

## 第4章 接合部簡易化に関する検討

#### 4.1 検討方法

接合部簡易化の基本方針として、3.2 節で対象とした鉛直架構のうち引張接合部を市販の木造住宅用金物を用いて構成することとする。既往の検討結果を参照して接合金物を選定し、当該金物を用いた引張接合部の応力変形関係を推定する。それに基づいて3.2.1 項と同様の方法でいくつかの鉛直架構について許容水平耐力を求め、引張接合部に木造住宅用金物を用いる場合の耐震性能を概観する。

#### 4.2 既往実験結果に基づく接合部性能評価

文献1)では、市販の木造住宅用金物を用いた CLT 壁パネル引張接合部の要素実験(以下「既往実験」)が実施されている。ここでは、その実験結果の中から、本事業で想定する接合部の簡易化に適すると考えられるものを選定して、それらの設計用性能を評価する。

図 4.2.1 に既往実験における試験体の構成、図 4.2.2 に使用した金物を示す。金物はすべて BX カネシン株式会社の製品としている。CLT 壁パネルと土台の仕様は下記の通りである。

CLT 壁パネル S60A-3-3(105mm 厚、スギ)

土台 105mm 角(ヒノキ製材)、105×180mm(オウシュウアカマツ集成材)

各試験体の荷重変形関係、破壊性状および設計用構造性能評価結果を図 4.2.3 に示す。設計用構造性能として、初期剛性 $K$ は平均値、降伏耐力 $P_y$ (= 短期許容耐力)と終局耐力 $P_u$ は 50%下限値とし、終局変形 $d_u$ は最小値を採用している。 $d_u$ 到達後の劣化勾配は実験結果の下限相当するように設定した。

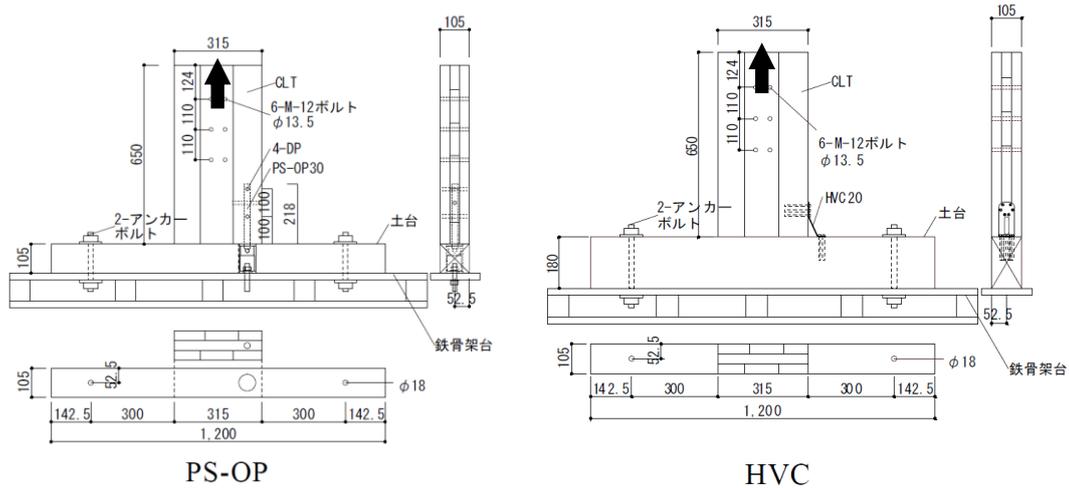


図 4.2.1 引張要素実験試験体

1) ドット・コーポレーション、京大生存圏研究所:住宅用金物等を利用した2階建てCLT建物の地震時挙動に関する実験【住宅金物CLT事業】報告書、令和4年度建築用木材供給・利用強化対策のうちCLT・LVL等の建築物への利用環境整備事業、CLT・LVL等を活用した建築物の低コスト化・検証等、令和5年4月

PS-OP (試験体 PS-OP)

HCV20(試験体 HCV)

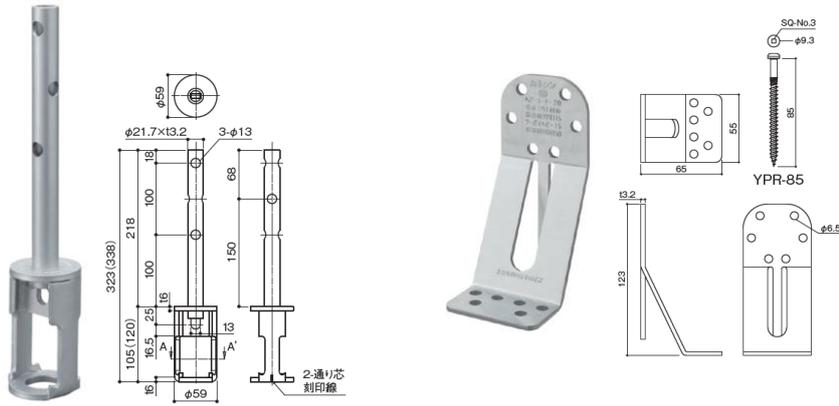
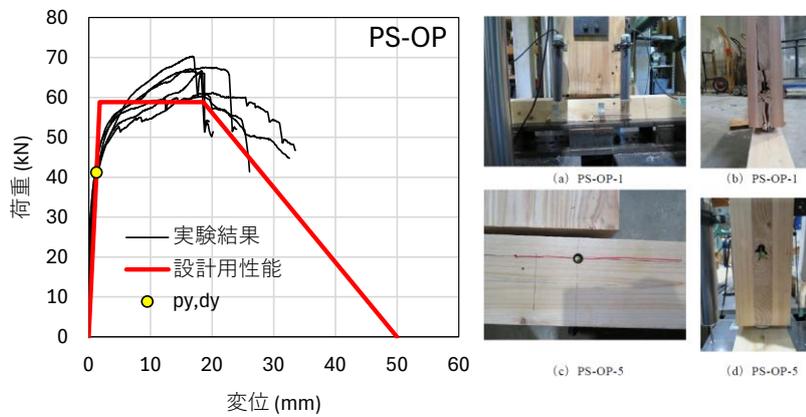


図 4.2.2 引張要素実験に使用した接合金物



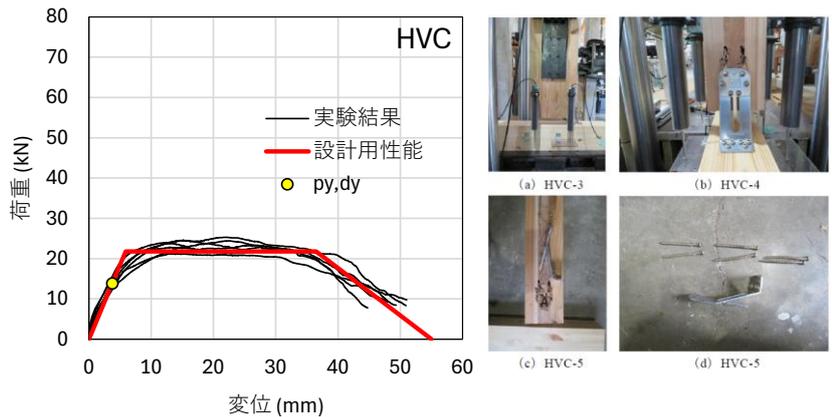
項目	#1	#2	#3	#4	#5	#6	ave	SD	cov	min	5%LL	50%LL
dy (mm)	1.38	0.78	1.83	1.28	1.45	1.43	1.36	0.31	0.230	0.78	0.63	1.27
py (kN)	44.31	38.09	44.00	39.91	40.41	45.54	42.04	2.71	0.064	38.09	35.72	41.24
dv (mm)	1.93	1.11	2.63	1.84	2.25	1.85	1.94	0.46	0.239	1.11	0.86	1.80
du (mm)	18.88	30.21	23.20	32.20	18.60	24.98	24.68	5.17	0.209	18.60	12.61	23.14
pu (kN)	61.78	54.54	63.22	57.26	62.80	58.92	59.75	3.15	0.053	54.54	52.39	58.82
K (kN/mm)	32.00	49.08	24.00	31.11	27.90	31.87	32.66	7.86	0.241	24.00	14.30	30.33

ave: 平均値, SD: 標準偏差, cov: 変動係数, min: 最小値  
5%LL: 5%下限値, 50%LL: 50%下限値

採用値

(a) 試験体 PS-OP

図 4.2.3 引張要素実験の結果



項目	#1	#2	#3	#4	#5	#6	ave	SD	cov	min	5%LL	50%LL
dy (mm)	2.93	3.68	3.95	4.47	3.89	4.47	3.90	0.52	0.134	2.93	2.68	3.74
py (kN)	13.21	13.86	16.20	14.79	12.73	14.23	14.17	1.13	0.079	12.73	11.54	13.84
dv (mm)	4.88	5.99	5.80	6.09	6.77	6.83	6.06	0.65	0.108	4.88	4.54	5.87
du (mm)	37.47	36.49	37.64	36.96	37.36	42.15	38.01	1.89	0.050	36.49	33.60	37.45
pu (kN)	21.99	22.57	23.78	20.16	22.15	21.77	22.07	1.07	0.049	20.16	19.56	21.75
K (kN/mm)	4.50	3.77	4.10	3.31	3.27	3.19	3.69	0.48	0.131	3.19	2.56	3.55

ave: 平均値, SD: 標準偏差, cov: 変動係数, min: 最小値  
 5%LL: 5%下限値, 50%LL: 50%下限値  
 採用値

(b) 試験体 HVC

図 4.2.3 引張要素実験の結果 (続き)

### 4.3 検討対象架構

#### 4.3.1 架構構成案

本事業で想定する、簡易化接合部を用いた架構構成を図 4.3.1 に示す。引張接合部について、集成材床組の場合は引張要素実験試験体 PS-OP と同様の鋼管挿入ドリフトピン接合とする。この接合方法はいわゆる金物工法として梁受金物との納まりも考慮した設計となっており、集成材床組との親和性が高いといえる。CLT 床版の場合も、最上部の壁-屋根引張接合部を除いて集成材床組の場合と同じ接合方法とする。この方法では、引張接合部が CLT 床パネルの隅角部に位置する場合以外は、CLT 床版の厚さ内で挿入鋼管にドリフトピンを施工できず、挿入鋼管を CLT 床パネルに固定することができないが、その点は従来の接合方法でも同様であるので、特段の問題は無いと考えられる。壁-屋根引張接合部については、挿入鋼管を CLT 屋根パネルに固定することができないこと、および必要耐力が相対的に小さいことを考慮して引張要素実験試験体 HCV と同じ接合方法とする。

壁・垂壁・腰壁上下端の水平せん断接合部については、2.3 節の試験体に適用したコ形せん断金物を用いる。垂壁左右端の鉛直せん断接合部については、周辺の部材・接合部の耐力が既往実験により下記のように確認されていることを考慮して、平 18 国交告第 611 号第 10 に規定に対応するクロスマーク金物 SP は設けないこととする。

- コ形せん断金物の引張力に対する終局耐力：57kN 程度(2023 年度実験<sup>2)</sup>)
- 集成材床組について、集成材曲げ折損後の終局せん断耐力：60kN 程度(2023 年度実験<sup>2)</sup>)
- CLT 床版について、床-床パネル間の斜め打ちビス(5 対)の終局せん断耐力：63kN 程度<sup>3)</sup>

2) 日本システム設計, 京大生存圏研究所:令和 4 年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業, CLT パネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準策定に関する検討事業報告書, 令和 6 年 2 月  
 3) 日本住宅・木材技術センター:CLT活用建築物等実証事業に係るCLT接合部強度データ集, 令和 5 年 3 月

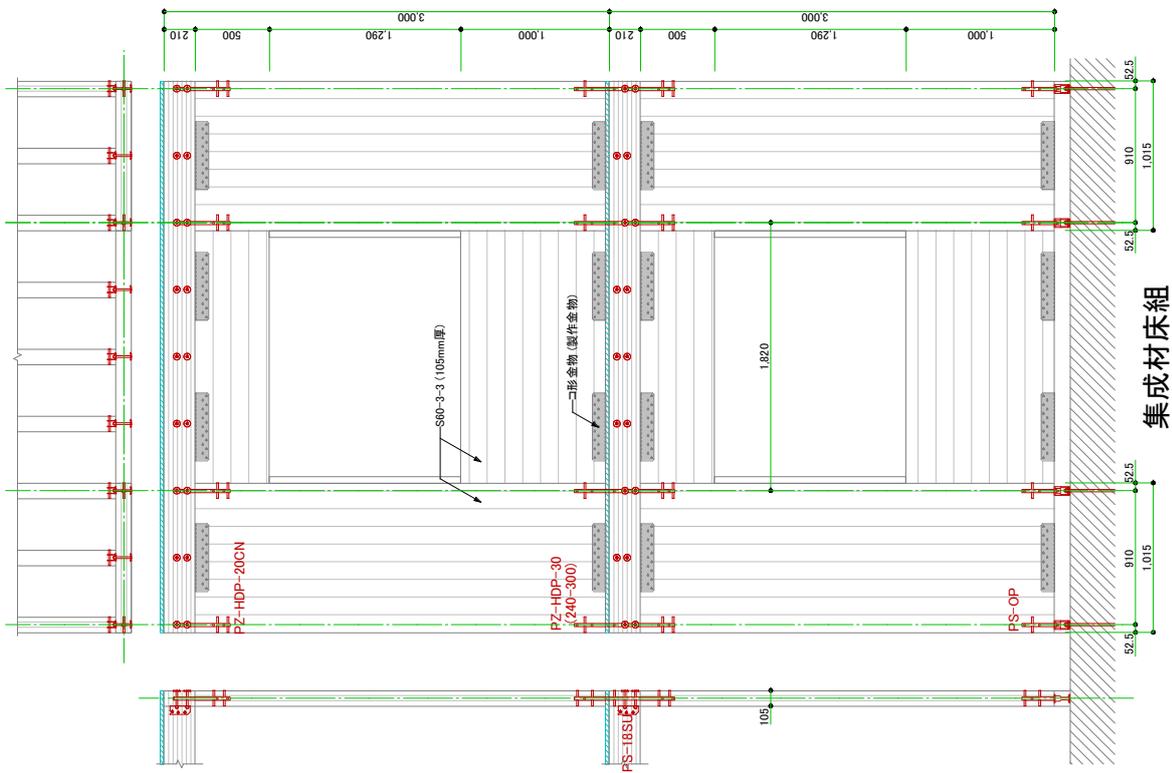


図 4.3.1 木造住宅用金物を用いた架構成案



#### 4.4 接合部の構造性能推定

4.2 節で設定した試験体接合部の設計用性能に基づいて、前節に示す接合部構成案の構造性能を推定する。なお、4.2 節で参照した既往実験の試験体仕様は本事業で想定する架構仕様と異なる部分があるため、可能な範囲でそれを考慮した補正を行う。したがって、ここで設定する設計用性能はあくまで推定値であり、正確な性能は別途実験により確認する必要がある。

ビス打ち金物 HCV20 を用いた引張接合部の応力変形関係は 4.2 節に示す試験体 HVC の設計用構造性能とする。パイプ系金物を用いた引張接合部のドリフトピン本数・CLT 厚(105, 90mm)に応じた応力変形関係は 4.2 節に示す試験体 PS-OP の設計用構造性能を基準とし、文献4)による耐力・剛性の比率に基づいて下記のように補正する。

$$\text{初期剛性} \quad K = K_{PSOP} \cdot \frac{{}_cK}{{}_cK_{PSOP}} \quad (4.4.1)$$

$$\text{終局耐力} \quad P_u = P_{u,PSOP} \cdot \frac{{}_cP_y}{{}_cP_{y,PSOP}} \quad (4.4.2)$$

$$\text{降伏変位} \quad \delta_v = \frac{P_u}{K} \quad (4.4.3)$$

$$\text{終局変位} \quad \delta_u = \delta_v + (\delta_{u,PSOP} - \delta_{v,PSOP}) \quad (4.4.4)$$

ここで、 $K_{PSOP}$ ,  $P_{u,PSOP}$  : 試験体 PS-OP の初期剛性、終局耐力

${}_cK$ ,  ${}_cP_y$  : 文献 4)による評価対象接合部の初期剛性、終局耐力

${}_cK_{PSOP}$ ,  ${}_cP_{y,PSOP}$  : 文献 4)による試験体 PS-OP の初期剛性、終局耐力

$\delta_{v,PSOP}$ ,  $\delta_{u,PSOP}$  : 試験体 PS-OP の降伏変位、終局変位

${}_cK$ ,  ${}_cP_y$ は次のように求める。

$${}_cK = n_{00} \cdot k_{00} + n_{90} \cdot k_{90} \quad (4.4.5)$$

$${}_cP_y = n_{00} \cdot p_{y00} + n_{90} \cdot p_{y90} \cdot \frac{k_{90}}{k_{00}} \quad (4.4.6)$$

ここで、 $n_{00}$ ,  $n_{90}$  : ラミナ表面打ち、ラミナ木口打ちのドリフトピン本数

$k_{00}$ ,  $p_{y00}$  : 文献 4)による表層ラミナ方向の初期剛性、終局耐力

$k_{90}$ ,  $p_{y90}$  : 全層が直交層である場合の文献 4)による初期剛性、終局耐力

$k_{90}$ ,  $p_{y90}$ は下記のように算出される。

表 4.4.1  $k_{00}$ ,  $p_{y00}$ ,  $k_{90}$ ,  $p_{y90}$ の値

tlmn mm	py00 kN	py90 kN	k00 kN/mm	k90 kN/mm
30	10.0	8.9	35.3	12.5
35	10.7	9.1	36.7	14.4

$t_{lmn}$  : ラミナ厚さ

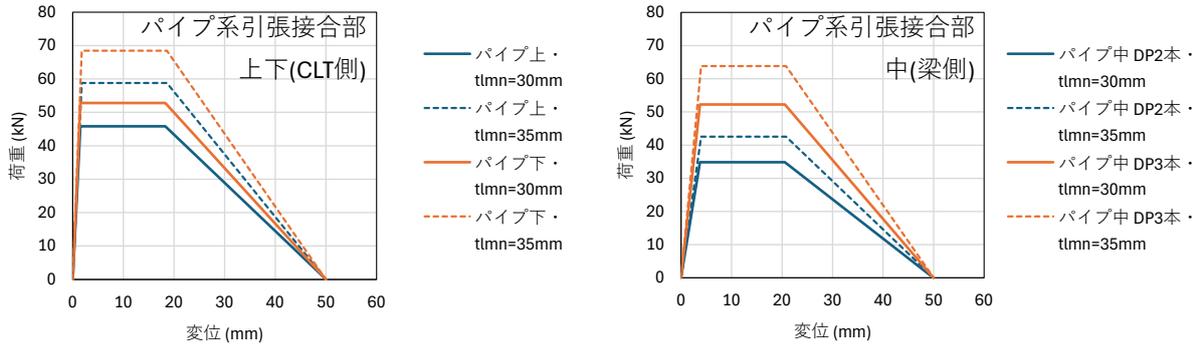
${}_cK_{PSOP}$ ,  ${}_cP_{y,PSOP}$ についても同様に算出する。 ${}_cK$ ,  ${}_cP_y$ ,  $P_y$ 比率(=  ${}_cP_y / {}_cP_{y,PSOP}$ )、 $K$ 比率(=  ${}_cK / {}_cK_{PSOP}$ )および  $P_u$ ,  $\delta_v$ ,  $\delta_u$ は表 4.4.2 のようになる。この結果に基づいて、図 4.3.2 に示すパイプ系金物を用いた引張接合部の応力変形関係を図 4.4.3 のように設定する。なお、耐力が 0 となる変位はいずれも試験体 PS-OP と同じとした。

4) 中島 昌一, 三木 徳人, 秋山 信彦, 荒木 康弘: 鋼板挿入 CLT ドリフトピン接合部の最大耐力、降伏耐力および初期剛性の推定と実験による検証, 日本建築学会構造系論文集, 86 巻, 783 号, p.793-803, 2021

表 4.4.2  $P_u$ 、 $\delta_v$ 、 $\delta_u$ の算定結果

位置	tlnn mm	n00 本	n90 本	cPy kN	cK kN/mm	Py比率	K比率	Pu kN	dv mm	du mm
パイプ上	30	2	1	24.1	83.1	0.780	0.946	45.86	1.48	18.28
	35	2	1	30.9	87.9	1.000	1.000	58.82	1.80	18.60
パイプ下	30	2	2	27.7	95.7	0.897	1.089	52.78	1.48	18.28
	35	2	2	35.9	102.3	1.164	1.164	68.45	1.80	18.60
パイプ中 DP2本	30	0	2	18.3	25.1	0.592	0.285	34.84	3.74	20.54
	35	0	2	22.3	28.8	0.723	0.327	42.53	3.98	20.78
パイプ中 DP3本	30	0	3	27.4	37.6	0.889	0.428	52.26	3.74	20.54
	35	0	3	33.5	43.2	1.085	0.491	63.79	3.98	20.78

PS-OP



パイプ上				パイプ下				パイプ中 DP2本				パイプ中 DP3本			
tlnn=30mm		tlnn=35mm													
d mm	p kN														
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.48	45.86	1.80	58.82	1.48	52.78	1.80	68.45	3.74	34.84	3.98	42.53	3.74	52.26	3.98	63.79
18.28	45.86	18.60	58.82	18.28	52.78	18.60	68.45	20.54	34.84	20.78	42.53	20.54	52.26	20.78	63.79
50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0

図 4.4.1 パイプ系金物を用いた引張接合部の応力変形関係

#### 4.5 許容水平耐力に関するケーススタディ

第 4.2 節及び第 4.3 節で設定した架構構成案・接合部構成案を対象とし、第 4.4 節で設定した接合部の推定構造性能を用いた動的 Pushover 解析及び倒壊応答解析により簡易化接合部を用いた架構の耐震性能を評価する。以下にケーススタディの解析モデルを示す。 $A_i$ 分布に基づく動的 Pushover 解析及び倒壊応答解析を行う。

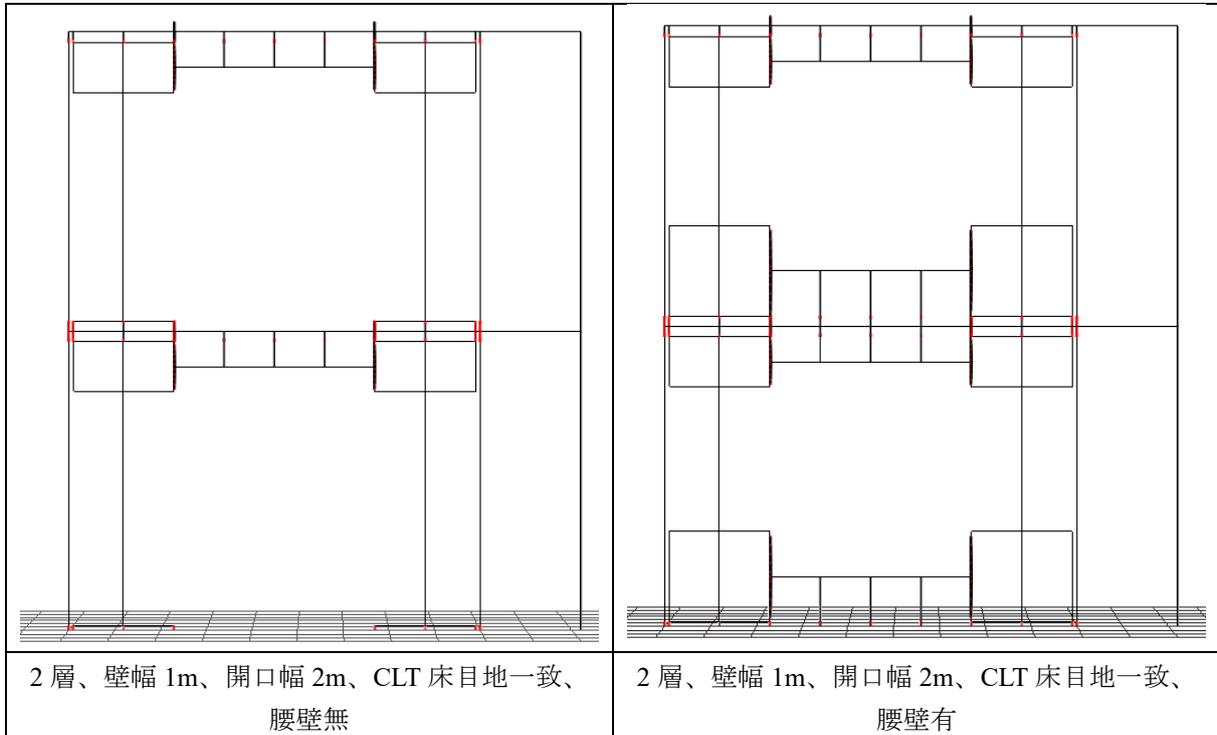


図 4.5.1 解析モデル図

以下に現行ルート 1 の許容水平耐力 $Q_{ak}$ に対する増加率 $A_q$ を示す。 $A_q = Q_a/Q_{ak}$ である。許容水平耐力 $Q_a$ は、以下のすべての条件を満足する時の 1 層層せん断力である。

- ・等価 1 自由度系の加速度 $A \leq A_y$
- ・CLT 壁パネルの応力度 $\leq$ 短期許容応力度
- ・層間変形角 $\leq 1/150$  (耐火要件が無ければ 1/120)

また、 $A_w$ は重量倍率で、総重量 $\Sigma W = Q_{ak}/0.2$ の場合を $A_w = 1.0$ とする。

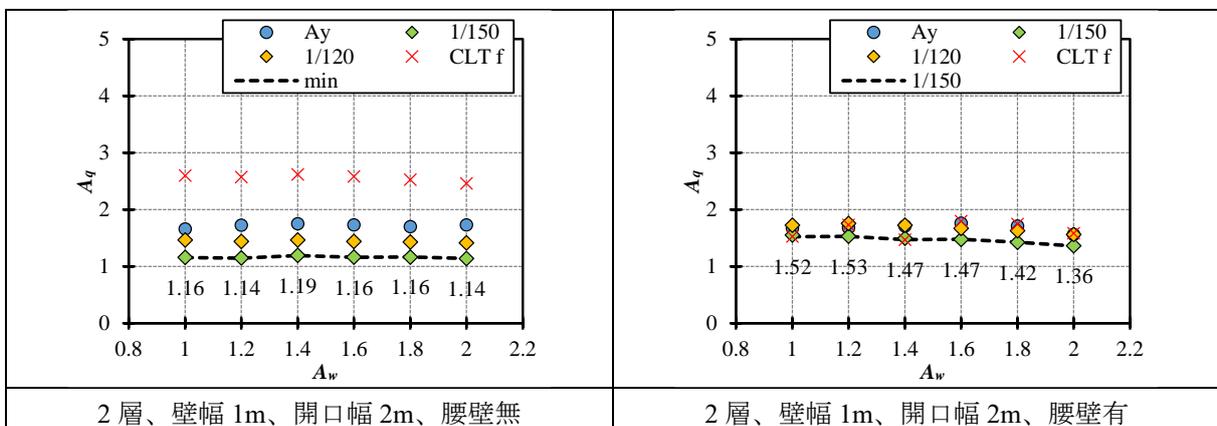


図 4.5.2 現行ルート 1 の許容水平耐力 $Q_{ak}$ に対する増加率 $A_q$

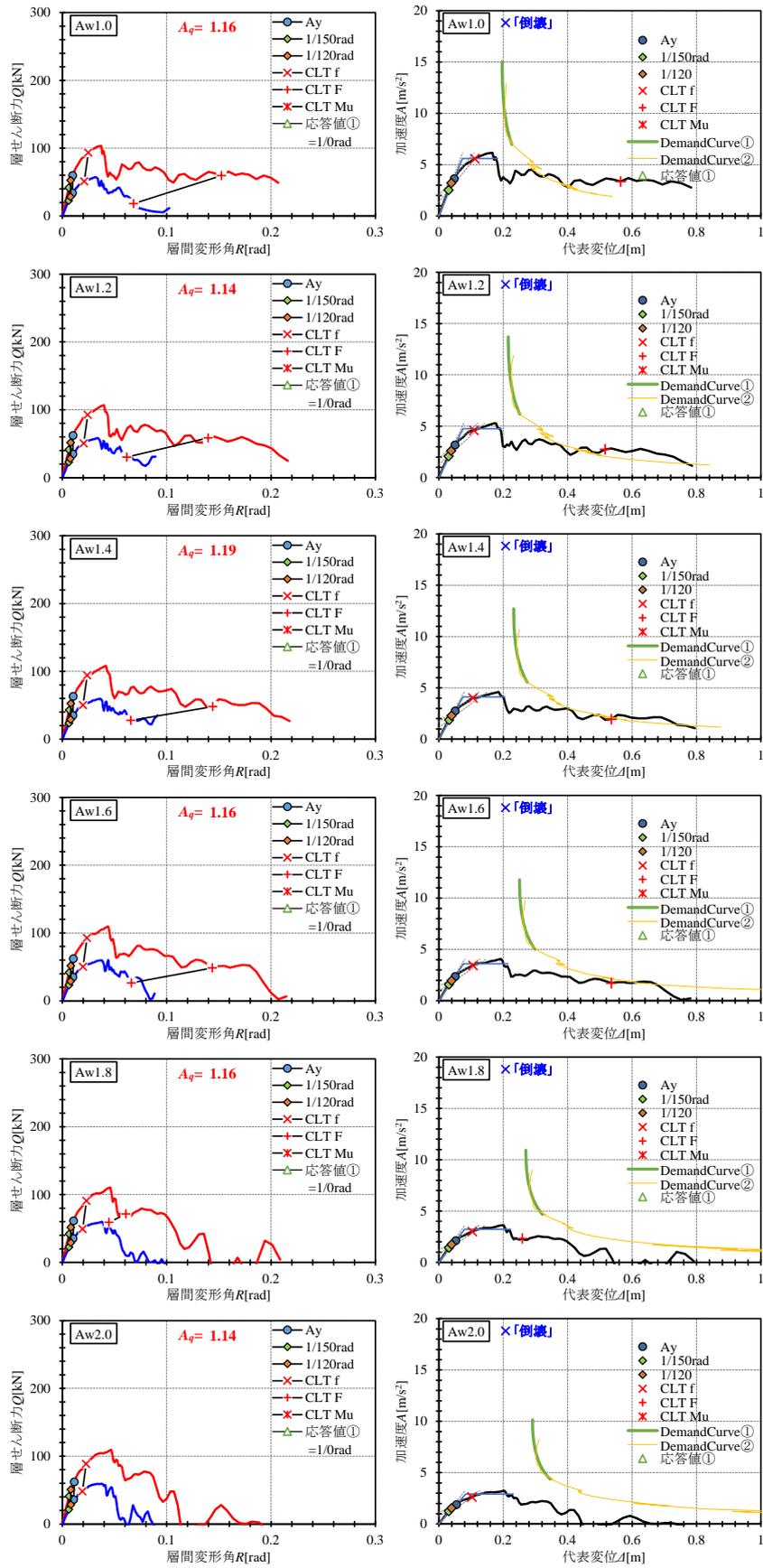


図 4.5.3 腰壁無モデルの  $Q - R$  関係・ $A - \Delta$  関係

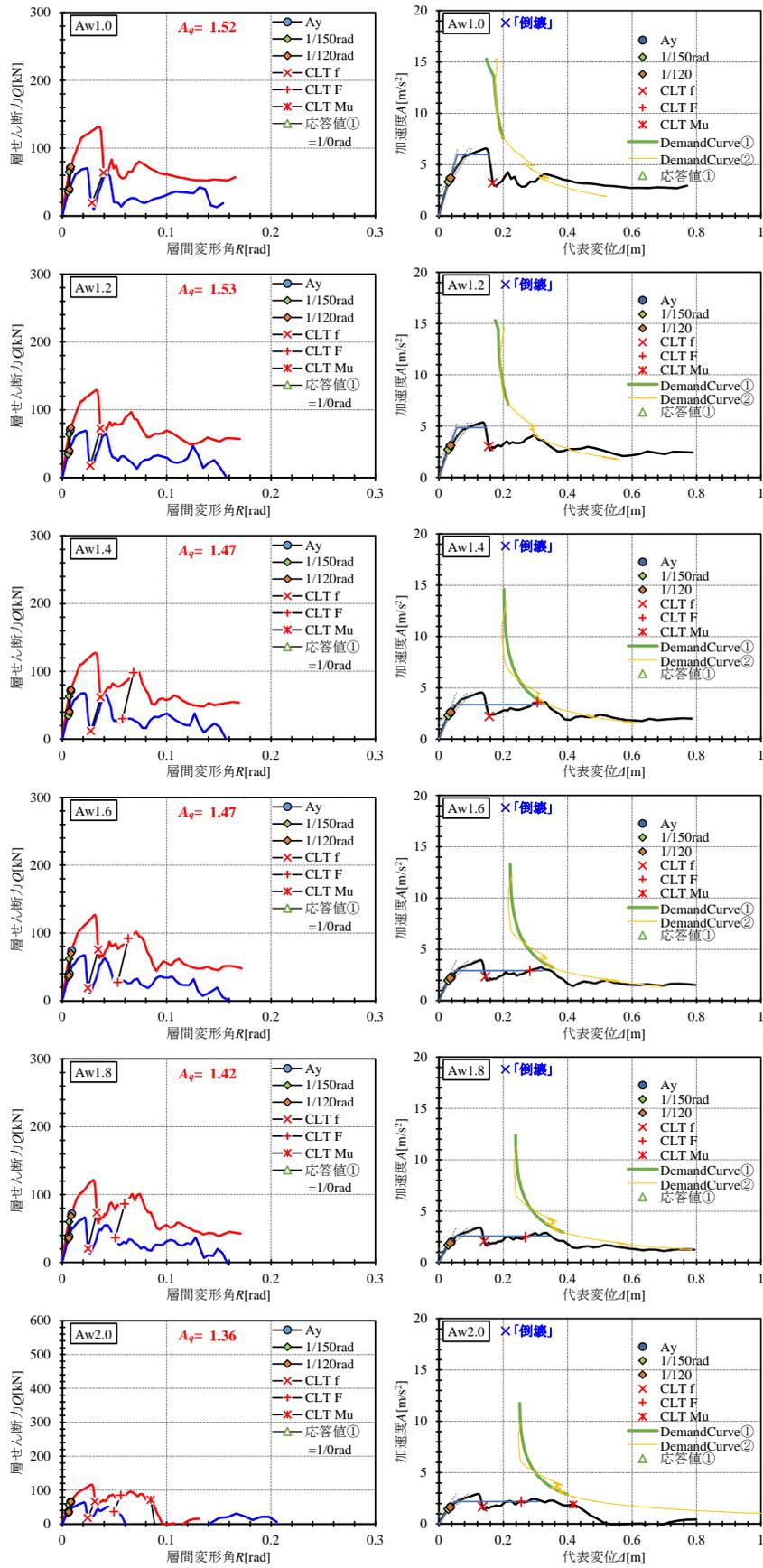


図 4.5.4 腰壁有モデルのQ-R関係・A-Δ関係

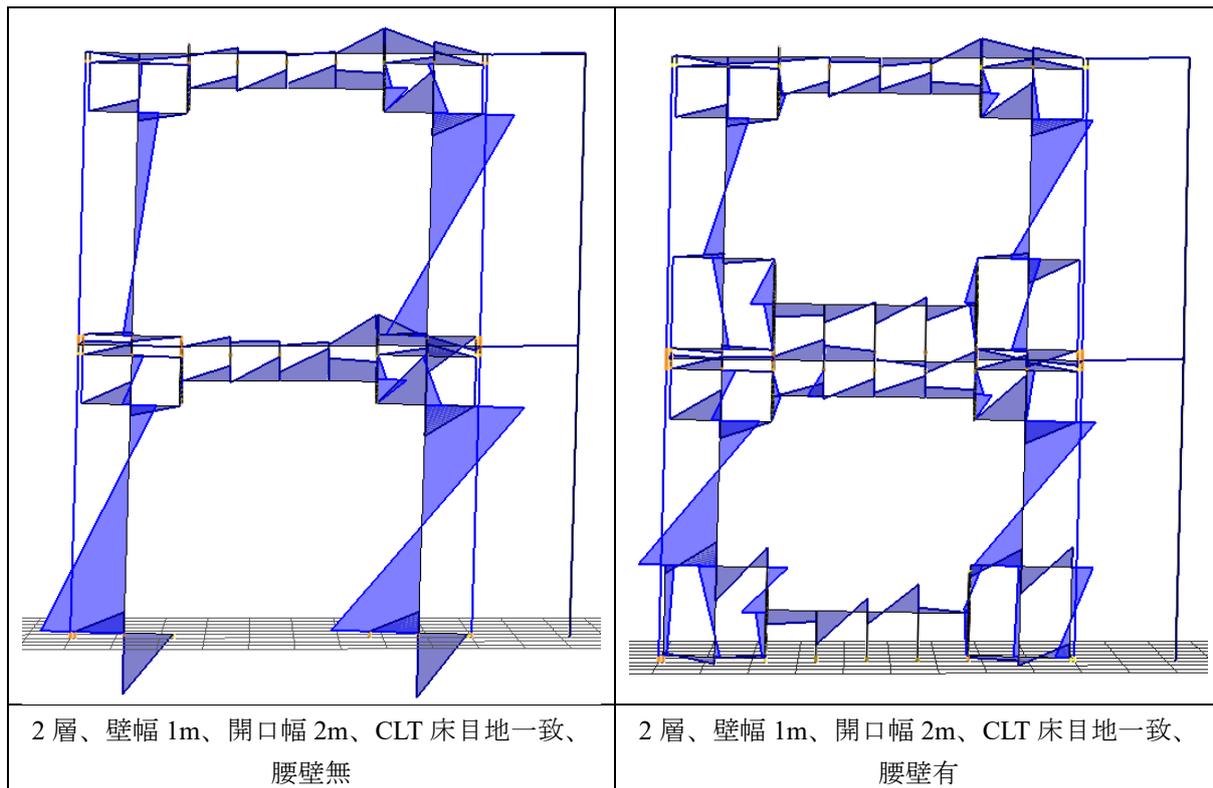


図 4.5.5 最大層せん断力時の変形図・曲げ応力図

以下に倒壊応答解析の結果を示す。入力地震動は第 3.3.1.3 項「入力波」に示すものと同様とする。動的 Pushover 解析の結果より、モデル重量は腰壁無では $A_w = 1.2$ 、腰壁有では $A_w = 1.4$ とする。

腰壁無モデルでは 10 波中 9 波、腰壁有モデルでは 10 波全波で不倒壊である。

2F\_1020\_3m\_1s\_一致\_腰無\_簡易\_Aw12

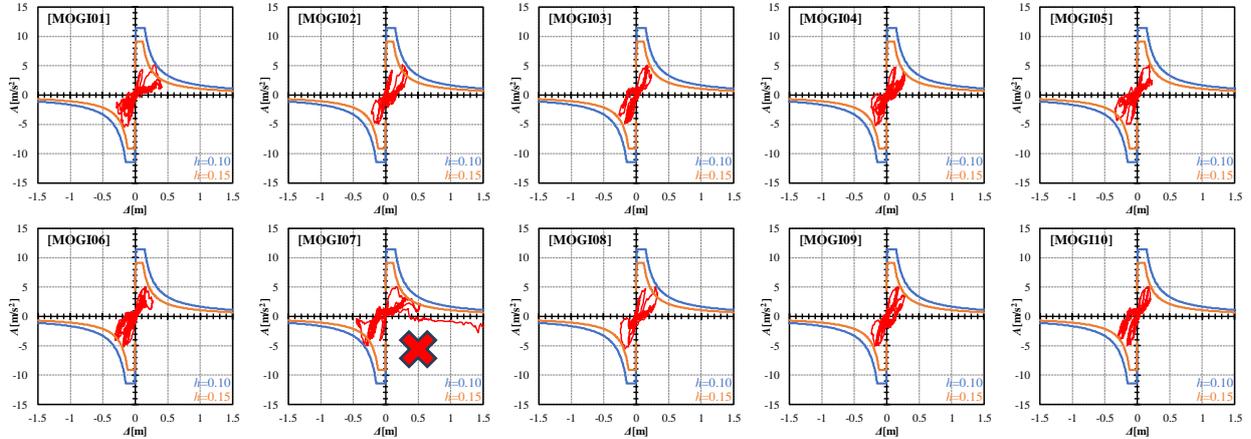


図 4.5.6 腰壁無モデルの倒壊応答解析  $A - \Delta$  関係

2F\_1020\_3m\_1s\_一致\_腰有\_簡易\_Aw14

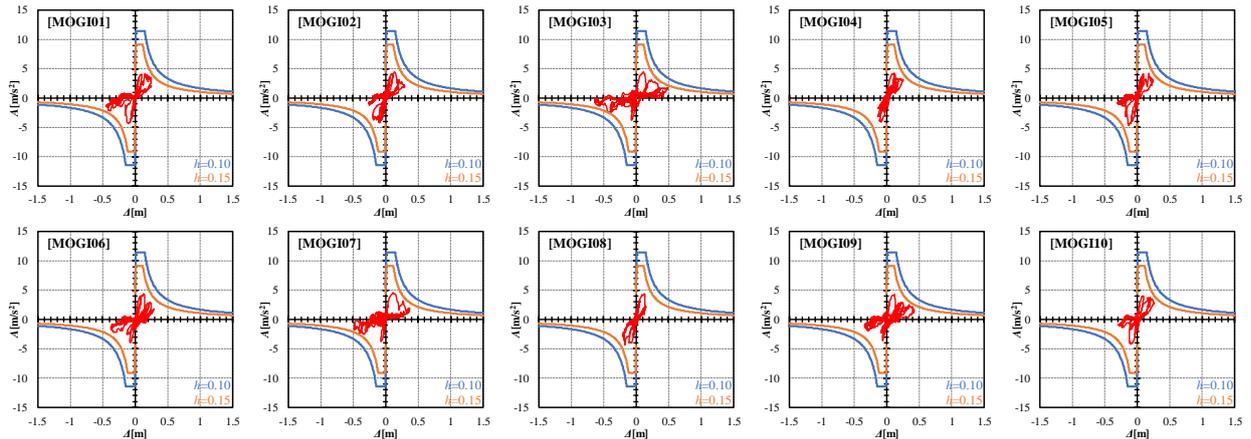


図 4.5.7 腰壁有モデルの倒壊応答解析  $A - \Delta$  関係

以上より、簡易化接合部を用いた架構において、現行ルートの許容耐力 $Q_{ak}$ と同等以上の耐力があることを確認した。解析で用いた簡易化接合部の性能は推定値であるため、正確な性能は別途実験により確認する必要がある。