



第7章 筋交い壁のモデル化と解析

兵庫県南部地震において特に木造住宅が甚大な被害を受けた。これを契機に、主に経験と実績をもとに建築されてきた在来軸組工法を中心とした木造住宅において、実験的・解析的研究が精力的に行われるようになった。木造住宅は伝統的な在来軸組工法から、桝組壁工法や木質プレハブ構造が多用されるようになり、わが国の木造住宅は大きく変遷を遂げてきた。

一方、既存の木造住宅はその多くが在来軸組工法である。規定として、接合部に金物を使用することや、壁量を増やすことなどがあるが正しく使用されている住宅は必ずしも多いとは言えない。在来軸組工法における耐力壁は筋交いを有する壁のことである。一般に筋交いを持つ壁は、梁・柱からなる軸組にトラス材として斜めに部材を組み込み、端部を金物で接合する。金物を使用することで引張耐力も期待できるが、「半剛接合」という木質構造特有の挙動を示すため、解析をより一層困難にしている。

既往の研究では、実験的研究は多数存在するが、解析的研究は必ずしも十分とは言えない。ここでは、在来軸組工法を取り上げ、筋交いを有する壁の挙動を解析し、実験結果と比較する。解析モデルとして、五十田ら¹⁾の研究をもとに筋交いを持つ耐力壁で、接合部に弾塑性特性を考慮した軸バネを用いる。この解析モデルに対し静的弾塑性解析を行い、実験結果と比較・検討する。また、提案されている算定式を用いて復元力の履歴特性を設定し、その解析結果と実験結果との整合性を比較する。

解析対象となる試験体として、図 7-1 にその概要を示し、また表 7-1 に部材仕様を示す。解析モデルとして、スパン 91cm、高さ 273cm の筋交いを有する 1 枚壁を 1 P モデルとし、またスパン 182cm、高さ 273cm の筋交いを持つ 1 枚壁を 2 P モデルとする。部材のヤング係数は木質構造設計規準・同解説²⁾による。接合部には、軸組工法用金物規格「Z マーク金物」を使用する。また柱－横架材接合部にはかど金物（CP-2）を、筋交い端部には筋かいプレート（BP-2）を使用する。

7.1 はじめに

7.2 筋交いのモデル化

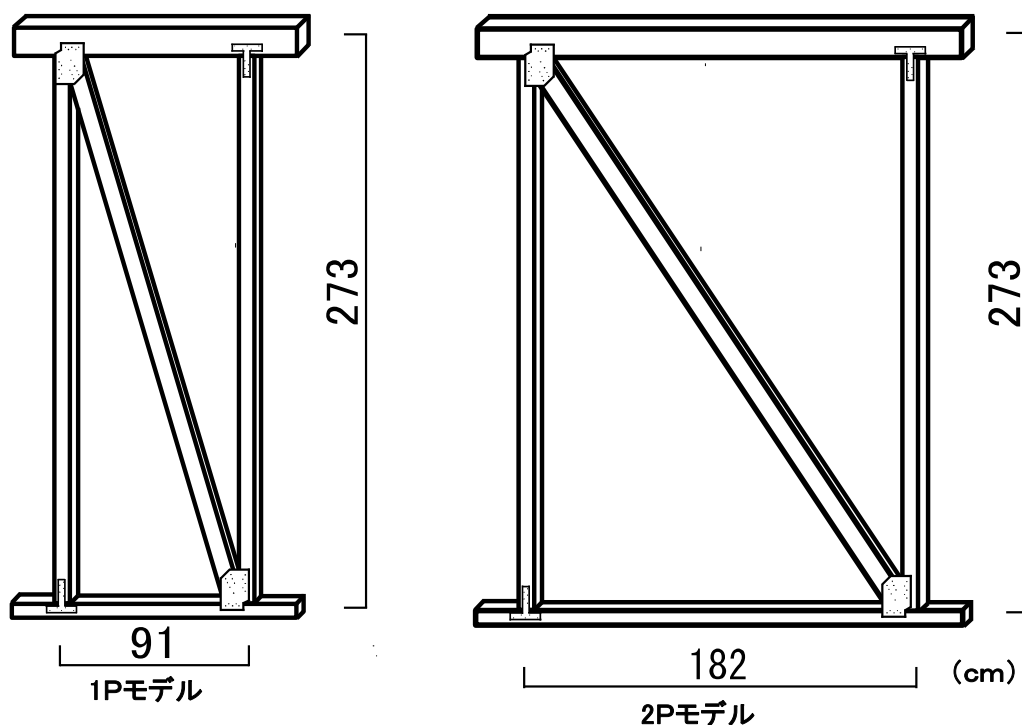


図 7-1 試験体概要

表 7-1 部材定数

	寸法 (cm)	樹種	ヤング係数 (kN/cm^2)
柱	12 × 12	米ツガ	882
横架材	12 × 24	米マツ	980
土台	12 × 12	米マツ	980
筋交い	9 × 4.5	米マツ	980

木質構造接合部は半剛接合であり、力を受けると必ず変形する性質を有する。そのため、接合部を簡単なピン接合や剛接合として仮定することができない。ここでは、接合部をバネモデルとし、各力に対して適切な復元力履歴特性を用いて複雑な挙動に対応する。

次、各接合部の詳細とモデル化について説明する。図 7-2 では、柱頭部における筋交いプレート詳細と接合部のモデル方法を示す。柱頭部の筋交いプレートとして、タイプが 2 種類用意される。S_1type では、筋交いプレートにおける横架材接合部分と柱接合部分に分け、接合部分を別々の軸バネとして設定する。一方、S_2type では、横架材接合部分をそれぞれ柱接合部分と筋交い接合部分に分けて足すことでモデル化す

7.3 接合部のモデル化

る。図 7-3 では、かど金物・柱脚部の筋交いプレートの詳細とその接合部モデル化を示す。

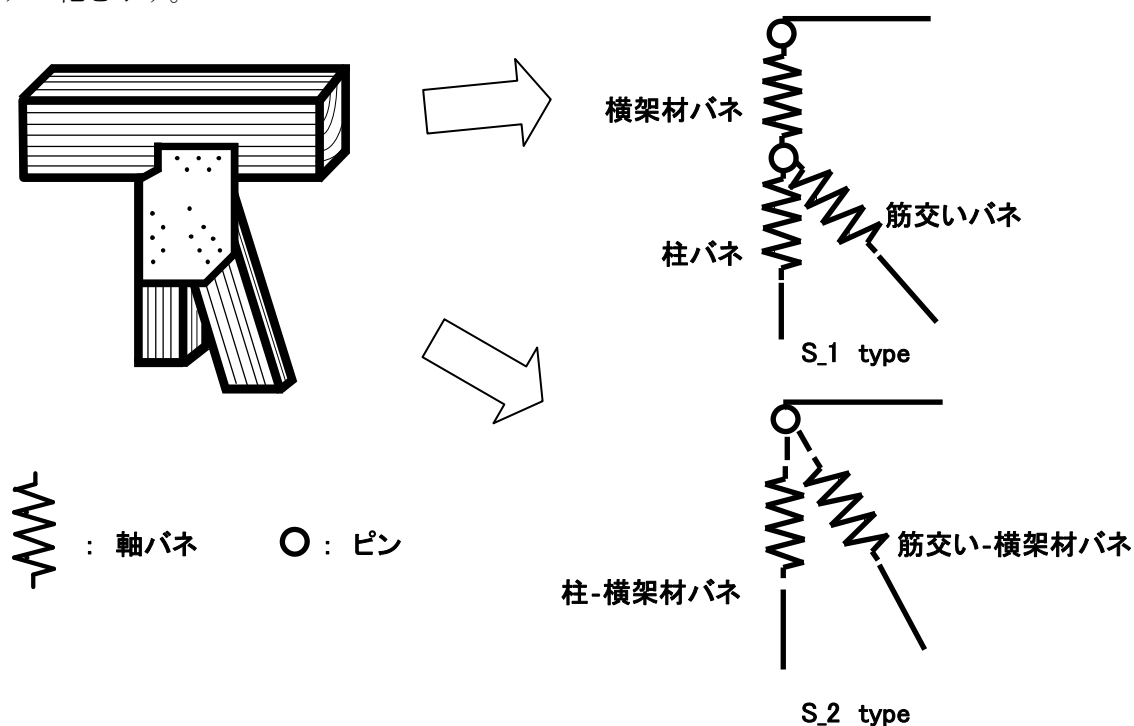


図 7-2 柱頭部筋交いプレートのモデル化

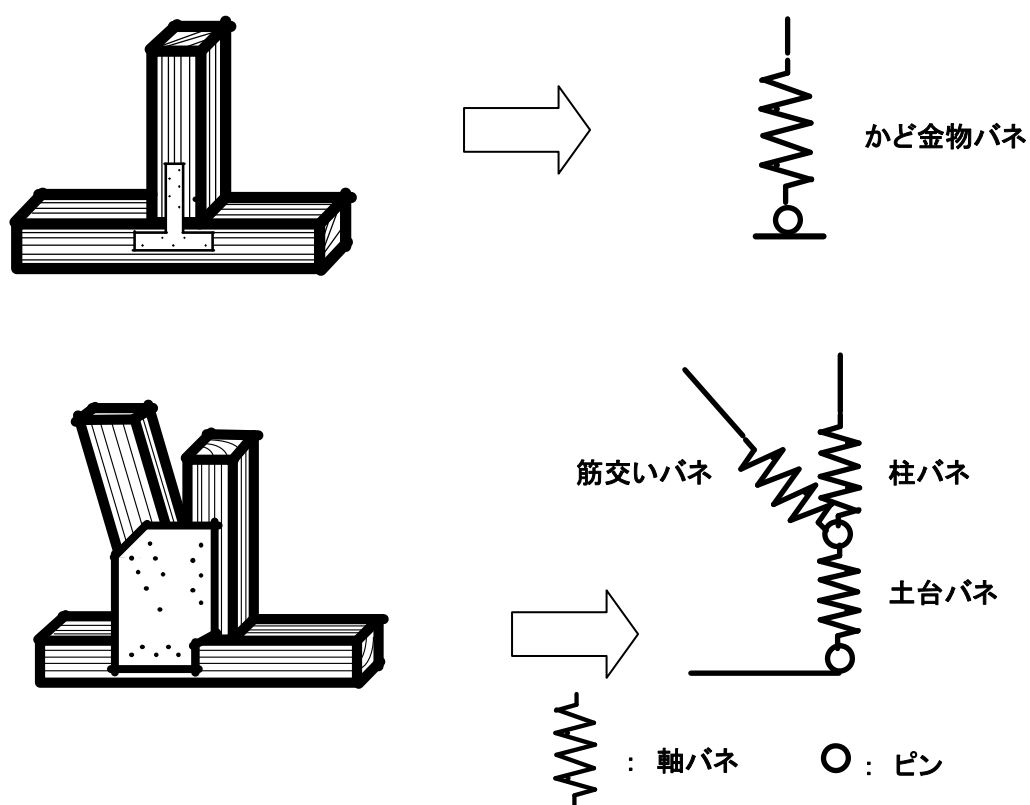


図 7-3 かど金物・柱脚部の筋交いプレート接合部のモデル化

7.4 解析モデル

試験体 1P モデルは、先に示した柱頭接合部のモデル化の違いにより、図 7-4 に示される S_1type と S_2type の 2 種とする。境界条件は、一端ピン支持、他端ローラー支持とする。部材の挙動は弾性範囲であることが分かっており、部材は全て弾性部材とする。なお、接合部のバネが軸方向バネであるため、筋交い及び柱は軸力のみ伝達するトラス要素、横架材ははり要素としている。図中の矢印は、加力位置を示す。

同様に 2 P モデルも、S_1type と S_2type の接合部モデルを使用し、2 種のタイプを用意する。境界条件とモデルの仕様は全て 1P モデルと同じである。

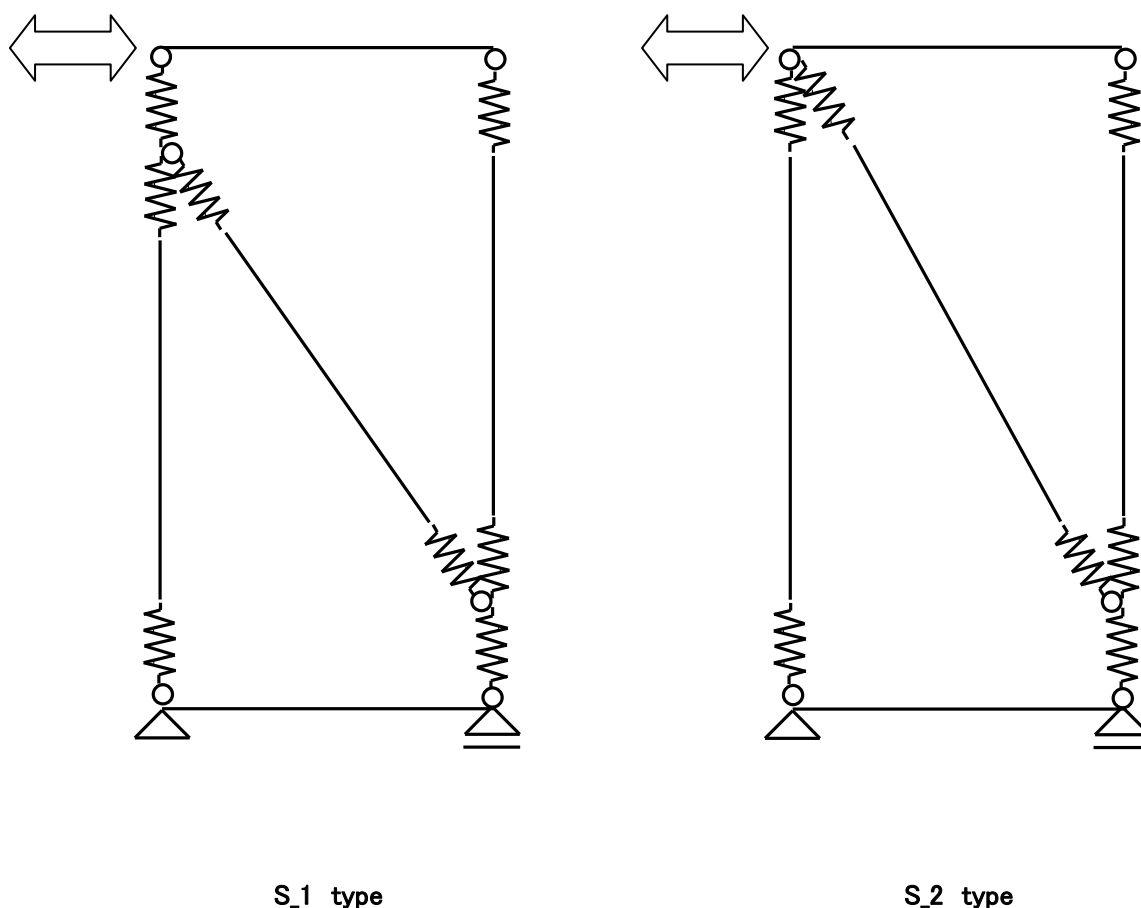


図 7-4 解析モデル（1Pモデル）

7.5 軸バネの履歴特性

第7.3節で述べたように、解析モデルにバネ要素を組み込むための履歴特性が必要となる。解析で使用する履歴モデルが図7-5に示される。ここでは、引張側では釘のすべりを考慮し、圧縮側では横架材へのめり込みが考慮できる圧縮側弾性スリプトリニアを使用する。

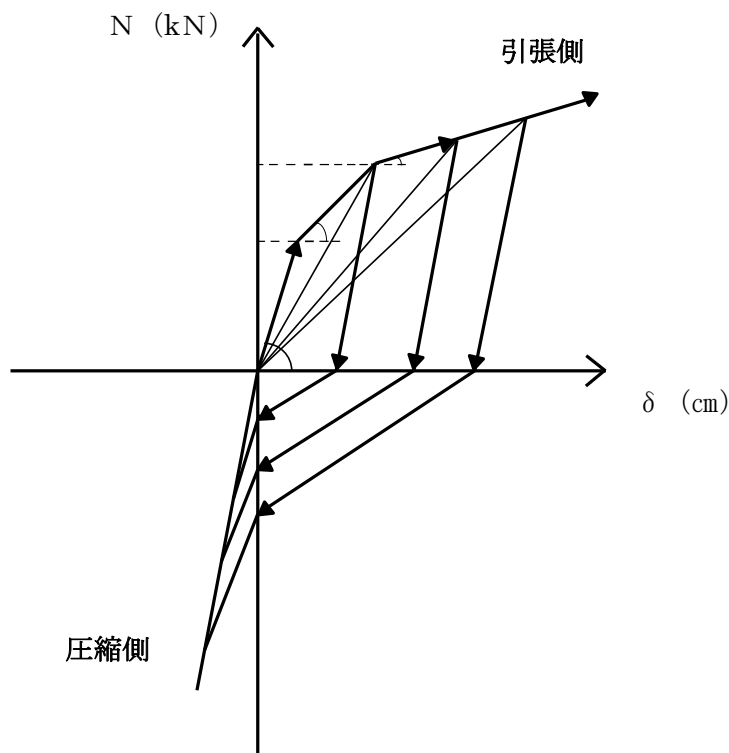


図7-5 接合部の履歴特性

履歴特性の各パラメータは、枠組壁工法建築物構造計算指針⁴³⁾を元に計算される。履歴特性の第二折点として釘接合部の一面せん断降伏耐力 P_y を、また第一折点として降伏耐力 P_y の $1/3$ をとる長期せん断耐力を適用する。降伏耐力 P_y は、式(3.29)で求められる。

初期剛性 K_1 は、各接合金物を取り付けるのに使用されている鋼板添板釘打ち接合のすべり係数 K_s から求められ、式(3.28)より計算される。

履歴特性のパラメータである第二剛性は K_1 の 20%、第三剛性は K_1 の 1%、スリップ剛性は K_1 の 2%、圧縮側剛性・除荷剛性は K_1 とする。以上の条件で、各接合部における軸バネの諸元が求められる。表7-2では S_{1type} の諸元が、また表7-3では S_{2type} の諸元が各々示される。なお、 S_{2type} では、柱頭部筋交いプレート以外の接合部として S_{1type} の接合部の諸元を使用する。履歴特性に関する各パラメータの値は、次ページの表7-2、表7-3を参照されたい。

* S_1 type

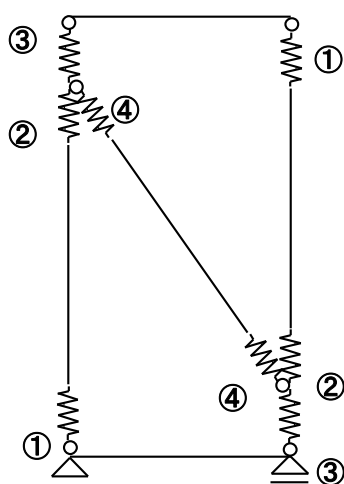


図 7-6 S_1 タイプの解析モデルと履歴特性

表 7-2 S_1type 各緒元

①

かど金物	
K_1 (kN/cm)	146.51
K_2 (kN/cm)	29.302
K_3 (kN/cm)	1.4651
K_5 (kN/cm)	146.51
K_4 (kN/cm)	2.93
K_6 (kN/cm)	146.51
P_1 (kN)	4.222
P_2 (kN)	12.667

②

筋交いプレート 柱	
K_1 (kN/cm)	102.9
K_2 (kN/cm)	20.58
K_3 (kN/cm)	1.029
K_5 (kN/cm)	146.51
K_4 (kN/cm)	2.058
K_6 (kN/cm)	102.9
P_1 (kN)	3.583
P_2 (kN)	10.748

③

筋交いプレート 横架材	
K_1 (kN/cm)	43.61
K_2 (kN/cm)	8.722
K_3 (kN/cm)	0.436
K_5 (kN/cm)	43.61
K_4 (kN/cm)	0.872
K_6 (kN/cm)	43.61
P_1 (kN)	3.8
P_2 (kN)	11.4

④

筋交いプレート 筋交い	
K_1 (kN/cm)	144.06
K_2 (kN/cm)	28.812
K_3 (kN/cm)	1.4406
K_5 (kN/cm)	144.06
K_4 (kN/cm)	2.8812
K_6 (kN/cm)	144.06
P_1 (kN)	5.32
P_2 (kN)	15.96

* S_2 type

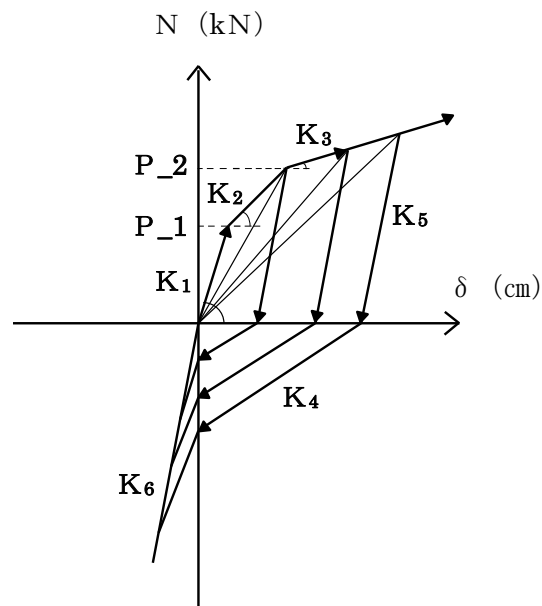
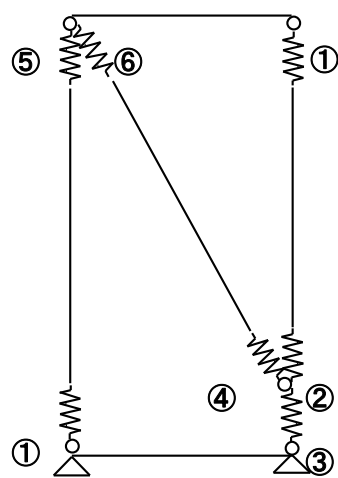


図 7-7 S_2 タイプの解析モデルと履歴特性

表 7-3 S_2type 各緒元

⑤

筋交いプレート	柱-土台
K_1 (kN/cm)	146.51
K_2 (kN/cm)	29.302
K_3 (kN/cm)	1.4651
K_5 (kN/cm)	146.51
K_4 (kN/cm)	2.93
K_6 (kN/cm)	146.51
P_1 (kN)	7.383
P_2 (kN)	22.148

⑥

筋交いプレート	柱-筋交い
K_1 (kN/cm)	187.67
K_2 (kN/cm)	37.534
K_3 (kN/cm)	1.8766
K_5 (kN/cm)	187.67
K_4 (kN/cm)	3.753
K_6 (kN/cm)	187.67
P_1 (kN)	9.12
P_2 (kN)	27.36

これまでに求めてきた部材と接合部の諸元を用いてモデル化を行い、変位増分法による静的弾塑性解析を行う。載荷方法は変位制御による単調増分載荷であり、筋交いが圧縮と引張になるよう2方向載荷による応力解析を行う。

さらに、図 7-8 に示すような繰り返し載荷も実施する。繰り返しの履歴は、層間変形角、 $1/240$ 、 $1/120$ 、 $1/85$ 、 $1/60$ 、 $1/42$ 、 $1/30$ になるような正負交番繰り返し載荷とする。

7.6 解析方法

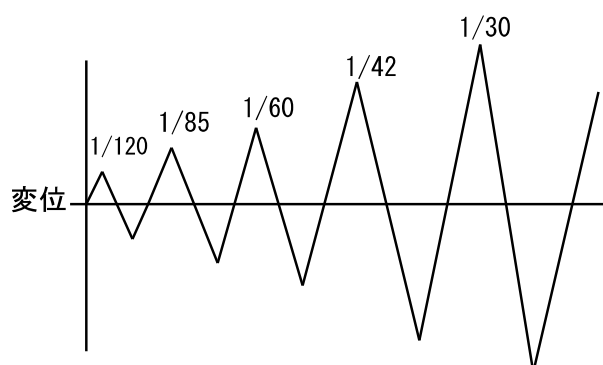


図 7-8 繰り返し載荷方法

図 7-9 は、1P モデルで柱頭荷重点における荷重－変位関係を示し、2 方向の荷重単調載荷の結果を表す。全体に押すような荷重の場合、左の柱脚部におけるかど金物の浮きが、また、引くような荷重では柱脚筋交いプレートの柱の浮きが全体挙動に大きく影響している。S_1type では、柱の筋交いプレートのバネが作用していないため剛性の値が低く評価されている。この結果に比較して、S_2type の筋交プレートは前述したように剛性を足し合わせているため、剛性が高く評価されており、実験結果により近い結果が得られている。同図から分かるように、両者の解析結果は、最大耐力が多少低く評価されているが、実験結果と良い近似を示していると言える。

7.7 解析結果

1P モデル

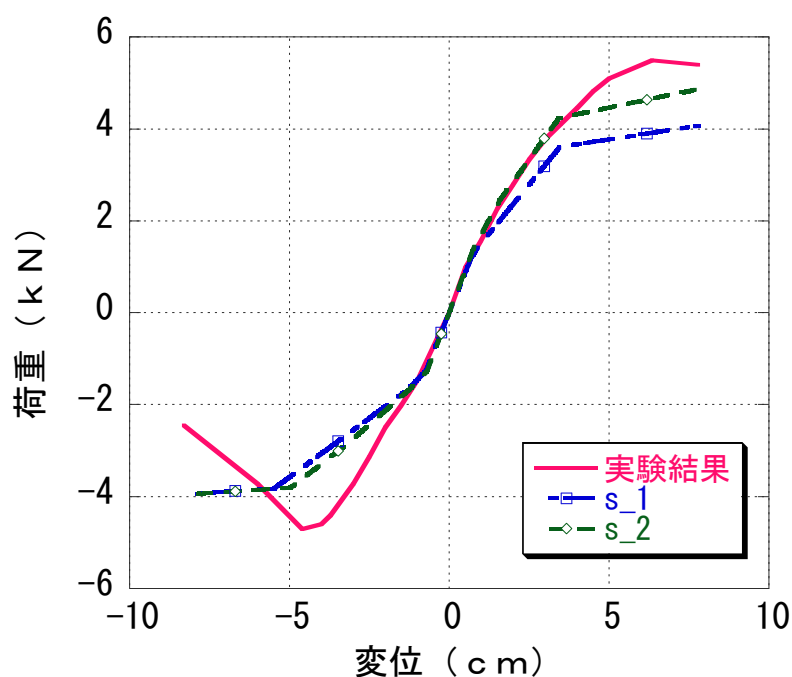


図 7-9 荷重－変位関係

繰り返し载荷に対する応答が実験結果と重ねられて、それぞれ図 7-10 と図 7-11 に示される。実験結果と解析値を比較すると、前述した結果と同様に S_1 type は S_2 type より最大耐力が多少低く評価されている。また、繰り返し载荷の際、剛性が高く評価されている部分もあるが、引張側・圧縮側共に実験結果と良い近似を示す履歴ループが得られている。

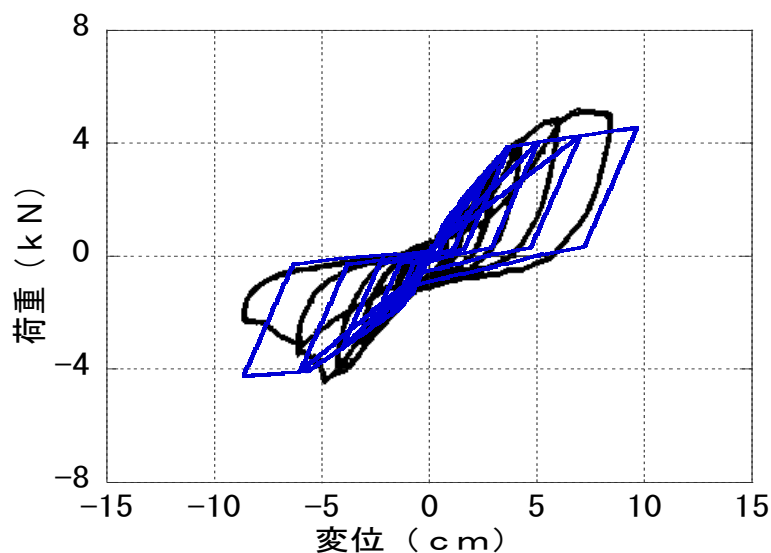


図 7-10 繰り返し载荷 荷重－変位曲線 (s_1type)

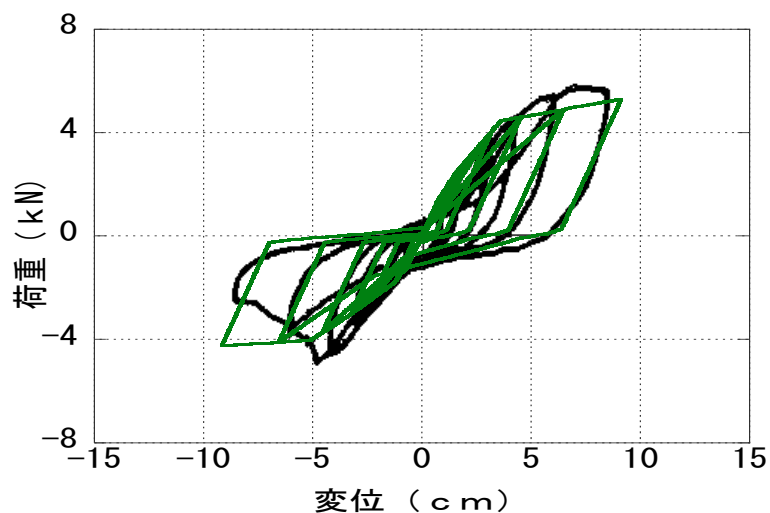
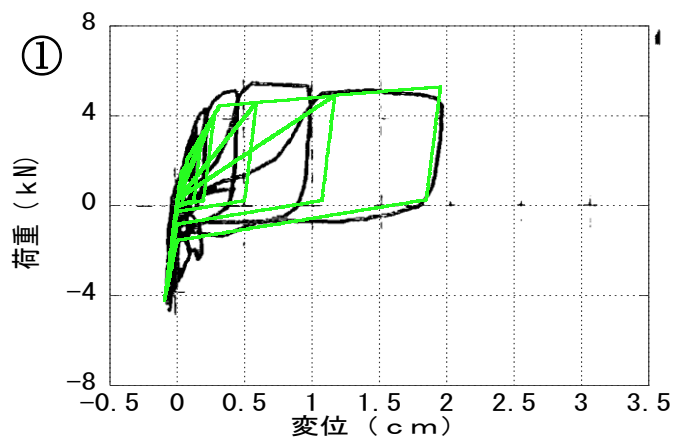
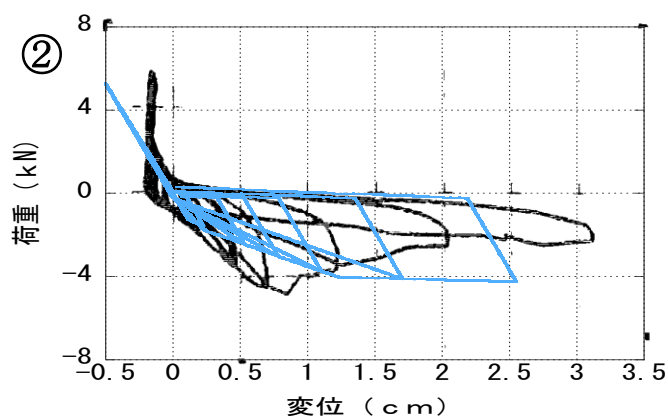


図 7-11 繰り返し载荷 荷重－変位曲線 (s_2type)

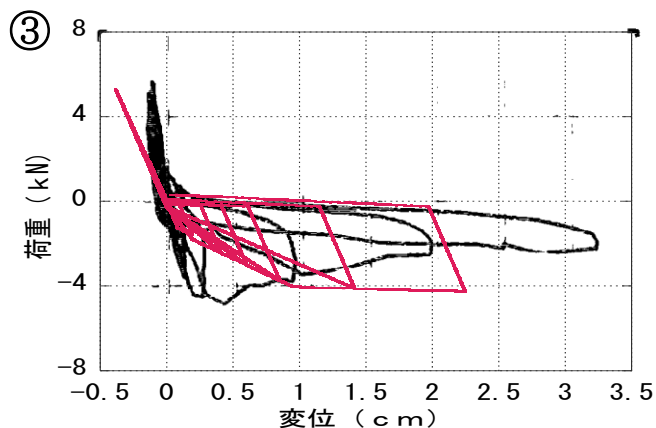
図 7-14 には、S_2type の繰り返し載荷に対する各接合部の荷重—変位関係が示される。各三つのバネの挙動は、実験結果と概ね良好な評価が得られている。特に、①の柱—横架材接合部の柱脚の浮きは、実験結果を十分にトレースしており、かど金物のモデル化は妥当だったと考えられる。バネ②・③の応答は、実験結果と良く似た履歴特性は得られているものの、圧縮側の剛性がかなり低く評価されている。反対に、引張側では、剛性が高く評価されているため、最大変位が実験値を下回って得られている。



① 柱—横架材接合部の柱脚の浮き



② 柱—横架材—筋交い接合部の柱脚の浮き



③ 筋交い接合部の変形

図 7-12 各部の荷重—変位関係

7.8 解析結果 2Pモデル

続いて、スパンの長い2Pモデルの応答について考察する。図7-13には、加力点における柱頂部の荷重—変位関係が示される。前述の1Pモデルと同様、解析モデルとして2種類のモデル化を行った。図7-13から分かるように、両者共に、実験結果に比較して、線形剛性が低く評価されている。特にS_1typeの剛性はS_2typeよりも低くなっている。

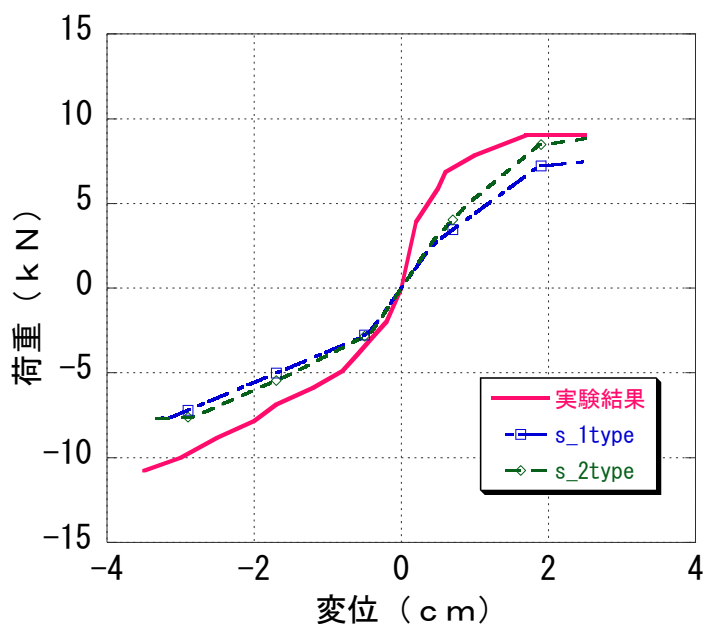


図7-13 頂部の荷重—変位関係

繰り返し載荷に対する応答が、2つのタイプに対して図7-14と図7-15に、実験結果と重ねて示されている。

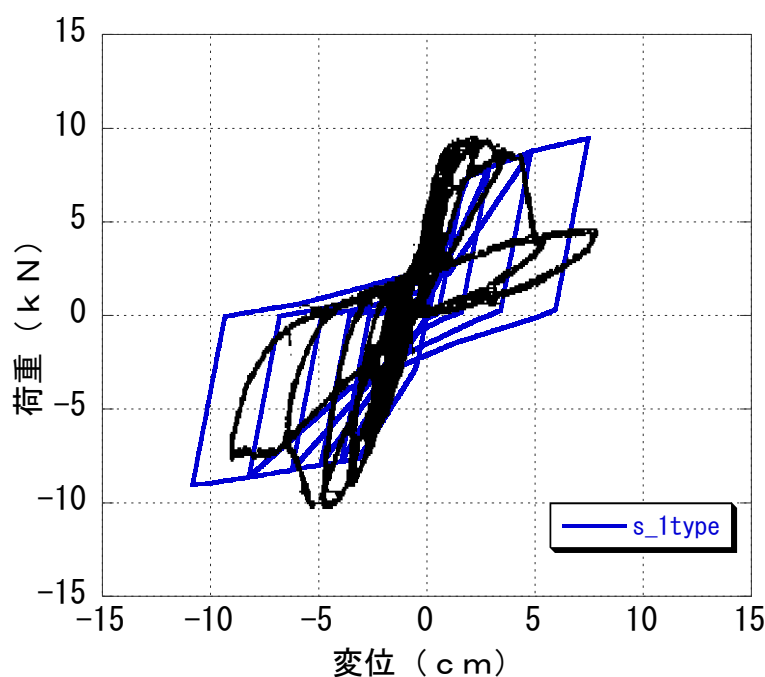


図7-14 繰り返し載荷
荷重—変位曲線 (s_1type)

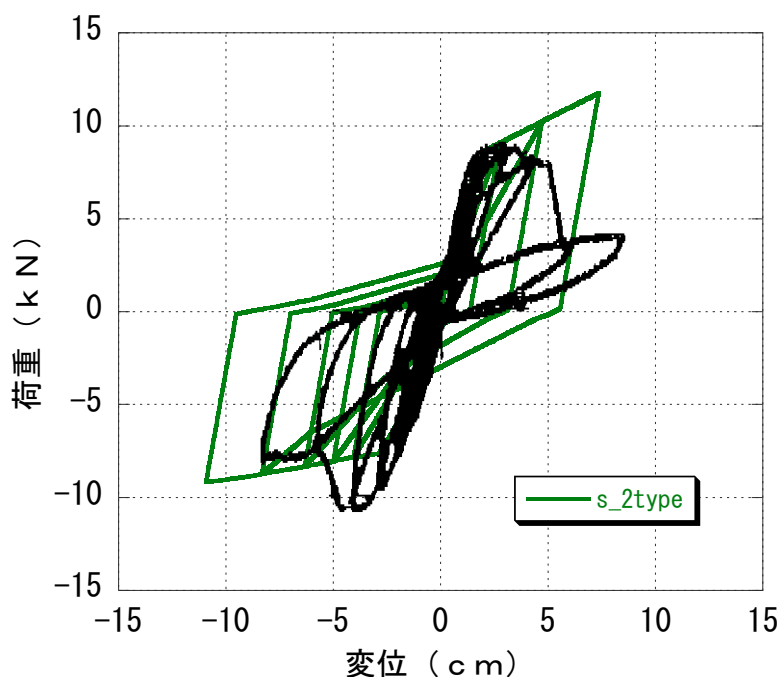


図 7-15 繰り返し載荷
荷重—変位曲線 (s_2type)

両者とも、実験結果を良く近似した挙動を示すが、バネモデルの履歴で、第三勾配を負としていないため、最大耐力を経験した後、その後の挙動に大きな誤差が生じている。

全般的に、S_1 type より S_2type のほうが実験結果に似る形になっており、S_2type では剛性の評価が良好である。ただし、両モデルとも、荷重が引く方向の応答では、実験値より変位が大きく評価されており、最大耐力以降の剛性評価を今後検討する必要がある。

7.9 まとめ

本章では、筋交い耐力壁における接合部のモデル化を行い、実験結果と比較することでモデル化の妥当性を検証した。試験体は2種類であり、接合部に異なった軸バネを組み込むことで、各々2タイプのモデル化を行った。得られた結果を以下に示す。

1. 軸バネを用いてモデル化し静的弾塑性解析を行った結果、実験結果に良く近似した挙動が得られた。
2. 算定式を用いて復元力特性を定義することによって、各接合部の挙動を把握することができた。
3. 初期剛性で比較すると、実験結果と解析結果はほぼ近似している値が得られた。