) 格子相欠き部

写真３　1/15 rad 時の 3×12_01 試験体の様子

荷重ーせん断変形角関係の正側の包絡線を図４に示す（細破線）. 2×9, 3×12, 3×12（6 か月）, 3×12（細材）では複数の試験体について実験を行っているので, それぞれ平均化したものを示している. 図３の履歴曲線に示すように, 一部の試験体では真のせん断変形角が 1/15 rad に達していないが, 1/15 rad までの差は非常にわずかであり, その間に耐力が大きく低下することは考えられないので, 図４では包絡線を 1/15 rad まで延長させている. この図には, 文献[5,18,19] の壁倍率算定方法に従って算出した完全弾塑性復元力モデルも示している（太実線）. 図より, 格子材の太さや格子間隔に関わらず, 全ての試験体で完全弾塑性モデルの弾性勾配部分が実験結果の包絡線とほぼ 1/60 rad で交わっていること, 完全弾塑性モデルの終局耐力は包絡線の 1/20 rad 時荷重値とほぼ等しいことがわかる. 特に前者は, 完全弾

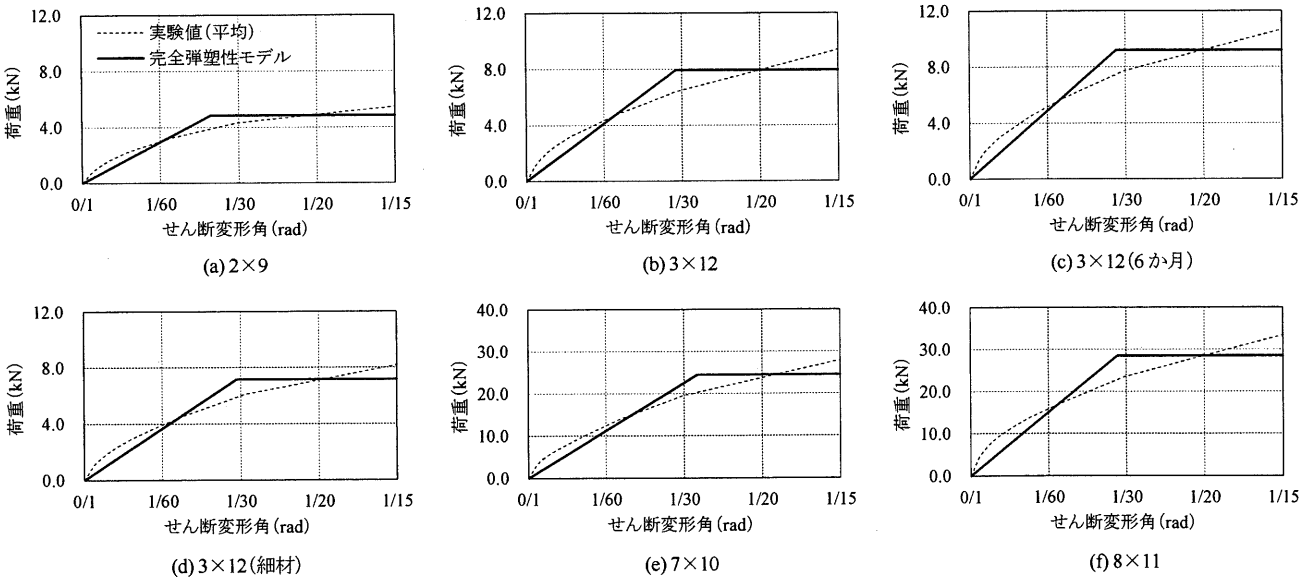


図４　実験結果の包絡線と完全弾塑性の復元力特性モデル

表3 主要変形角における各試験体の荷重値の比較

試験体名	P_{60} (kN)	P'_{60} (kN)	P'_{60}/P_{60}	P_{200} (kN)	P_{200}/P_{60}	P_{15} (kN)(注)	P_{15}/P_{60}
2×9	2.99	2.96	0.99	1.48	0.50	5.47	1.83
3×12	4.36	4.14	0.95	2.22	0.51	9.39	2.15
3×12(6か月)	5.17	4.90	0.95	2.58	0.50	10.67	2.06
3×12(細材)	3.93	3.68	0.93	1.91	0.49	8.17	2.08
7×10	12.49	11.27	0.90	5.98	0.48	27.87	2.23
8×11	15.88	15.14	0.95	8.42	0.53	33.42	2.10
平均	—		0.95	—	0.50	—	2.08

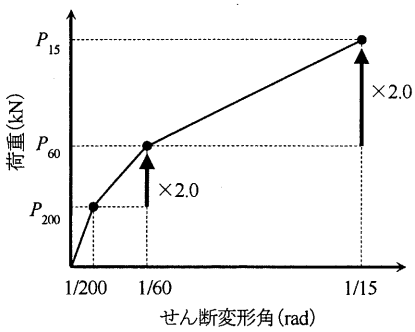


図5 弾塑性復元力モデル

塑性モデルにおける（初期）剛性が包絡線の1/60 rad時割線剛性とほぼ等しくなることを示唆している．なお，図4の包絡線の主なせん断変形角における荷重値および短期許容せん断耐力を付録に示す．

4. 面格子壁の復元力特性モデルの提案

図4の包絡線の主要変形角における荷重値を表3に示す．表中で，P'_{60}は完全弾塑性復元力モデルの1/60 rad時の荷重値，P_{200}, P_{60}, P_{15}はそれぞれ包絡線（実験値の平均）の1/200, 1/60, 1/15 rad時の荷重値を表す．この表より，格子材寸法や格子間隔に関わらず，

1. 完全弾塑性モデルの1/60 rad時荷重値と包絡線（実験値）のそれとはほぼ等しいこと，
2. 包絡線のP_{200}はP_{60}のほぼ半分であること，
3. 包絡線のP_{15}はP_{60}のほぼ2倍であること，

が分かる．これらの結果を利用すると，

$$P_{60} = 2.0 \times P_{200} \tag{1}$$

$$P_{15} = 2.0 \times P_{60} = 4.0 \times P_{200} \tag{2}$$

と推定して，図5に示すトリリニア型の弾塑性復元力モデルを作成することができる．すなわち，1/200 rad荷重値P_{200}が分かれば，復元力特性全体を推定できる．

P_{200}は実験の計測値あるいは理論値を用いる．P_{200}を理論的に求める場合は，水平加力実験で得られた荷重値が軸組と面格子パネルとの耐力和であることを考慮して，次式で算出する．

$$P_{200} = P_{200}^{\text{frame}} + P_{200}^{\text{grid}} \tag{3}$$

ここに，P_{200}^{frame}, P_{200}^{grid}はそれぞれ軸組および面格子の1/200 rad時の耐力を表す．P_{200}^{frame}の値は，軸組試験体の荷重ーせん断変形角関係（図3(a)）の正側包絡線では0.64 kN，文献[20]に記載されている復元力特性では0.60 kNとなり，本稿では$P_{200}^{\text{frame}} = 0.60$ kNと設定する．一方，P_{200}^{grid}は文献[4,5]の剛性評価式を参考にして，次式で算出する．

$$P_{200}^{\text{grid}} = K^{\text{grid}} \times 1/200 \tag{4}$$

$$\frac{1}{K^{\text{grid}}} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_j} \tag{5}$$

ここに，K_fは面格子の相欠き・ホゾ接合部を剛接と考えたときの剛性（フレーム分剛性），K_jは格子材接合部の剛性の和を表す．

文献[4,5]では，等断面の格子材で構成された外枠のない面格子壁を対象として，K_fを算出する際には，面格子壁を図6に示す十字形フレーム・ユニットの連続としてモデル化している．このとき，K_fは次式で表される．

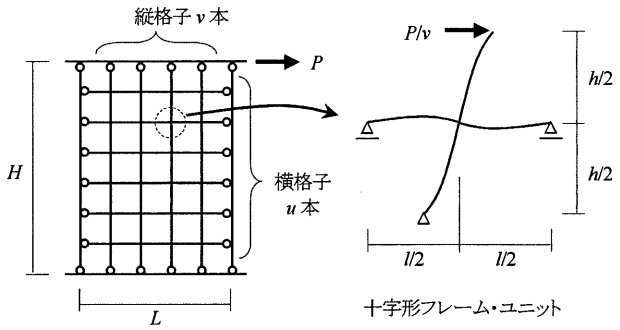


図6 文献[4,5]におけるフレーム分剛性算定の面格子壁モデル

$$K_f = \frac{12EI}{H} \frac{(v+1)(u+1)^3}{L(u+1)+H(v+1)} \frac{v}{u} \tag{6}$$

ここに，E, Iはそれぞれ格子材のヤング係数，断面2次モーメントを表す．さらに文献[4,5]では，十字形フレームにおいて，$l = L/(v+1) \fallingdotseq L/v$，$h = H/(u+1) \fallingdotseq H/u$と仮定して（すなわち$v+1 \fallingdotseq v$，$u+1 \fallingdotseq u$と仮定して），次の$K_f$の近似式を導出している．

$$K_f \approx \frac{12EI}{H} \frac{v^2u^2}{uL+vH} \tag{7}$$

一方，本研究で対象としている面格子壁では，

- 文献[4,5]の面格子壁とは仕様が異なり，枠付きである，
- 枠材とそれ以外の格子材の断面寸法が異なる場合がある，
- 格子材端部がピン接合でないため，枠材もK_fに寄与する，
- 縦格子数vが少なく，$v+1 \fallingdotseq v$と近似できない，

といった理由のため，K_fの算出に(7)式を用いることはできない．そこで本研究では，図6左の面格子壁モデルの格子材端部を剛接として弾性骨組解析を行い，その頂部変位からK_fを算出する．格子材のヤング係数は$E = 7000$ N/mm^{2}とした．また，K_fは格子材の曲げ変形のみを考慮したフレーム分剛性であるため，弾性解析では便宜上，格子材の断面積を1000倍にしている．

一方K_jは，文献[19]の算出方法に従って1か所ごとの相欠き仕口部とホゾ差し部の回転剛性（格子材ヤング係数$E = 7000$ N/mm^2）を求め，それらの総和とした．なお，本実験では初期スリップは確認されなかったので，ここでは初期スリップを0としている．

図7に，実験結果の包絡線（細破線）と，(1),(2)式に従って算出した弾塑性復元力特性との比較を示す．図中の弾塑性モデルA（実線）はP_{200}に実験結果の値を用いたモデルを，弾塑性モデルB（1点鎖線）はP_{200}に(3)式から得られる値を用いたモデルを示す．この

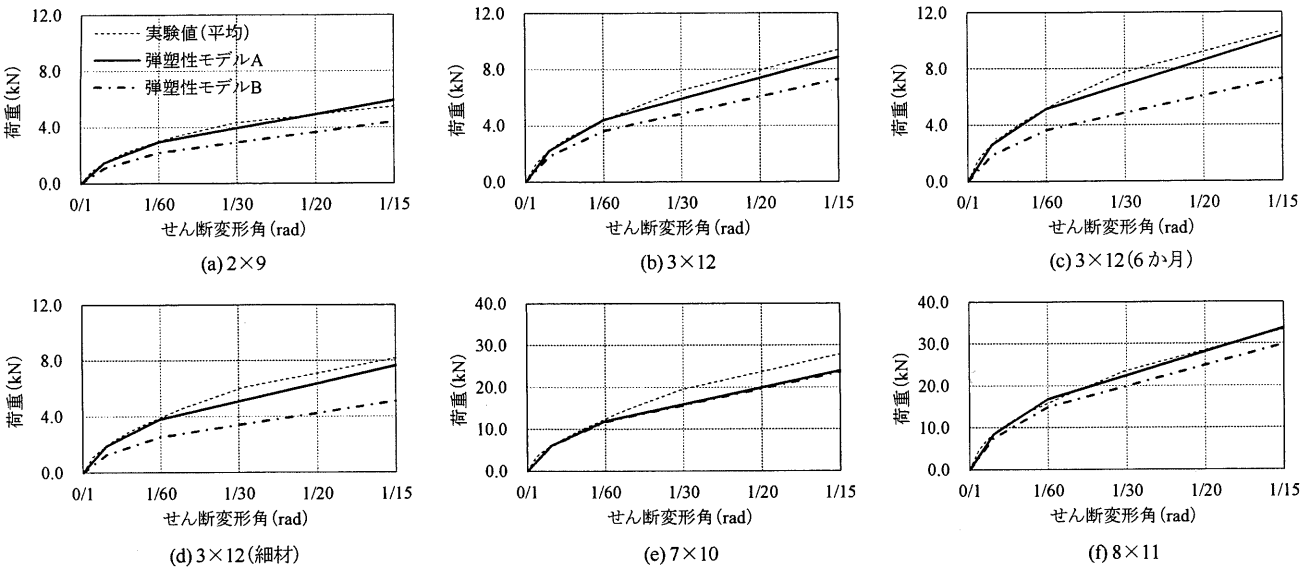


図7　実験結果の包絡線と提案する弾塑性復元力特性モデルとの比較

図より，弾塑性復元力モデルAはいずれの試験体でも実験結果と良く一致していること，弾塑性復元力モデルBは全ての試験体で安全側の評価となっているものの，3×12（6か月）試験体と3×12（細材）試験体で実験値を大きく下回っていることなどが分かる．その傾向は，格子寸法が75 mm角の面格子壁に比べて，60 mm角や45 mm×60 mmなどの小断面の格子材を用いたときに顕著である．小断面の格子材の相欠き部では，せん断変形角が小さいとめり込み量も非常に少ないため，計算で用いるヤング係数が小さすぎること，小さなせん断変形角での荷重値 P_{200} を求めるには仕口摩擦の影響も無視できないことなどが原因であると考えられる．

なお，本稿で提案しているトリリニア型の弾塑性復元力特性モデルは，せん断変形角が1/15 radまでのモデルであり，1/15 radを超える変形角では復元力を定義していない．これは，通常の耐震設計・耐震改修では許容せん断変形角を1/15 rad以上に設定することはないことを考慮したためである．

5. まとめ

本稿では，格子間隔が210～370 mm程度，格子寸法が60 mm角～75 mm角程度のいくつかの仕様の外枠付きパネル型面格子壁について水平加力実験を行い，構造性能の特徴について考察した．十分な柱梁接合金物やラグスクリューを用いて，水平荷重に対して軸組接合部が破壊しなければ，せん断変形角が1/15 radに至るまで耐力は上昇し続けることが確認できた．さらに，実験結果に基づいて，パネル面格子壁の新たな復元力特性モデルを提案した．本稿の内容は以下のようにまとめられる．

1. 本研究で対象とした全ての外枠付きパネル型面格子壁において，荷重ーせん断変形角関係で初期すべりは見られず，小さい変形段階から格子仕口部のめり込み特性が支配的な非線形の履歴曲線となることが確認された．

2. 荷重ーせん断変形角関係の包絡線と完全弾塑性復元力モデルを比較することにより，格子間隔が210～370 mm程度，格子寸法が60 mm角～75 mm角程度の外枠付きパネル型面格子壁に共通する力学的特徴を示した．これは，本研究で取り扱った試験体が全てスギを用いていたためであり，めり込み特性の異なる樹種を組み合わせた場合などでは，異なる結果になると予測される．

3. 面格子壁の復元力特性の特徴を踏まえて，せん断変形角が1/200 rad時の荷重値 P_{200} を利用したトリリニア型の弾塑性復元力特性モデルを提案した．P_{200} に実験値を用いた場合，このモデルが実験結果と非常に良い対応を示すことを確認した．しかし，P_{200} に計算値を用いた場合は安全側であるものの，実験値との誤差がやや大きい試験体もある．設計に利用するためには，今後，P_{200} の推定精度を向上させる必要がある．

謝辞

本研究は，平成22年度科学研究費補助金「小径間伐材を用いた耐震補強用面格子壁の力学性能とその経年変化の解明」(基盤研究(C)，代表者：高田豊文）により行った．また，実験に当たり，滋賀職業能力開発短期大学校の大澤一人講師および白川工務店，西澤工務店の協力を得た．ここに記して謝意を表す．

参考文献

1) 佐藤理，古林剛，平山善吉，斉藤俊一：既存木質住宅の耐震補強に関する実験的研究ー格子状耐力壁との併用効果ーその 1，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.197-198，2002
2) 古林剛，平山善吉，斉藤俊一，佐藤理：既存木質住宅の耐震補強に関する実験的研究ー格子状耐力壁との併用効果ーその 2，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.199-200，2002
3) 岩田聖司，稲山正弘，竹村雅行，村上雅英：在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発ーその 60．面格子壁の面内せん断試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.377-378，2002
4) 岩崎敏之，竹村雅行，稲山正弘，村上雅英：在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発ーその 61．直交面格子壁の剛性・耐力算定式，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.379-380，2002

5) 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，日本住宅・木造技術センター，2004
6) 中城卓也，吉岡智和：面格子腰壁を用いた耐震補強要素の面内せん断試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.413-414，2008
7) 北守顕久，南宗和，鄭基浩，小松幸平：相欠き格子耐力壁の剛性算定に係わる隙間の影響評価－長期的試験による検証，構造工学論文集，Vol.55B，pp.109-116，2009
8) 加藤工匠，和田隆吾，柴田篤宏，小野徹郎：面格子耐力壁による伝統木造社寺建築の耐震補強と振動性状－その 1．面格子耐力壁の水平加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.257-258，2008
9) 和田隆吾，加藤工匠，柴田篤宏，小野徹郎：面格子耐力壁による伝統木造社寺建築の耐震補強と振動性状－その 2．耐震診断と面格子耐力壁による耐震補強設計，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.259-260，2008
10) 北茂紀，岡田章，宮里直也，斎藤公男：木造面格子で構成された簡易耐震シェルターの水平剛性・耐力に関する基礎的研究－品川シェルターの開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.271-272，2009
11) 北原昭男，野俣亜沙美，三芳紀美子：静的加力実験に基づく格子パネルを用いた木造軸組の耐震性能評価（その 1），日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.195-196，2007
12) 野俣亜沙美，北原昭男，三芳紀美子：静的加力実験に基づく格子パネルを用いた木造軸組の耐震性能評価（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.197-198，2007
13) 小原勝彦，福本満夫，高橋明日香：間伐材利用耐力壁の耐力性能とエネルギー吸収性能に関する研究－その 6．パネル形面格子耐力壁の静的加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.339-340，2009
14) 木下昌也，福本満夫，高橋明日香，小原勝彦：間伐材利用耐力壁の耐力性能とエネルギー吸収性能に関する研究－その 7．パネル型面格子耐力壁の実験結果と理論値の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.341-342，2009
15) 高田豊文，中西智也：小断面材を用いた面格子壁の耐力性能に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.361-362，2010
16) 中西智也，高田豊文：軸組に内挿された面格子壁の構造性能に関する考察－その 1．様々な面格子壁の水平加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.67-68，2011
17) 高田豊文，中西智也：軸組に内挿された面格子壁の構造性能に関する考察－その 2．面格子壁の復元力特性モデルの提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，C1，pp.69-70，2011
18) 木造の耐力壁及びその倍率性能評価業務方法書，日本住宅・木材技術センター
19) 国土交通省住宅局建築指導課，木造住宅振興室監修：木造軸組工法住宅の許容応力度設計，第 3 版，日本住宅・木材技術センター，2004
20) 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，学芸出版社，2004
21) 国土交通省住宅局建築指導課監修：木造住宅の耐震診断と補強方法－木造住宅の精密診断と補強方法（改訂版），日本建築防災協会，pp.278-286，2005

付録 面格子壁の荷重－せん断変形角関係のデータベース

本稿で対象とした面格子壁について，水平加力実験から得られた包絡線（平均値）の主なせん断変形角での荷重値および短期許容せん断耐力を付表に示す．なお，本研究で対象としたパネル型面格子壁は耐震改修時に使用することを想定しているため，短期許容せん断耐力の算出は文献[21]に従い，「終局耐力と靭性により決定される数値」を採用した．また，初期剛性には 1/200 rad 時の割線剛性を用い，耐久性・施工性などによる低減係数は 1.0 とした．

付表 主要変形角における各試験体の荷重値（平均値）と短期許容耐力

変形角 (rad)	2×9	3×12	3×12 (6 か月)	3×12 (細材)	7×10	8×11
	壁長 0.91 m				壁長 1.848 m	
	荷重 (kN)	荷重 (kN)	荷重 (kN)	荷重 (kN)	荷重 (kN)	荷重 (kN)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/450	0.83	1.26	1.50	1.13	3.72	5.11
1/300	1.12	1.68	2.00	1.47	4.75	6.62
1/200	1.48	2.22	2.58	1.91	5.98	8.42
1/150	1.77	2.64	3.05	2.30	7.05	9.84
1/100	2.26	3.32	3.84	2.92	9.03	12.22
1/75	2.64	3.84	4.55	3.45	10.80	14.21
1/50	3.33	4.86	5.78	4.42	14.16	17.53
1/30	4.34	6.51	7.75	5.99	19.60	23.63
1/15	5.47	9.39	10.67	8.33	27.87	33.42
許容耐力 (kN)	1.91	2.83	3.32	2.53	8.03	10.28