



## 第8章 面材張り壁のモデル化と解析

木質壁式構造は、木材と各種の面材からなる耐力壁で水平力に抵抗する。代表的な耐力壁には、合板などの面材を木材の枠材に釘打ちしたもの、面材を枠材に接着したものなどがある。面材釘打ち耐力壁は、釘打ち部分ですべりを生じる半剛接耐力壁となり、一般的な使用方法によると、すべりによる釘接合部の変形が耐力壁全体における変形の大部分となっている。

本章では、第3章で説明した許容せん断耐力と剛性の理論計算を参考に、文献で公表されている基本的な耐力壁をせん断型バネによってモデル化し、静的弾塑性解析を行う。また、実験と解析結果とを比較・検討することで、モデル化の妥当性を評価する。

### 8.1 はじめに

最初に、最も単純な試験体を用いてモデル化の検証を行う。齊藤、宮澤らの実験的研究<sup>45)</sup>を元に、無開口面材張り耐力壁をせん断バネに置換する方法で図8-1の試験体をモデル化し、解析結果と実験結果とを比較する。

図8-1に試験体概要、図8-2に解析モデル、表8-1に部材の諸元、表8-2に断面・強度特性の諸元を示す。試験体形状は、高さ91cmでスパンが91cmのAタイプと、高さ182cmでスパンが91cmのCタイプの2種である。面材中央にせん断バネを組み込みに、柱、梁、土台は部材を4分割し、その部材モデルとして両端中央ファイバーモデルを使用する。柱頭、柱脚接合部は、ほぞ接合のため曲げバネをこの部材モデルに組み込んでいる。ただし解析モデルでは、実験モデルの間柱を無視している。

実験の載荷方法は、正負繰り返し載荷で、層間変形角  $1/480 \sim 1/20$  を8サイクルで行っている。

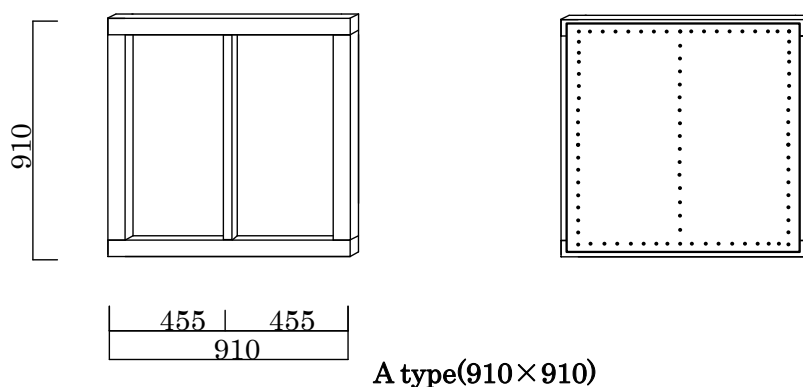


図 8-1a 試験体概要

### 8.2 面材張り壁の解析

#### 8.2.1 無開口面材張り壁の解析

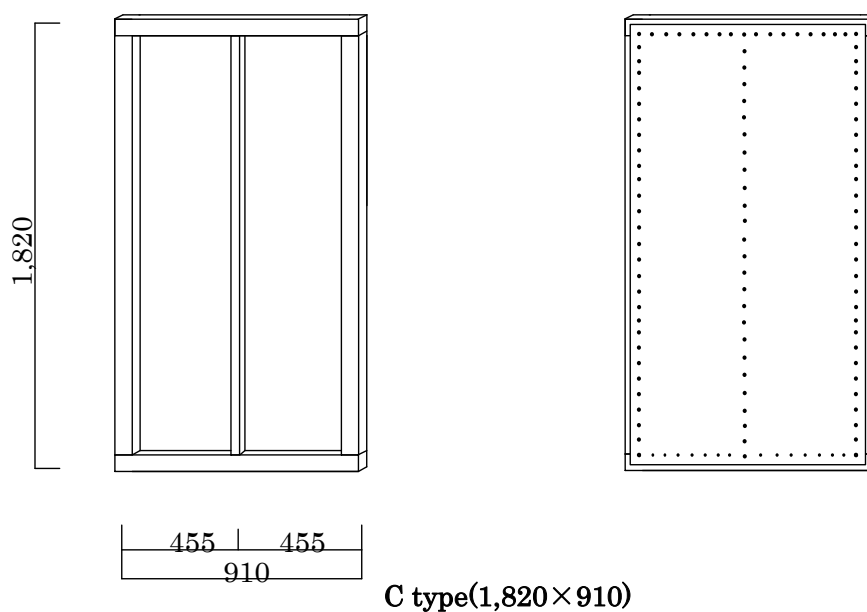


図 8-1b 試験体概要

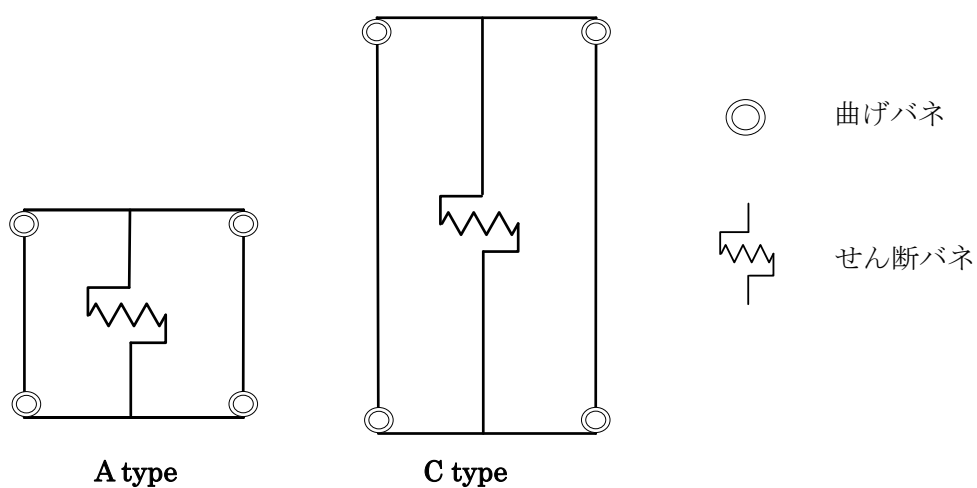


図 8-2 解析モデル

表 8-1 部材の諸元

		A type			C type		
枠材		柱	梁・土台	間柱	柱	梁・土台	間柱
	材種	べいづか			べいづか		
	B×H (mm)	105×105	105×105	45×105	105×105	105×105	45×105
	釘ピッチ (mm)	130	130	215	140	130	221
構造用合板	材種	ラワン材					
	t (mm)	9					
釘	種類	N50					

表 8-2 断面・強度特性

	断面積 (cm <sup>2</sup> )	断面 2 次モーメント (cm <sup>4</sup> )	ヤング係数 (kN/cm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (kN/cm <sup>2</sup> )
柱	110.25	1012.9	980	65.3
梁・土台	110.25	1012.9	980	65.3
間柱	47.25	79.7	980	65.3

このモデルで用いるせん断バネの復元力履歴特性を図 8-3 に示す。せん断バネの復元力特性はトリリニアの骨格曲線を持つ S 字スリップトリリニアモデルとし、この履歴に必要な第一剛性、第二剛性、第三剛性、スリップ剛性、除荷剛性、第一折れ点、第二折れ点を設定する。第 3 章で説明した理論計算を用いて求めたせん断バネの諸元を表 8-3 に示す。せん断バネ復元力特性の内、第一勾配と第一折れ点は、第 3 章で示されている式で計算された初期剛性とせん断耐力とする。また、第三勾配とスリップ剛性は、第一勾配の 1/100 とし、除荷剛性は第一剛性と同等とする。また第二折れ点は、第一折れ点の 1.5 倍とする。第二勾配は、第一勾配の 10/100 の値を model1、第一勾配の 15/100 の値を model2 として、第二勾配の影響を調べる。

### 8.2.2 せん断バネの履歴特性

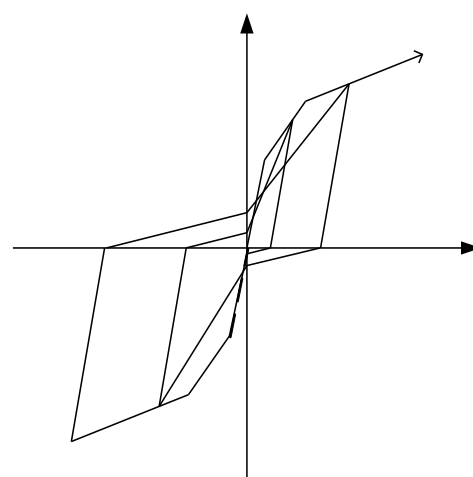


図 8-3 せん断バネの復元力特性

表 8-3 せん断バネの諸元

A type		
面材種類	Model 1 (10%)	Model 2 (15%)
初期剛性(kN/cm)	8.925	
第二剛性(kN/cm)	0.8925	1.3388
第三剛性(kN/cm)	0.08925	
第一折れ点 (kN)	4.795	
第二折れ点 (kN)	7.185	
C type		
面材種類	Model 1 (10%)	Model 2 (15%)
初期剛性(kN/cm)	4.784	
第二剛性(kN/cm)	0.4784	0.7176
第三剛性(kN/cm)	0.04784	
第一折れ点 (kN)	4.076	
第二折れ点 (kN)	6.114	

ここでは、ほぞ接合を曲げバネに置換するため、柱脚部の回転剛性を求めることにする。まず、フレームのみの実験結果より柱脚部の回転剛性を求め、その後、解析モデルに曲げバネの復元力特性を組み込む。曲げバネの復元力特性はS字スリップバイリニアを用いる。この復元力特性を図8-4に、また曲げバネの諸元を表8-4に示す。

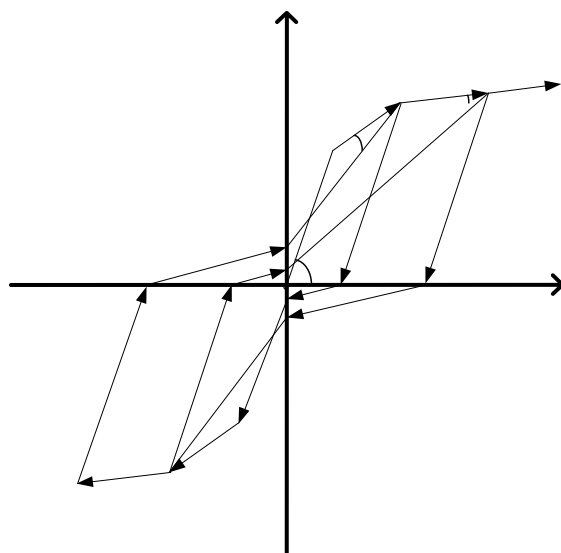


図8-4 曲げバネの復元力特性

表8-4 曲げバネの諸元

	910×910	910×1,820
初期剛性(kN・cm/rad)	2450	2510
第二剛性(kN・cm/rad)	370	265
第三剛性(kN・cm/rad)	42	51
第一折れ点(kN・cm)	68.6	50.2
第二折れ点(kN・cm)	81.9	71.3
除荷剛性(kN・cm/rad)	42	2510
スリップ剛性(kN・cm/rad)	2450	51

ファイバーモデルに組み込む復元力特性を図8-5のように仮定し、解析を行う。この復元力特性は木質材料の特徴である引張側は最大耐力までは弾性的な挙動を示すが、それ以降はほとんど耐力が期待できない極めて脆性的な破壊を示す。また、圧縮側は最大荷重を超えた後も比較的靱性を有する復元力特性となっている。

ファイバーモデルの諸元を表8-5に示す。

### 8.2.3 ほぞ接合置換曲げバネの履歴特性

### 8.2.4 ファイバーモデルの履歴特性

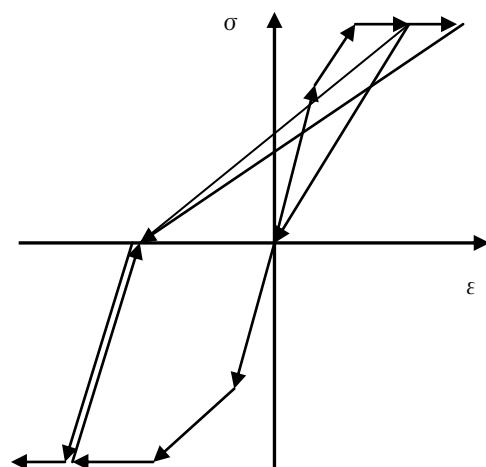


図 8-5 ファイバーモデルの復元力特性

表 8-5 ファイバーモデルの諸元

		引張側	圧縮側
初期勾配	$\text{kN/cm}^2$	980	980
第二勾配	$\text{kN/cm}^2$	686	343
第三勾配	$\text{kN/cm}^2$	0.098	9.8
第一折れ点	$\text{kN/cm}^2$	0.98	1.274
第二折れ点	$\text{kN/cm}^2$	1.47	1.91

静的弾塑性解析より得られた試験体 A type の荷重と層間変形角の関係を図 8-6 に示す。

### 8.2.5 無開口面材 張り壁の解析 結果

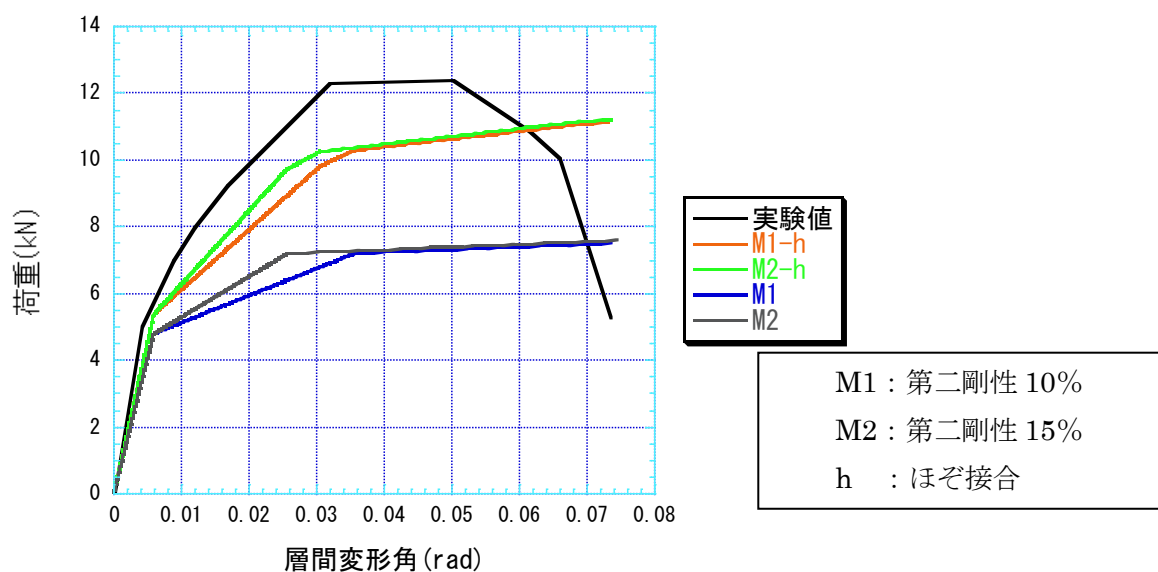


図 8-6 A type 荷重 - 層間変形角関係図

続いて、試験体C type の荷重と層間変形角の関係を図 8-7 に示す。

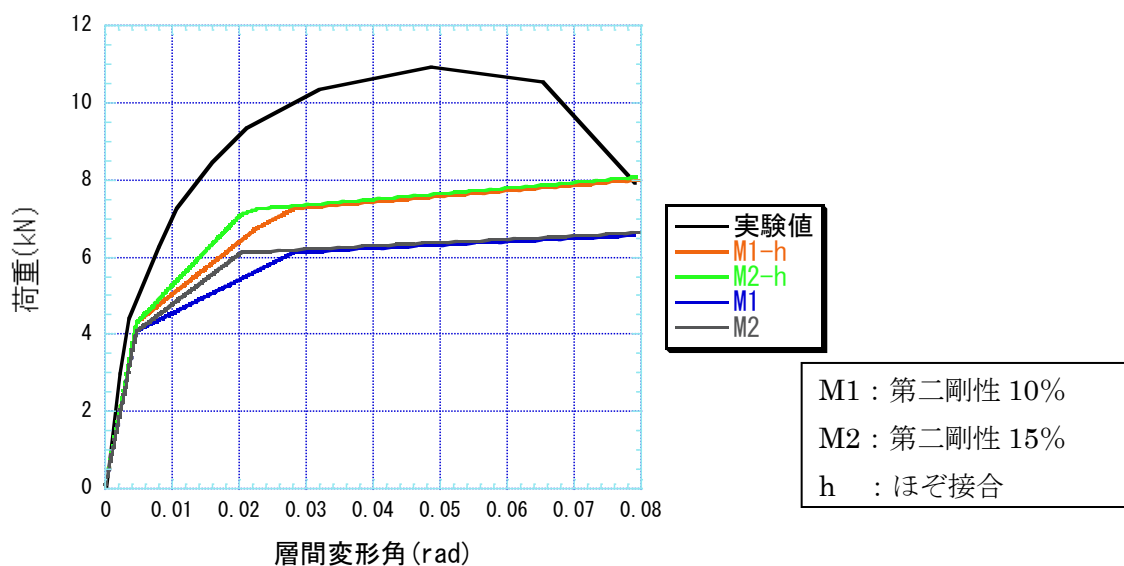


図 8-7 C type 荷重 - 層間変形角関係図

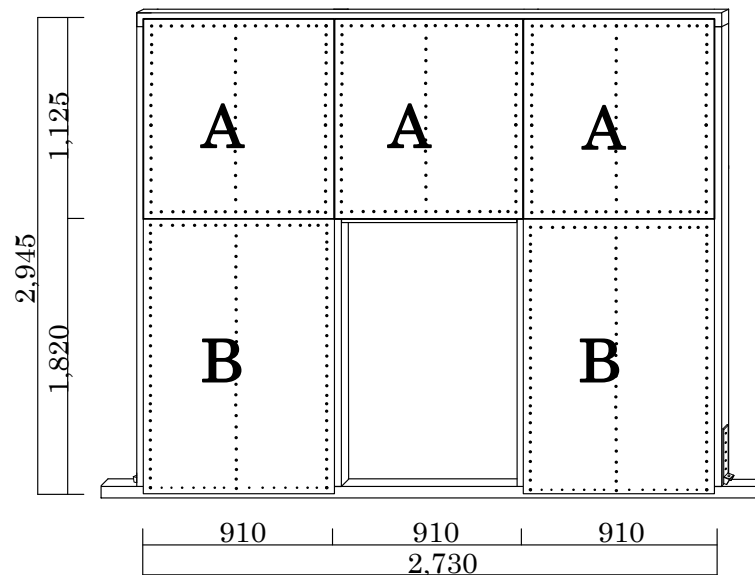
解析モデルA type、C type 共に、初期勾配および第一折れ点は近似していると言える。しかし、構造体が一枚の構造用合板で構成されているため、せん断バネの影響を大きく受け、第一折れ点以降の丸みと荷重低下が評価できていない。また、両タイプともに最大耐力が過小評価しているが、この原因は、実験<sup>45)</sup>ではタイロッドを導入したことにより、これを評価していない解析より、最大耐力が大きくなったものと思われる。

本節では、開口を有する面材張り壁のモデル化の検証を行う。大木、宮澤らの実験的研究<sup>21)</sup>を元に、開口を有する面材張り耐力壁をせん断バネに置換したモデルを作成し、実験結果と比較する。

図 8-8 に試験体形状、表 8-6 に部材の諸元、表 8-7 に接合部、表 8-8 に断面・強度特性の諸元を示す。試験体形状は、高さ 294.5 cm でスパンが 273 cm である。5 枚の面材は各自で回転すると考えられるため、解析モデルには面材ごとにせん断バネを組み込む。また、両外側についているホールダウン金物を考慮するため軸バネを組み込む。その他の接合部はピン接合とする。部材は、柱を 10 分割、梁を 12 分割、受け材を 4 分割し、部材モデルは両端中央ファイバーモデルを使用する。

### 8.3 開口を有する 面材張り壁の 解析 8.3.1 試験体

—Type 1—



—Type 2—

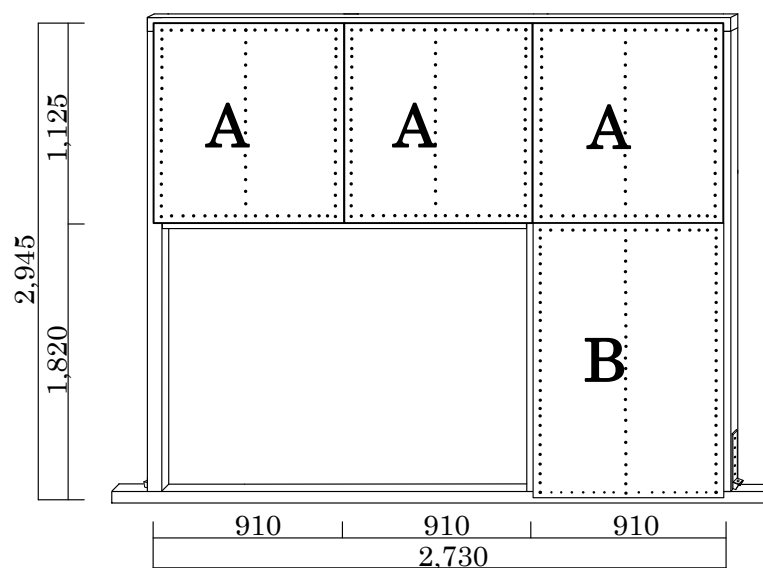


図 8-8 試験体形状

表 8-6 部材緒元

部材	断面寸法(mm)	材種
柱	105×105	ベイツガ
梁		
土台		
間柱	105×45	
まぐさ		
受け材		

表 8-7 接合部

用途	種類	記号
外柱と基礎の緊結	ホールダウン金物	S-HD25
ホールダウン金物と柱	六角金物	10-M12

構造用合板：9mm ラワン材		釘：N50 d：2.75mm		
A	910×1,125 (mm)	3枚	釘ピッチ 面材周辺@150mm	面材 A：33本
B	910×1,820 (mm)	2枚	面材中央@200mm	面材 B：45本

表 8-8 断面・強度特性

	柱・梁・土台	間柱・まぐさ・受け材
断面積	110.25	47.25
断面2次モーメント(cm <sup>4</sup> )	1012.9	79.7
ヤング係数(kN/cm <sup>2</sup> )	866.32	
せん断弾性係数(kN/cm <sup>2</sup> )	57.75	

## 8.3.2 解析モデル

木質パネルの解析を行うにあたり、せん断バネを用いた部材モデルを作成し、釘打ち面材張り木質パネルのモデル化方法についてその概略を示す。詳細は第3章で既に述べたのでそちらを参照されたい。

面材： 面材の復元力特性は、釘の繰り返し载荷によるせん断耐力試験の履歴に依存することから、せん断バネを用いて組み込む。  
面材の種類に対応したせん断耐力及び剛性を求め、それぞれを面材の中心に配置する。

枠材： 柱を10分割、梁を12分割、間柱、受け材を4分割し、モデル化を行う。

各部材を、両端と中央にファイバーを持つ両端中央ファイバーモデルとする。

柱頭・柱脚、及ぶ他の接合部には曲げバネを配置する。

今回は、釘数本による接合であることから、モーメントが伝わるとは考えられないためピン接合とした。

両端の柱脚は、ホールダウン金物によって支持・接合されているため、この部分には軸バネを配置した。

\* 今回の解析では部材の接合は釘数本によるもののため、このようなモデル化を行ったが、ほぞによる接合の場合はこの曲げバネに剛性を与えることにより解析を行う事が可能となる。

上記に従って作成した解析モデルを図8-9に示す。対称性を持つ有開口耐力壁をType1、非対称性を持つ有開口耐力壁をType2とする。



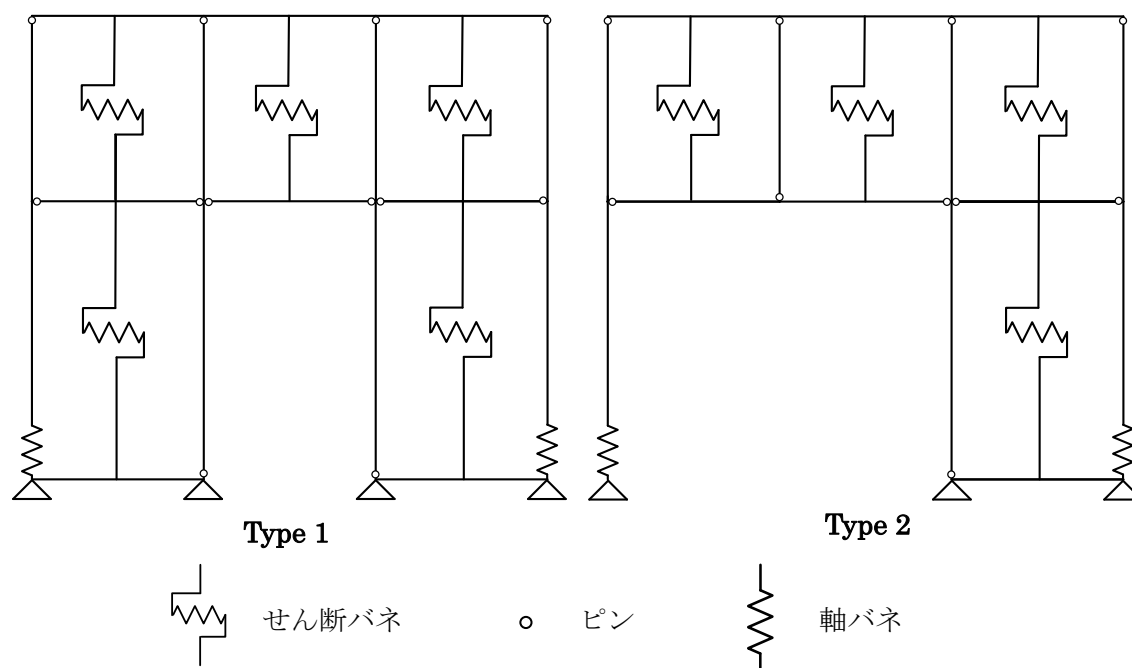


図 8-9 試験体の解析モデル

本節では各モデルの履歴特性を設定する。最初に、釘打ち面材張り木質パネルに関するせん断バネの諸定数を、第3章で説明したせん断耐力略算法を用いて求める。

求めるパラメータは以下の値である。

許容せん断耐力  $P_a(kN)$       せん断剛性  $K_r(kN/rad)$   
 せん断剛性  $K_r$  を、次式を用いて変換する。  

$$K(kN/cm) = K_r(kN/rad) / H(cm)$$

上記の許容せん断耐力  $P_a(kN)$  をせん断バネの第一折れ点、初期剛性を  $K(kN/cm)$  とする。第二折れ点は、許容せん断耐力  $P_a(kN)$  を長期許容応力度と考え、その1.5倍とする。第二剛性は、一般的に初期剛性の15%程度としているが、今回の解析では安全側の値を得るため、初期剛性の10%を使用する。さらに第三剛性は初期剛性の1%とする。ただし、実験で得られた最大耐力以降の履歴を模擬するため、初期剛性の15%を負勾配とするモデルも用意する。第三勾配の違いで、前者を Model 1、後者を Model 2 とする。スリップ剛性は初期剛性の1%、徐荷剛性は初期剛性と同じ値とする。

### 8.3.3 履歴特性

#### 8.3.3.1 面材

以上の内容を表 8-9 にまとめると次のようになる。

表 8-9 せん断バネ諸元

Model type	Model 1		Model 2	
面材種類	A	B	A	B
初期剛性(kN/cm)	6.874	4.674	6.874	4.674
第二剛性(kN/cm)	0.6874	0.4674	0.6874	0.4674
第三剛性(kN/cm)	0.06874	0.04674	-1.0311	-0.7011
徐荷剛性(kN/cm)	6.874	4.674	6.874	4.674
スリップ剛性(kN/cm)	0.06874	0.04674	0.06874	0.04674
第一折れ点(kN)	4.493	3.839	4.493	3.839
第二折れ点(kN)	6.740	5.759	6.740	5.759

### 8.3.3.2 接合部

次に、接合部モデルの履歴について述べる。今回使用したホールダウン金物 S-HD25 の降伏耐力、さらに六角ボルト M12 のすべり係数を以下に示す。

M12 繊維方向すべり係数  $K_0$  : 21000(kgf/cm)  
 \* 木材の密度を 500kg/m<sup>2</sup> とする

上記のすべり係数の値を使用し、初期剛性を以下の表 8-10 に示す。

表 8-10 軸バネ初期剛性

すべり係数 $K_s$ (kgf/cm)	21000
釘の本数	5
合計	105000
初期剛性(kN/cm)	1029

さらに、ホールダウン金物接合部における、部材へのめり込みを考慮した軸剛性を求めると、以下ようになる。ここでのヤング係数は、繊維と直交方向のヤング係数、長さは、部材の厚さである事に注意する。

$$\frac{EA}{l} : \text{軸剛性} \quad \begin{aligned} E &: 34.65(kN/cm^2) \\ A &: 110.25(cm^2) \\ l &: 10.5(cm) \end{aligned}$$

$$\frac{EA}{l} = 364(kN/cm)$$

上記のめり込み剛性を足し合わせたものを圧縮側の剛性とする。  
軸バネの諸元を表 8-11 にまとめる。

表 8-11 軸バネ諸元

引張側初期剛性(kN/cm)	1029
引張側第二剛性(kN/cm)	10.29
圧縮側剛性(kN/cm)	1327
除荷剛性(kN/cm)	1029
スリップ剛性(kN/cm)	10.29
第一折れ点(kN)	25.99

下記に柱・はり断面を構成する部材の特性についてまとめる。部材断面のファイバーの履歴特性は、トリリニアの骨格曲線を有する木質構造材用の履歴モデルを用いる。履歴特性は既に図 8-5 に示した。

短期許容応力度が第一折れ点となり、許容応力度の 1.5 倍が第二折れ点となる。これは最大耐力が引張・圧縮共に短期許容応力度の 1.5 倍であることによる。また、剛性は、小松らの実験的研究により、引張側では初期剛性の 70%、圧縮側では初期剛性の 35%と仮定し、第三剛性は、圧縮・引張ともに初期剛性の 1%とする。

今回の解析で使用した値を以下の表 8-12 にまとめる。

表 8-12 部材の諸元

	圧縮側	引張側
初期剛性(kN/cm <sup>2</sup> )	866.32	866.32
第二剛性(kN/cm <sup>2</sup> )	606.42	303.21
第三剛性(kN/cm <sup>2</sup> )	0.0866	8.6632
第一折れ点(kN)	1.274	0.98
第二折れ点(kN)	1.91	1.47
せん断弾性係数(kN/cm <sup>2</sup> )	57.755	

解析手法として、変位増分法による静的弾塑性解析を用いる。加力位置は図 8-10 に示されており、その荷重履歴は、破断点までの一方向荷重と、図 8-12 に示すサイクリックに変位を与える交番荷重である。

### 8.3.3.3 部材

### 8.3.4 解析方法

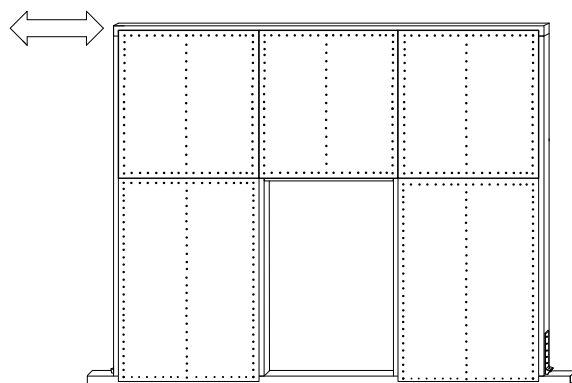


図 8-10 試験体加力位置

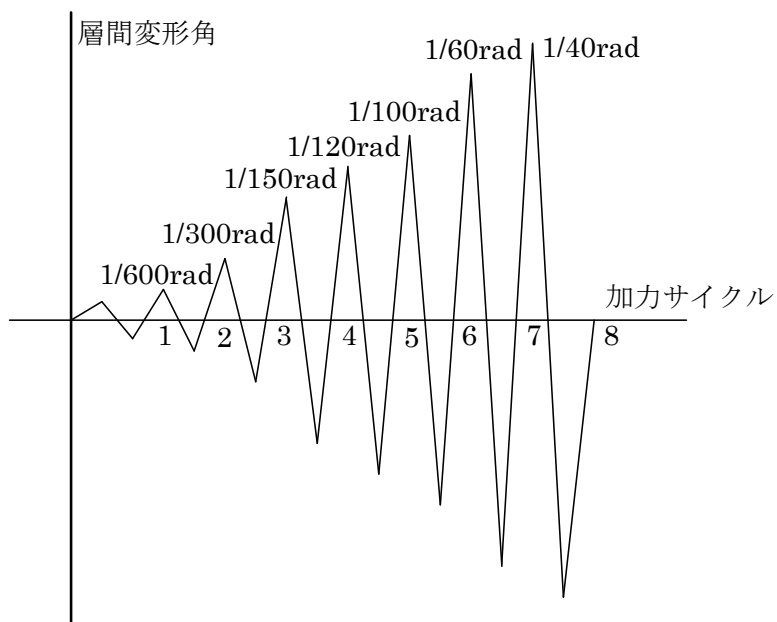


図 8-11 加力履歴

図 8-12 と図 8-13 は、Type1 と Type2 の一方向載荷による荷重と層間変形角関係を表す。図中の実験結果は文献 21) で公表されている交番載荷曲線のスケルトンカーブを図示したものである。

最初に、対称位置に開口を有する Type1 について考察する。Type1 の両モデルとも、初期勾配、第一折れ点で非常に良い一致が得られている。弾塑性挙動として、両モデル共に 8.64kN で面材 B に、11.40kN で上の面材が塑性に入っており、さらに 15.89kN で面材 B が降伏している。ここから両モデルに差がでており、Model11 では 17.52kN で、Model12 では 15.82kN で面材 A が降伏している。

### 8.3.5 解析結果

#### 8.3.5.1 一方向載荷

実験時の最大耐力を超えてから、両モデルでは多く異なる挙動を示す。Model11では、履歴特性の第三勾配が正であるため、実験時の最大耐力を超えてからもさらに荷重は増加しており、最大耐力は、かなり高くなる。一方、Model12では、最大耐力を超えてからも実験結果と良い一致を示している。

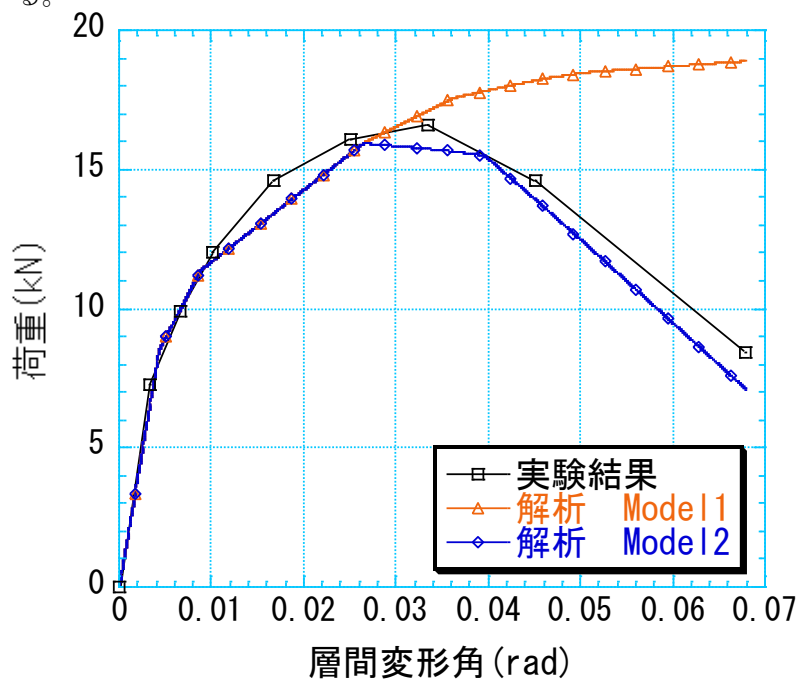


図 8-12 一方向載荷による解析結果 (type1)

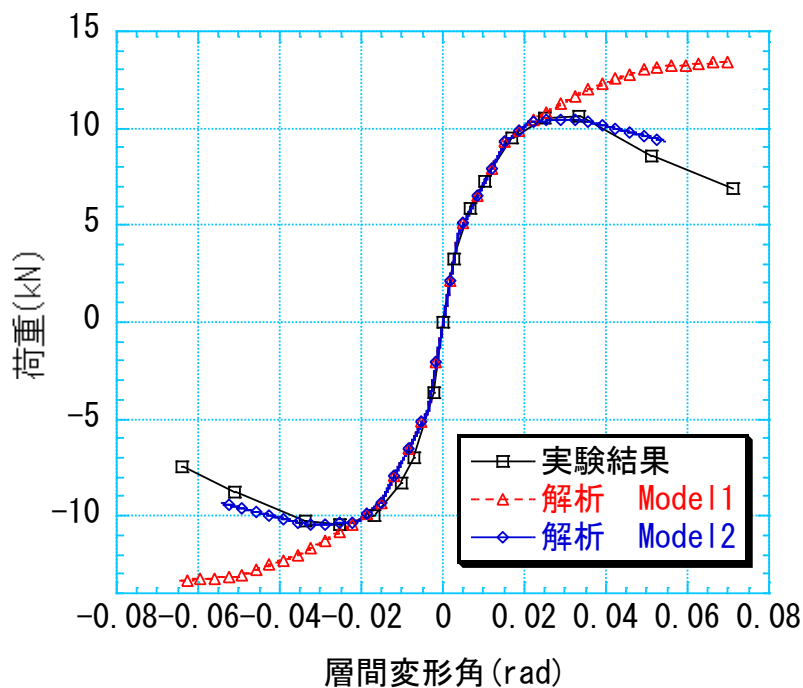


図 8-13 一方向載荷による解析結果 (type2)

次に、非対称の開口部を有する Type2 モデルの解析結果を考察しよう。図8-13には、前方載荷と後方載荷による結果が同時に表示されている。また、Type1 と同様、図中の実験結果は文献で公表されている交番載荷曲線のスケルトンカーブを図示したものである。

Type2 の両モデル共、Type1 同様、初期勾配、第一折れ点は実験結果と良い一致を示している。第一折れ点以後、両モデル共に 4.65kN で面材 B が塑性域に、9.14kN で面材 A が同じく塑性域に、さらに 10.30kN で面材 B が降伏点に達する。その後、Model11 では 13.13kN で面材 A が降伏しているが、Model12 では降伏にしていない。その原因として、面材 B の負剛性の影響で耐力低下が著しくなり、面材 A の降伏点までせん断力が発生していないことによる。

実験の最大耐力時を越えて以後、両モデルの挙動に大きな差異が見られた。これも、Type1 と同様で、Model12 では、最大耐力時以降も実験結果と非常に良い一致を示している。また、Type2 は左右非対称性の試験体であるが、その影響はさほど顕著でない。

### 8.3.5.2 正負交番載荷

次に、図 8-11 に示す正負交番繰り返し載荷を受ける試験体に関する解析結果を考察しよう。まず、Type1 の正負交番繰り返し載荷解析で得られた試験体頂部の荷重と層間変形角関係を図 8-14、8-15 に示す。図 8-14 は Model11、図 8-15 は Model12 に対する解析結果である。両モデル共に、実験の最大耐力までは良い一致を示すが、それ以後の挙動は大きく異なっているのが特徴である。特に、Model12 は、せん断バネの第三勾配が負であり、最大耐力以降の挙動も実験結果と良い一致を示している。

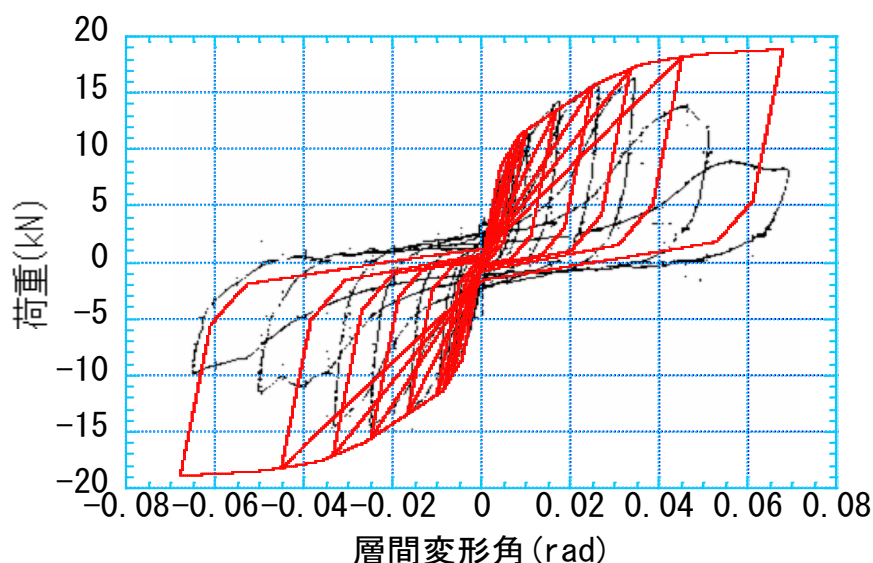


図 8-14 交番載荷による解析結果 (Model11)

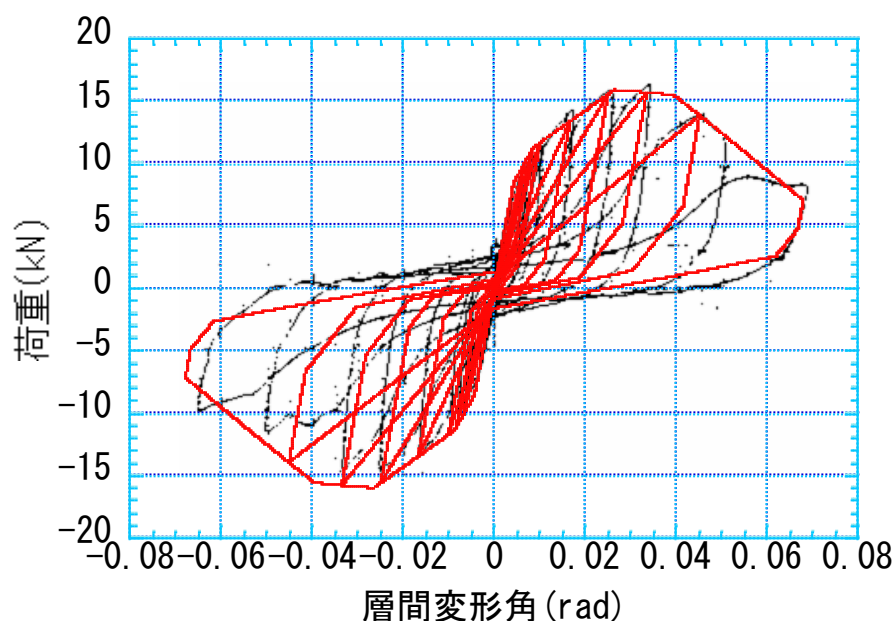


図 8-15 交番载荷による解析結果 (Model11)

次に、非対称の開口部を有する面材張り耐力壁が正負交番繰り返し载荷を受ける場合について考察する。

図 8-16、8-17 は、Type2 の荷重と層間変形角関係を示す。図 8-16 は Model11 の結果を示し、このモデルではせん断バネの第 3 勾配が正である。また図 8-17 は Model12 の結果で、せん断バネの第 3 勾配が負となっている。両モデル共、Type1 と同様で、実験の最大耐力までは良い一致を示すが、それ以後の挙動は大きく異なっている。特に、Model12 は、最大耐力以降の挙動も実験結果と良い一致を示している。

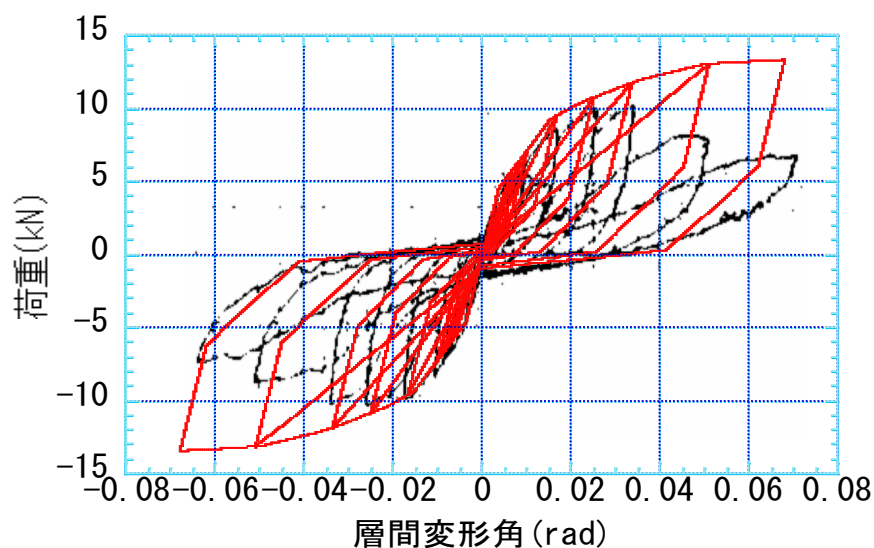


図 8-16 交番载荷による解析結果 (Model12)

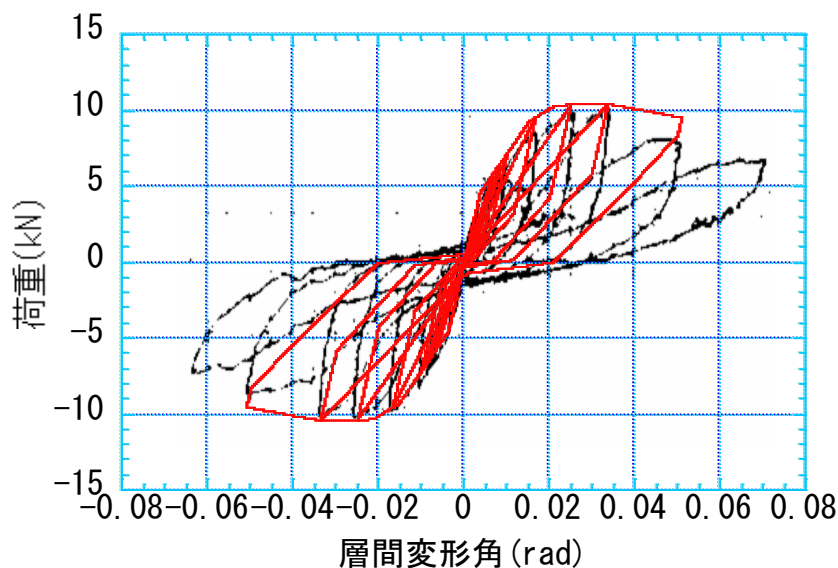


図 8-17 交番载荷による解析結果 (Model2)

#### 8.4 まとめ

本章では、合板釘うち耐力壁を算定式によりせん断型バネモデルに置き、簡略化したモデルの弾塑性解析を行い、その挙動を分析した。得られた結果をまとめて以下に示す。

1. 算定式により求めたせん断バネの初期剛性、第一折れ点は非常に近似した結果を得ることができ、算定式及びモデル化の妥当性を示すことができた。
2. 全体の挙動は実験結果と良い近似を示す。特に第三勾配を負とする Model2 では、最大耐力以降も実験結果を十分にトレースしており、モデル化の妥当性を示している。
3. 算定式では、第一折れ点までしか求めることが出来ず、それ以降は実験結果より仮定した値を使用した為、解析手法確立するにあたり、さらに多くの面材モデルを解析し、整合性を高める必要がある。
4. さらに整合性を高めるには、ホールダウン金物を軸バネ置換としてだけでなく、曲げバネの並列、そしてホールダウン金物のついていない柱脚部分の引き抜けを考慮したモデル化、さらに柱とまぐさ接合部のモデル化など、更なる研究・開発が必要である。