

合板耐力壁を有する在来軸組工法2層フレームのモデル化に関する研究：腰壁・垂れ壁による耐力への影響と実験結果の比較

MIYAZAKI, Jun / 宮崎, 隼

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院デザイン工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. デザイン工学研究科編 / Bulletin of graduate studies.
Art and Technology

(巻 / Volume)

13

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

7

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030956>

合板耐力壁を有する在来軸組工法 2 層フレームの モデル化に関する研究 -腰壁・垂れ壁による耐力への影響と実験結果の比較-

RESEARCH ON MODELING OF TWO-LAYER FRAME USING WOODEN FRAMEWORK METHOD OF
CONSTRUCTION WITH PLYWOOD LOAD-BEARING WALLS
-EFFECT OF SPANDREL WALLS AND HANGING WALLS ON BEARING STRENGTH,
COMPARISON WITH EXPERIMENTAL RESULTS -

宮崎隼

Jun MIYAZAKI

主査 宮田雄二郎 副査 浜田英明

法政大学大学院デザイン工学研究科建築学専攻修士課程

In this study, we reexamined the modeling of previous studies and improved the modeling. For the two-layer frame model without spandrel walls or hanging walls, we considered the causes of the differences between the experimental results and set the model and input values. In a two-layer frame model with spandrel walls and hanging walls, the influence of the spandrel walls and hanging walls can be verified and seismic performance can be evaluated.

Key Words : spandrel walls, hanging walls

1. はじめに

2019 年 6 月に建築基準法が一部改正されたことにより、建築基準法第 21 条の防火規定の緩和をはじめ各種改正が行われた。これにより、中大規模木造建築物の増加が想定される。現在の建築基準法においては 3 階建て又は延べ床面積 500m² を超えるものは許容応力度設計を行う必要があり、この設計法として「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017 年版)」^[1]が最も用いられている。中大規模木造建築を設計するには、重量増加に伴い地震力が増加するため高耐力壁が必要となる。耐力壁の高耐力化に伴い、柱脚接合部に生じる引張力が大きくなる。また、耐震性を計算するときは耐力壁しか計算に含めないが、腰壁・垂れ壁といった雑壁も耐震上の強さを持っている。そのため、中大規模木造を設計する際に雑壁を考慮した一般的な設計法があればより自由度が増した設計ができるようになる。

本研究では「面材耐力壁を用いた在来軸組工法 2 層フレームの構造実験—梁の曲げ戻し効果および雑壁効果の検証—」^[2]と「在来軸組工法 4 層フレームの設計法に関する研究」^[3]のモデル化を再検討し、モデル化を改良した。腰壁・垂れ壁の無い 2 層フレームモデルでは実験結果と生じた差の原因を考察し、モデルや入力値を設定している。腰壁・垂れ壁がある 2 層フレームモデルでは腰壁・

垂れ壁による影響を検証し、耐震性能の評価が可能になった。

2. 2 層フレームの解析モデル

(1) 解析モデルの構築

本論で 2 層フレームの解析をするにあたり、解析ソフトは(株)構造システム SNAP Ver.7 を用いた。

部材はすべて線材に置換し、材料特性は文献^[2]より要素実験の結果を用いて実験と同等の値を入力した。各部材の寸法は試験体図をもとに柱芯、梁芯で設定している。面材はブレース置換とし面材釘のモデル化は行わず、接合部には引張、圧縮要素に分けて等価な剛性のバネを入力した。ブレース置換では壁のせん断剛性とブレースの軸剛性が等価になるようにモデル化するため、柱の軸変形は考慮しない。解析するにあたり実験と同様に 1 層部分と 2 層部分の見かけの変形角が等しくなるようにするため、試験体左側に弾性バネで剛体と接合している。解析時にこの部材の応力が層せん断力に影響しないことは確認している。以下に各バネの諸元と算出方法を示す。

RK_引)2 階柱頭引張：高耐力フレックスホルダー 60 と座金のめり込み剛性を直列バネとして入力

RK_圧)2 階柱頭圧縮：柱のめり込み剛性から算出し入力

2K_引)2 階柱脚引張：高耐力フレックスホルダー 60

で1階柱頭と2階柱脚を接合しているため、直列バネとして入力

${}_2K_{柱}$ 2階柱脚圧縮：柱のめり込み剛性から算出し入力

${}_1K_{引}$ 1階柱脚引張：丸鋼ホールダウンの剛性を入力

${}_1K_{圧}$ 1階柱脚圧縮：柱脚金物の固定度が高いため、めり込みは生じないと考え大きい値を入力

TYPE2~4では隅柱が通し柱のため、隅柱の ${}_2K_{引}$ 、 ${}_2K_{圧}$ (2階柱脚引張・圧縮剛性)をモデル化していない。

各モデル図を図1、図2に示す。

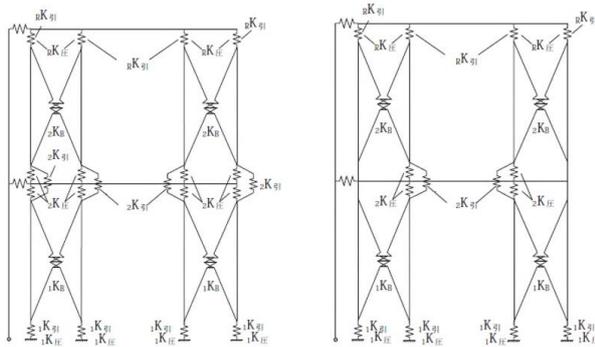


図1 モデル図
(左)TYPE1 (右)TYPE2

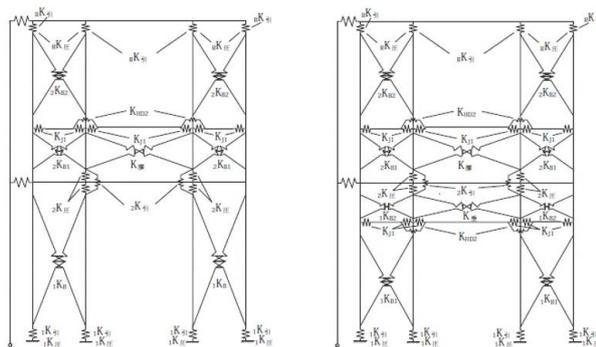


図2 モデル図
(左)TYPE3 (右)TYPE4

(2) ブレース置換に用いる復元力特性の設定

ブレースの軸剛性に復元力特性を用いることで剛性低下を考慮したモデルとする。復元力特性は1層耐力壁(1820mm幅)の実験結果を文献^[1]を用いて真のせん断変形角で包絡線の作成を行い、「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル 2016年度版」^[4]よりトリリニアの骨格曲線の作成を行った。作成した骨格曲線から読み取れる耐力を基にして910mm幅や腰壁・垂れ壁の骨格曲線を算出する。

文献^[1]の面材張り耐力要素の詳細計算法で用いる釘配列諸定数の計算より、1820mm幅、910mm幅、腰壁・垂れ壁、分割されている耐力壁(TYPE4の1層目上下部分、TYPE3,4の2層目上下部分)の釘配列をそれぞれ実験から再現して釘配列諸定数の算出を行い、それらを用いて面材張り大壁の詳細計算法により耐力壁の許容せん断耐力

を算出した。1層目と2層目では柱脚付近の釘配列が異なるため、それぞれ分けて算出している。

910mm幅では、1820mm幅の許容せん断耐力を1として耐力の比を算出した。腰壁・垂れ壁では同じ幅の1820mm幅の許容せん断耐力を、TYPE3,4に用いている分割されている耐力壁では910mm幅の1層部分・2層部分それぞれの許容せん断耐力を1として耐力の比を計算している。

SNAPで解析する際の復元力特性は木質構造物の剛性低下や耐力低下を汎用的に表現できるモデルとして木造用4折線NCLモデルを採用した。

表1 詳細計算より求めた各壁の許容せん断耐力、耐力比

	高さ H (mm)	幅 B (mm)	許容せん断耐力 Pa (kN)	Pa 耐力比
1820幅	2730	1820	27.0	-
腰壁	1000	1820	34.6	1.28
垂れ壁	610	1820	35.6	1.32
910幅 _2層目	2730	910	17.9	0.661
910幅 _1層目	2730	910	17.2	0.638
2層目_ 上	1730	910	17.7	0.991
2層目_ 下	1000	910	17.1	0.959
1層目_ 上	610	910	17.2	0.997
1層目_ 下	2120	910	17.1	0.992

表2 各壁の降伏・終局耐力

	降伏耐力 Py (kN)	終局耐力 Pu (kN)	初期剛性 K (10 ³ kN/rad)	塑性率 μ
1820 幅	30.2	51.5	32.8	3.67
腰壁	38.7	65.9	42.0	3.67
垂れ壁	39.8	67.8	43.3	3.67
910 幅 _2 層目	20.0	34.0	21.7	3.67
910 幅 _1 層目	19.3	32.8	20.9	3.67
2 層目_ 上	19.8	33.7	21.5	3.67
2 層目_ 下	19.2	32.6	20.8	3.67
1 層目_ 上	19.2	32.7	20.9	3.67
1 層目_ 下	19.1	32.5	20.8	3.67

表3 復元力特性入力値

	ブレースの 第2 剛性 K_{2B} (kN/mm)	第1 折れ点 F_c (kN)	第2 折れ点 F_y (kN)
${}_2K_B$	3.14	34.20	56.53
${}_1K_B$	3.15	31.76	54.11
$K_{腰}$	2.06	22.59	38.49
$K_{垂}$	2.70	21.48	36.60
${}_2K_{B2}$	2.37	22.53	38.39
${}_2K_{B1}$	1.84	15.03	25.60
${}_1K_{B2}$	1.85	12.37	21.07
${}_1K_{B1}$	2.47	24.02	40.93

(3) 解析モデルに用いる各バネの諸元

文献²⁾同様、耐力壁のせん断剛性とブレースの軸剛性が等価になるように置換し、X 型ブレースとしてモデル化する。

表4 耐力壁のブレース置換の剛性一覧

	高さ H (mm)	幅 B (mm)	せん断剛性 K (kN/mm)	ブレースの 軸剛性 K_B (kN/mm)
2 層目	2980	910	7.29	43.23
1 層目	2860	910	7.32	40.29

本章でモデル化する腰壁・垂れ壁は 1820mm 幅なので、1 層耐力壁の剛性を 2 倍にして算出する。

表5 腰壁・垂れ壁のブレース置換の剛性一覧

	高さ H (mm)	幅 B (mm)	せん断剛性 K (kN/mm)	ブレースの 軸剛性 K_B (kN/mm)
腰壁	1100	1820	38.21	26.40
垂れ壁	740	1820	58.46	34.47

柱頭柱脚接合部の引張要素には接合金物が作用する。接合金物の引張剛性は金物メーカーの試験成績書の値を採用する。剛性について記載が無かったものについては降伏時の荷重と変位から算出した。

表6 接合金物の剛性一覧

接合金物	剛性(kN/mm)
丸鋼ホールダウン	54.38
高耐力フレックスホールダウン 60	16.42
プルスホールダウン 40	9.54
梁受金物 TH-10	3.05

柱に圧縮力が加わると梁にめり込みが生じる。そのめり込み剛性を算出する。「木質構造基礎理論」¹⁵⁾より等変位めり込み基準式を参照した。

3. 管柱とした TYPE1 及び、通し柱とした TYPE2 の評価

以下に TYPE1 と TYPE2 の 1/300rad, 1/30rad 時の M 図と N 図を示す。

M 図のモーメントの下に括弧でせん断力を記載している。N 図は引張力をマイナス、圧縮力をプラスで表している。

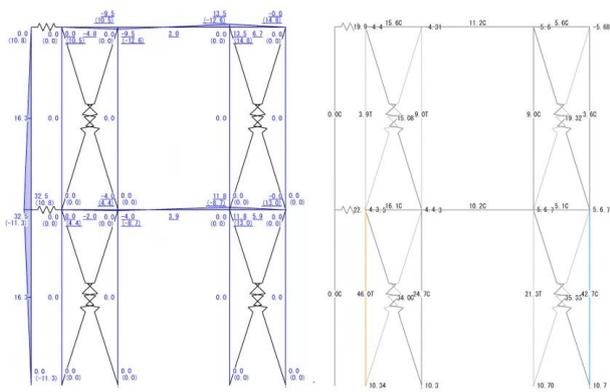


図3 TYPE1 1/300 応力図
(左)M図 (右)N図

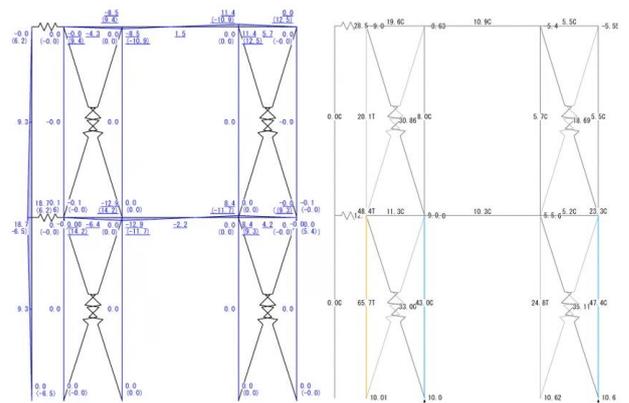


図6 TYPE2 1/300 応力図
(左)M図 (右)N図

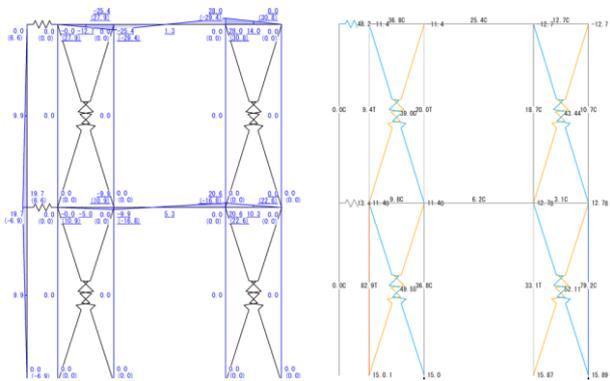


図4 TYPE1 1/100 応力図
(左)M図 (右)N図

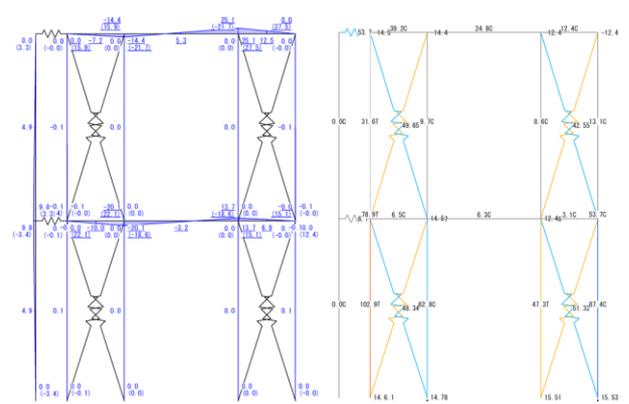


図7 TYPE2 1/100 応力図
(左)M図 (右)N図

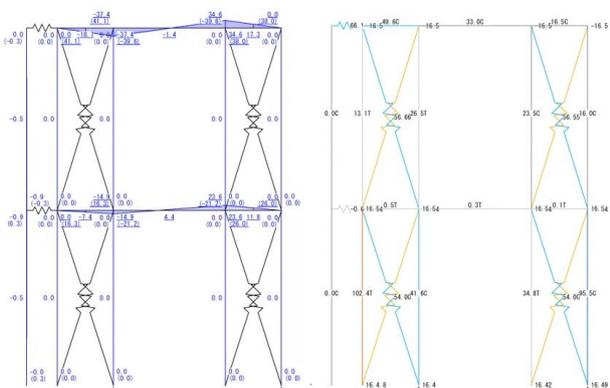


図5 TYPE1 1/30 応力図
(左)M図 (右)N図

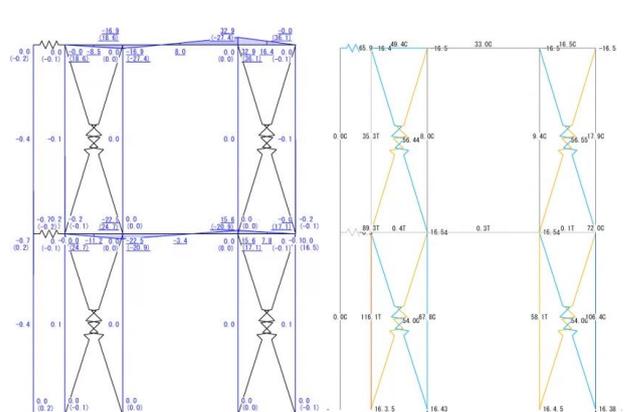


図8 TYPE2 1/30 応力図
(左)M図 (右)N図

図9,1-に実験結果と解析結果の荷重変形角曲線を示す。実線が実験，点線が解析として，青線が1層目，橙線が2層目を表す。

表7に荷重変形関係より，TYPE1,2の特定変形角時の層の負担荷重と等価剛性を示す。

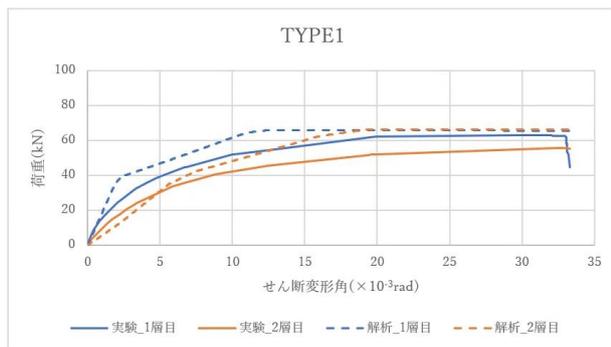


図9 TYPE1 荷重変形角関係

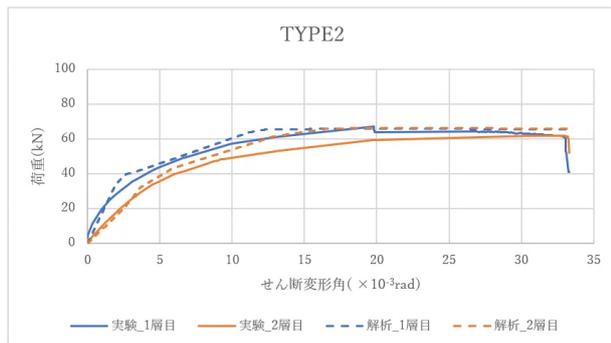


図10 TYPE2 荷重変形角関係

表7 特定変形角時の層負担荷重(kN)

TYPE1	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30	Pmax
実験	1層目 25.49	32.26	39.48	44.50	51.91	55.39	62.00	44.55	62.97
	2層目 17.89	23.94	30.45	35.57	42.21	46.11	51.98	55.24	55.54
解析	1層目 38.36	42.09	46.84	51.70	61.61	65.71	65.98	65.47	65.98
	2層目 12.65	19.91	30.93	39.18	48.20	56.08	66.15	66.09	66.34

TYPE2	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30	Pmax
実験	1層目 29.92	36.49	43.78	49.14	57.43	61.26	63.93	40.97	66.93
	2層目 19.72	27.15	35.64	41.52	49.18	53.18	59.44	52.12	61.74
解析	1層目 36.21	41.26	45.85	50.63	60.35	65.58	65.86	65.37	65.87
	2層目 17.77	28.68	38.72	45.15	53.83	61.92	66.16	65.86	66.27

特定変形角時の負担荷重を比較すると、TYPE1、1層目の1/450では約1.50倍の差が生じているが他の変形角時は約1.2倍程度におさまっている。1層目の最大耐力は約1.05倍となり実験結果とおおむね一致する。TYPE1、2層目は1/450、1/300時は実験結果を下回り、約0.80倍となっている。その他の変形角時、最大耐力は約1.20倍となっている。TYPE2、1層目は1/450時のみ1.20倍を超えるが以降は1.10倍程度におさまっている。2層目では通して1.10倍程度となり実験結果とおおむね一致する。文献²⁾よりTYPE1,2ともに1/30時付近で面材の浮き上がりや釘のパンチングにより終局耐力に達しているため1/30時は比較対象外とする。

4. 腰壁を有する TYPE3 及び腰壁・垂れ壁を有する TYPE4 の評価

以下にTYPE3とTYPE4の1/300rad、1/30rad時のM図とN図を示す。

M図のモーメントの下に括弧でせん断力を記載している。N図は引張力をマイナス、圧縮力をプラスで表して

いる。

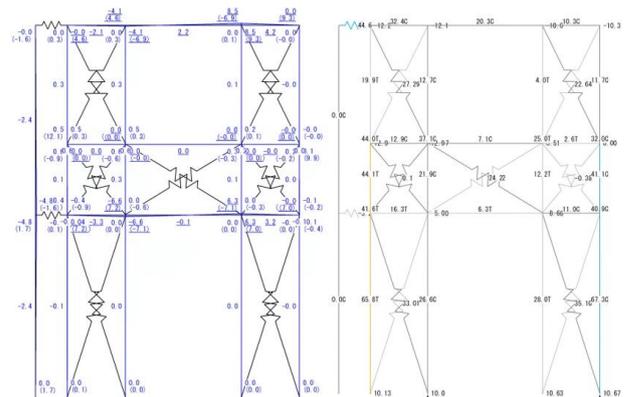


図11 TYPE3 1/300 応力図
(左)M図 (右)N図

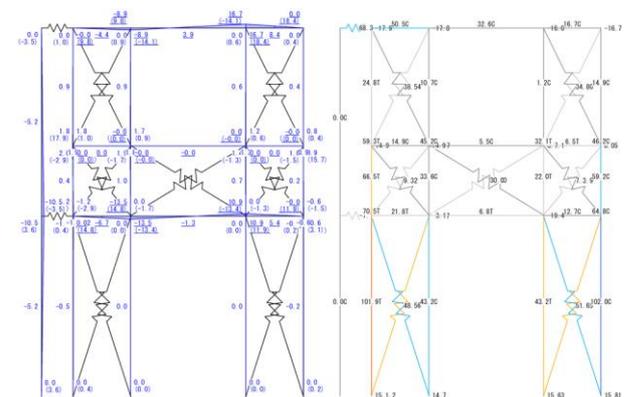


図12 TYPE3 1/100 応力図
(左)M図 (右)N図

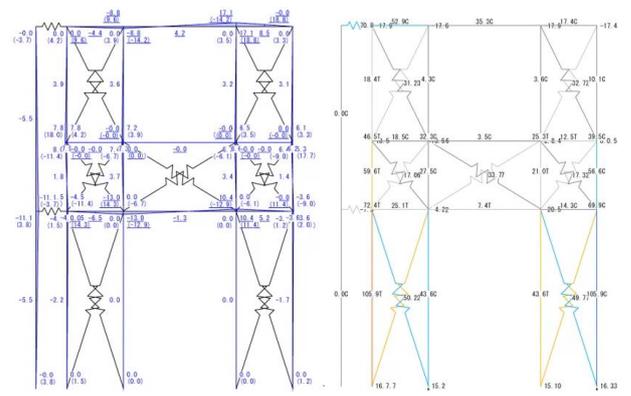


図13 TYPE3 1/30 応力図
(左)M図 (右)N図

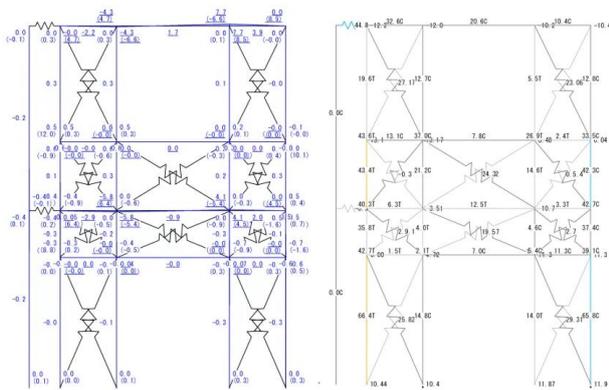


図 14 TYPE4 1/300 応力図
(左)M図 (右)N図

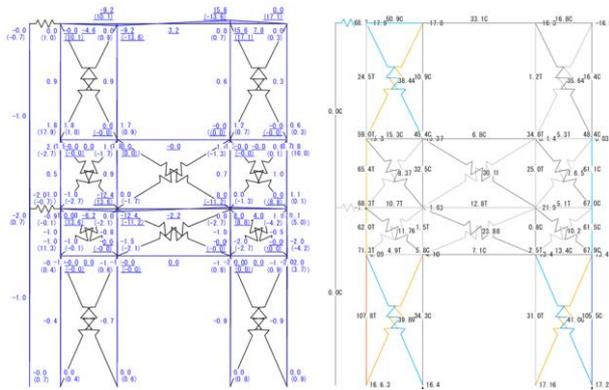


図 15 TYPE4 1/100 応力図
(左)M図 (右)N図

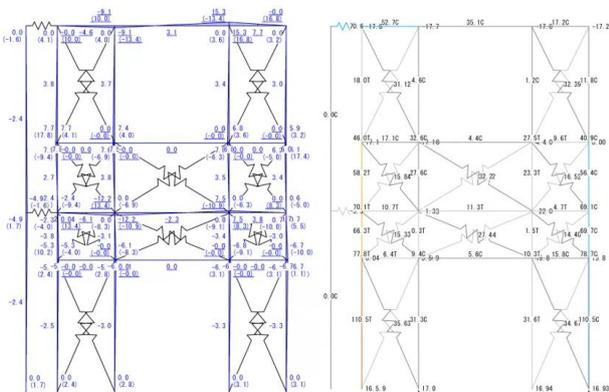


図 16 TYPE4 1/30 応力図
(左)M図 (右)N図

図 17, 18 に実験結果と解析結果の荷重変形角曲線を示す。実線が実験。点線が解析として、青線が 1 層目、橙線が 2 層目を表す。

表 8 に荷重変形関係より、TYPE3,4 の特定変形角時の層の負担荷重と等価剛性を示す。

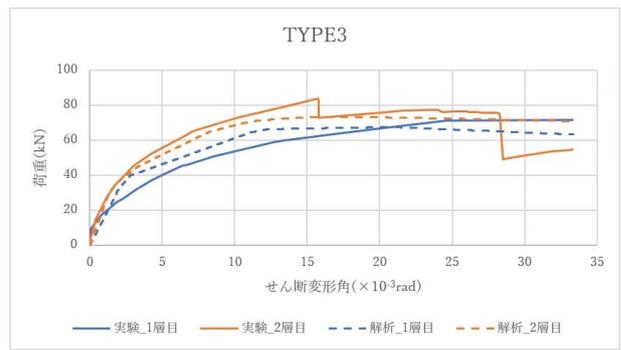


図 17 TYPE3 荷重変形角関係

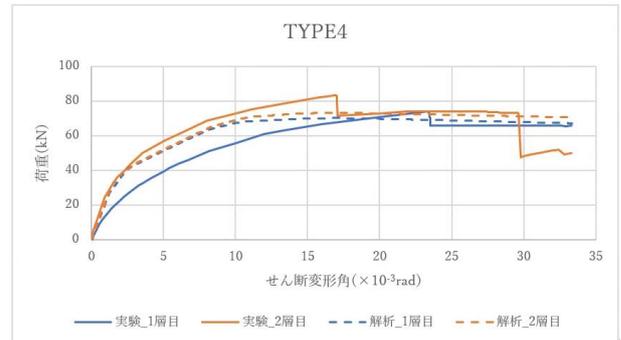


図 18 TYPE4 荷重変形角関係

表 8 特定変形角時の層負担荷重(kN)

TYPE3	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30	Pmax
実験	1層目	26.48	32.54	39.98	46.00	53.57	59.65	66.55	71.72
	2層目	19.72	47.20	55.71	63.08	72.94	79.04	75.75	83.72
解析	1層目	34.29	41.35	46.28	51.21	61.16	66.48	67.42	67.43
	2層目	38.16	44.87	51.73	58.44	68.55	72.27	73.10	73.40

TYPE4	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30	Pmax
実験	1層目	24.46	31.39	39.32	46.06	55.79	62.93	70.66	65.69
	2層目	39.51	48.45	56.57	63.47	72.94	78.47	72.96	49.98
解析	1層目	38.11	44.49	51.34	57.83	67.34	69.24	69.75	67.24
	2層目	38.73	45.09	51.91	58.63	68.96	72.21	72.82	70.56

特定変形角時の負担荷重を比較すると、TYPE3, 1 層目の 1/450 と 1/300 時では約 1.30 倍の差が生じているが他の変形角時は約 1.1 倍程度におさまっている。1 層目の最大耐力は約 0.94 倍となり実験結果とおおむね一致する。TYPE3, 2 層目は 1/450, では約 2.0 倍となっているが、他の変形角時、最大耐力は約 0.95 倍程度となり実験結果とほぼ一致する。ただし、1/30 時では約 1.30 倍の差はあるが実験では文献²⁾より 2 階柱が折れているので比較の対象外とする。

TYPE4, 1 層目では 1/450 時では約 1.60 倍の差はあるが変形角が進むにつれて差が縮まっている。2 層目では、1/30 時は TYPE3 同様に比較対象から除くと約 0.95 倍となり実験結果にはほぼ一致する。

5. まとめ

本研究では、2層フレーム耐力壁のモデル化に加え、腰壁・垂れ壁による耐力への影響を検証した。1層耐力壁の実験結果を真のせん断変形角で評価し、接合部までモデル化する方法を示した。実験結果の比較ではすべてのTYPEで概ね実験結果と一致することを確認した。

また、腰壁・垂れ壁による耐力の影響も解析によって確認することができた。

謝辞：研究を進めるにあたり、多くの方々のご指導、ご協力をいただきまして深く感謝いたします。特に、主査の宮田雄二郎准教授には、本研究の計画、解析に至るまで手厚いご指導をいただきました。

参考文献

- 1) 木造軸組工法住宅の許容応力度計算① (2017年度) . 公益財団法人日本住宅・木材技術センター.
- 2) 森嵩司, 劉行: 面材耐力壁を用いた在来軸組工法 2層フレームの構造実験—梁の曲げ戻し効果および雑壁効果の検証—
- 3) 森嵩司: 在来軸組工法 4層フレームの設計法に関する研究
- 4) CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル 2016年度版. 公益財団法人日本住宅・木材技術センター.
- 5) 木質構造基礎理論. 日本建築学会.