

## 第5章 中層建築物に関する検討

## 5.1 検討方針

### 5.1.1 架構・接合部の設定

2023 年度報告書「第 6 章 中層建築物の部材・接合部仕様の検討」(以下、「2023 年度検討」)では、壁パネルを S90-5-5(150mm 厚)、床パネルを Mx60-7-7(210mm 厚)とした 4～6 層の中層建築物を対象として、接合部の必要性能等について検討した。その結果として、以下の点が確認された。

- 壁－基礎引張接合ボルト M24(ABR490)、壁－壁引張接合ボルト M27(ABR490)で終局耐力はほぼ満足する。
- 許容水平耐力は 2 層以上の層の層間変形角で決まり、水平剛性が不足する。  
→ 水平剛性増大が必要 → 特に壁－床－壁接合部の圧縮剛性増大が望まれる。
- CLT－金物接合部について、鋼板ビス打ち形式では接合部が大きくなりすぎる。  
→ 鋼板挿入ドリフトピン(以下、「DP」)接合等の高耐力かつコンパクトな接合部の標準化が必要

また、2023 年度垂壁－壁接合部動的加力(振動台)実験より、下記が指摘されている。

- 垂壁－壁目地と床パネル間目地が一致する場合は床パネルの跳ね上げ防止(床パネル間の面外せん断接合)が必要。

これらを踏まえて、架構・接合部の設定方針を次のように設定する。

- 架構は 2023 年度検討と同様に壁パネル・垂壁パネル・腰壁パネルで構成される小幅パネル架構とし、同じく、壁－基礎引張接合ボルトは M24(ABR490)、壁－壁引張接合ボルトは M27(ABR490)とする。
- 壁パネル－基礎接合部、壁パネル相互接合部、壁パネル－床礎接合部は原則として鋼板挿入 DP 接合とする。
- 2 層以上の水平剛性増大を目的として、床パネル内への鋼棒挿入等のめり込み抑制を考慮する。
- 床パネル間の面外せん断接合として長ビス斜め打ちを採用する。同接合部には床面内せん断耐力も期待できる。
- 各接合部の必要性能は主として 2023 年度検討の結果に基づいて設定し、保有性能は既往の性能算定式および実験結果等に基づいて推定する。

### 5.1.2 耐震性能の推定

以上の方針に基づいて設定した架構・接合部に対応する平面フレームモデルを用いた動的 Pushover を行い、中地震時の許容水平耐力、および第 3.1.1 項で述べた不倒壊判定用地震動に対して不倒壊とするための負担総重量の上限値を確認する。

## 5.2 想定する架構構成・接合部仕様

### 5.2.1 想定架構形式と接合部仕様の仮定

#### (1) 接合部の必要性能の仮定方針

接合部の必要性能は下記の設定方針とする。

- 耐力壁上下端 引張：M24, M27 (ABR490) 規格上限破断耐力  
圧縮 (壁一床一壁)、せん断：2023 年度検討による
- 垂壁・腰壁一壁 せん断：2023 年度検討による
- 垂壁・腰壁一床 せん断：クロスマーク金物 2-LST  $P_u \times \rho$ ,  $\rho = 150/90$
- 床一床面内 引張：クロスマーク金物 STF  $P_u \times \rho$   
せん断：合板スプライン  $P_u \times \rho$
- 床一床面外 せん断：Mx60-7-7 弱軸  $2F_b$  時 (実態性能として)  $Q$
- 壁一壁面内 せん断：M24 (ABR490)  $1.3F \cdot A$

#### (2) 接合部の保有性能の推定、接合部仕様の仮定

接合部の保有性能の推定は下記の方針とし、次節に接合部仕様の設定根拠を示す。

- 鋼板挿入 DP 文献1) (以下、「中島式」)、実験事例調査 (中島式の適用性確認)
- 鋼板ラグスクリュー AIJ 木規準 (対集成材として)、実験事例調査
- 床一床 長ビス斜め打ち 実験事例調査
- 垂壁・腰壁一壁 圧縮 S60-3-3 から推定 ( $\times \rho$ )
- 壁一床一壁 圧縮 実験事例調査

---

1) 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, Vol. 86, No. 783, 2021.5

図 5.2.1 に想定架構形式と対象接合部、表 5.2.1 に接合部の必要性能の仮定を示す。前項までに示した架構・接合部の設定方針に従い、架構形式は小幅パネル架構(床勝ち)、4～6 層とし、壁パネルは S90-5-5 (150mm 厚)、床パネルは Mx60-7-7(210mm 厚)とする。

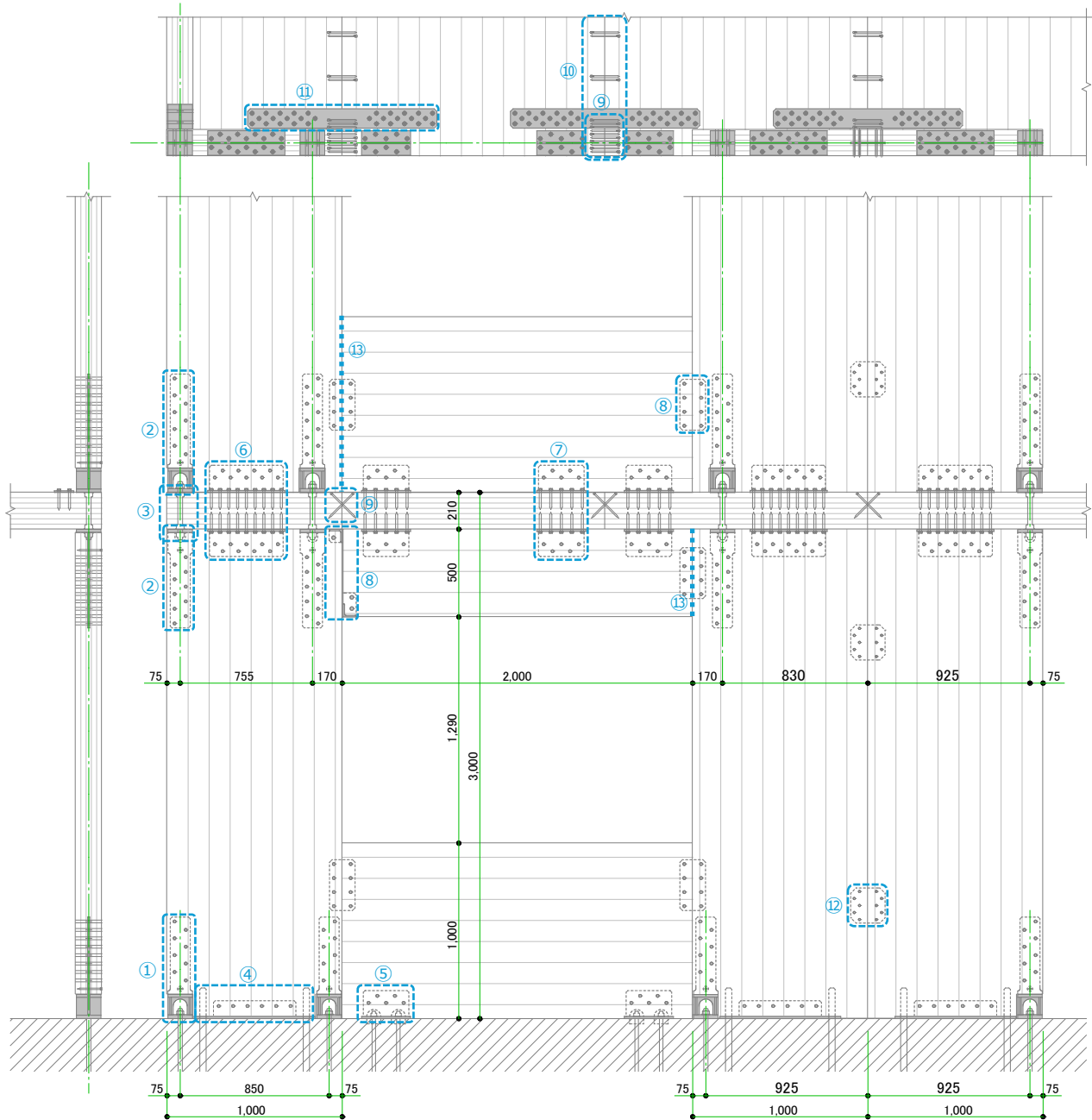


図 5.2.1 想定架構形式と対象接合部

DP:  $\phi 16$ (SS400)、ラグスクリュー:M12(打込み長さ 100mm)  
 引張ボルト: 壁-基礎 M24(ABR490)、壁-床-壁 M27(ABR490)

表 5.2.1 接合部の必要性能の仮定(目標終局耐力)、想定接合形式

接合部	目標終局耐力 $P_{u.req}$ 、想定接合形式、留意事項
① 壁-基礎引張接合部 (CLT-金物)	$P_{u.req} = 228.8\text{kN}$ (M24, ABR490 上限破断耐力) 鋼板挿入DP
② 上下壁間引張接合部 (CLT-金物)	$P_{u.req} = 295.9\text{kN}$ (M27, ABR490 上限破断耐力) 鋼板挿入DP
③ 上下壁間圧縮接合部 (壁-床-壁)	$P_{u.req}$ が不明であるため、実験事例より剛性、耐力を設定 床パネル内鋼棒挿入、接合ボルト圧縮抵抗、高剛性
④ 壁-基礎水平せん断接合部	2024実験最大応力(未破断) $P_{u.req} = 65 \times 2240 / (900 \times 3/4) = 216\text{kN}$ (B1K) $P_{u.req} = 85 \times 2240 / (900 \times 3/4) = 282\text{kN}$ (B2K) ※アンカー破断直後の水平耐力を基準として 回転角追従機能、アンカー施工誤差吸収機能
⑤ 腰壁-基礎水平せん断接合部	$P_{u.req} = 138\text{kN}$ (SB-90 $P_u \times 150/90$ ) 鋼板挿入DP、アンカー施工誤差吸収機能
⑥ 壁-床水平せん断接合部	$P_{u.req} = 250\text{kN}$ (2023解析) CLT-金物接合部: 鋼板挿入DP 床-金物接合部: ラグスクリュー
⑦ 垂壁・腰壁-床水平せん断接合部	$P_{u.req} = 150\text{kN}$ (2-LST $P_u \times 150/90$ ) CLT-金物接合部: 鋼板挿入DP 床-金物接合部: ラグスクリュー
⑧ 壁-垂壁鉛直せん断接合部	$P_{u.req} = 150\text{kN}$ (2023解析) 鋼板挿入DP 回転角追従(脱落防止)機能、⑨と協働も可
⑨ 床-床面外せん断接合部	$P_{u.req} = 120\text{kN}$ (Mx60-7-7弱軸曲げ強度時) ビス斜め打ち、回転角追従機能
⑩ 床-床面内せん断接合部	$P_{u.req} = 53\text{kN/m}$ (合板スプライン $P_u \times 150/90$ ) ビス斜め打ち
⑪ 床-床面内引張接合部	$P_{u.req} = 200\text{kN}$ (STF $P_u \times 150/90$ ) 鋼板ラグスクリュー
⑫ 左右壁間鉛直せん断	$P_{u.req} = 158\text{kN}$ (M24, ABR490, $1.3F \cdot A$ ) 鋼板挿入DP、①と同等の耐力・靱性
⑬ 垂壁・腰壁-壁圧縮	2024年度パラスタモデル検討(実施中)による耐力変形関係の耐力に150/90を乗じる。

※灰色網掛け部分は、5.3 節の解析モデルでは未使用

## 5.2.2 接合部仕様仮定の根拠

### 5.2.2.1 準備検討：接合具 1 本当たりの構造性能の推定

#### (1) 鋼板挿入 DP 接合部のせん断性能

✓ 中島式による終局せん断耐力、弾性剛性

終局せん断耐力

DP 径：16mm

表層ラミナ加力方向平行

F	258.5	N/mm <sup>2</sup>	d	16	mm	F11	2867	N	d1	2.88	mm
f1	22.4	N/mm <sup>2</sup>	t2	30	mm	F12	10752	N	d2	9.90	mm
f2	11.2	N/mm <sup>2</sup>	tslt	14	mm	F21	1434	N			
			t1	8	mm	F22	5376	N			
						My	176.5	kNmm			

表層ラミナ加力方向直交

F	258.5	N/mm <sup>2</sup>	d	16	mm	F11	1434	N	d1	2.04	mm
f1	11.2	N/mm <sup>2</sup>	t2	30	mm	F12	5376	N	d2	13.55	mm
f2	22.4	N/mm <sup>2</sup>	tslt	14	mm	F21	2867	N			
			t1	8	mm	F22	10752	N			
						My	176.5	kNmm			

ラミナ構成	py I	py III	py IV			決定	py (kN)	pu (kN)
			a	b	c			
9-9	70.2	32.4				26.2	39.3	
7-7	48.7	24.8				24.8	37.1	
5-7	59.5	26.7	31.8	25.2	26.2	26.2	39.3	
5-5	38.0	21.0				21.0	31.4	
3-3	16.5	18.6				16.5	24.7	

※ pu=1.5py

ラミナ構成	py I	py III	py IV			決定	py (kN)	pu (kN)
			a	b	c			
9-9	67.4	32.3				28.9	43.3	
7-7	56.6	28.2				28.2	42.2	
5-7	45.9	26.8	22.5	29.2	28.9	28.9	40.2	
5-5	35.1	23.0				23.0	34.5	
3-3	24.4	20.2				20.2	30.3	

※ pu=1.5py

DP 径：20mm

表層ラミナ加力方向平行

F	258.5	N/mm <sup>2</sup>	d	20	mm	F11	3584	N	d1	2.88	mm
f1	22.4	N/mm <sup>2</sup>	t2	30	mm	F12	13440	N	d2	9.90	mm
f2	11.2	N/mm <sup>2</sup>	tslt	14	mm	F21	1792	N			
			t1	8	mm	F22	6720	N			
						My	344.7	kNmm			

表層ラミナ加力方向直交

F	258.5	N/mm <sup>2</sup>	d	20	mm	F11	1792	N	d1	2.04	mm
f1	11.2	N/mm <sup>2</sup>	t2	30	mm	F12	6720	N	d2	13.55	mm
f2	22.4	N/mm <sup>2</sup>	tslt	14	mm	F21	3584	N			
			t1	8	mm	F22	13440	N			
						My	344.7	kNmm			

ラミナ構成	py I	py III	py IV			決定	py (kN)	pu (kN)
			a	b	c			
9-9	87.8	42.9				41.6	62.3	
7-7	60.9	34.7				34.7	52.0	
5-7	74.4	36.6	49.7	38.5	41.6	36.6	54.9	
5-5	47.5	30.5				30.5	45.8	
3-3	20.6	28.9				20.6	30.9	

※ pu=1.5py

ラミナ構成	py I	py III	py IV			決定	py (kN)	pu (kN)
			a	b	c			
9-9	84.2	43.1				43.1	64.7	
7-7	70.8	38.3				38.3	57.5	
5-7	57.3	36.9	35.1	46.4	44.4	36.9	55.3	
5-5	43.9	33.3				33.3	50.0	
3-3	30.5	31.9				30.5	45.7	

※ pu=1.5py

弾性剛性

DP 径：16mm

表層ラミナ加力方向平行

d	16	mm	DP径	E0	9.0	GPa	k0	43.69	N/mm <sup>3</sup>
Edp	205	GPa	DPのE	k0	43.69	N/mm <sup>3</sup>	ldp	3217	mm <sup>4</sup>
ldp	3217	mm <sup>4</sup>	DPのI	k90	12.85	N/mm <sup>3</sup>	tslt	14	mm
tslt	14	mm	スリット幅						

表層ラミナ加力方向直交

d	16	mm	DP径	E0	9.0	GPa	ラミナのE	k0	43.69	N/mm <sup>3</sup>	支圧剛性(平行)
Edp	205	GPa	DPのE	k0	43.69	N/mm <sup>3</sup>	支圧剛性(直交)	ldp	3217	mm <sup>4</sup>	DPのI
ldp	3217	mm <sup>4</sup>	DPのI	k90	12.85	N/mm <sup>3</sup>	支圧剛性(直交)	tslt	14	mm	スリット幅
tslt	14	mm	スリット幅								

ラミナ構成	3-3	5-5	5-7	7-7	9-9	
tgross	76	136	196	196	256	mm
tnet	60	76	136	120	136	mm
kave	37.20	30.08	34.25	31.73	29.23	N/mm <sup>3</sup>
β	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	
kapp	41.53	42.66	47.78	45.02	44.02	kN/mm
kdsn	16.61	17.07	19.11	18.01	17.61	kN/mm

※ 設計用剛性kdsn=0.4kapp

ラミナ構成	3-3	5-5	5-7	7-7	9-9	
tgross	76	136	196	196	256	mm
tnet	16	60	32	76	120	mm
kave	19.34	26.46	17.88	24.81	27.31	N/mm <sup>3</sup>
β	0.019	0.020	0.018	0.020	0.020	
kapp	22.45	38.69	28.97	37.20	41.70	kN/mm
kdsn	8.98	15.47	11.59	14.88	16.68	kN/mm

※ 設計用剛性kdsn=0.4kapp

DP 径：20mm

表層ラミナ加力方向平行

d	20	mm	DP径	E0	9.0	GPa	k0	36.06	N/mm <sup>3</sup>
Edp	205	GPa	DPのE	k0	36.06	N/mm <sup>3</sup>	ldp	7854	mm <sup>4</sup>
ldp	7854	mm <sup>4</sup>	DPのI	k90	10.61	N/mm <sup>3</sup>	tslt	14	mm
tslt	14	mm	スリット幅						

表層ラミナ加力方向直交

d	20	mm	DP径	E0	9.0	GPa	ラミナのE	k0	36.06	N/mm <sup>3</sup>	支圧剛性(平行)
Edp	205	GPa	DPのE	k0	36.06	N/mm <sup>3</sup>	支圧剛性(直交)	ldp	7854	mm <sup>4</sup>	DPのI
ldp	7854	mm <sup>4</sup>	DPのI	k90	10.61	N/mm <sup>3</sup>	支圧剛性(直交)	tslt	14	mm	スリット幅
tslt	14	mm	スリット幅								

ラミナ構成	3-3	5-5	5-7	7-7	9-9	
tgross	76	136	196	196	256	mm
tnet	60	76	136	120	136	mm
kave	30.70	24.83	28.27	26.19	24.13	N/mm <sup>3</sup>
β	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	
kapp	44.92	52.95	60.26	56.90	54.38	kN/mm
kdsn	17.97	21.18	24.11	22.76	21.75	kN/mm

※ 設計用剛性kdsn=0.4kapp

ラミナ構成	3-3	5-5	5-7	7-7	9-9	
tgross	76	136	196	196	256	mm
tnet	16	60	32	76	120	mm
kave	15.96	21.83	14.76	20.47	22.54	N/mm <sup>3</sup>
β	0.015	0.016	0.015	0.016	0.016	
kapp	23.78	47.62	36.98	47.30	51.56	kN/mm
kdsn	9.51	19.05	14.79	18.92	20.62	kN/mm

※ 設計用剛性kdsn=0.4kapp

- ラミナ支圧強度 $f_1$ 、 $f_2$ について、「表層ラミナ加力平行」では $f_1$ を繊維方向、 $f_2$ を繊維直交方向とし、「表層ラミナ加力直交」では $f_1$ を繊維直交方向、 $f_2$ を繊維方向とした。
- 弾性剛性を算出する際の $t_{net}$ は「加力方向ラミナの合計厚さ(スリット除く)」とした。参照文献では「平行・直交ラミナそれぞれの合計厚さの小さいほう(スリット除く)」とした。

## (2) 鋼板添えラグスクリュー接合部のせん断性能 (ラグスクリューM12、有効打込み長さ 100mm として)

### ✓ 終局せん断耐力

- 集材材に対しての AIJ 木規準<sup>2)</sup>による終局せん断耐力

d	12	mm	$\gamma$	14.51
L	100	mm	C I	1.00
F	325	MPa	C III	0.46
Fe	22.4	MPa	C IV	0.37
			C	0.37
			$p_y$	10.03 kN
			$p_u$	11.04 kN

- 次頁以降に示す実験事例<sup>3,4)</sup>による終局せん断耐力

終局せん断耐力は、①,②より $P_u \geq 15.33\text{kN/本}$ 。これにヒノキとスギの基準支圧強度の比率(22.4/19.4 = 1.155)を乗じて $P_u \geq 17.70\text{kN/本}$ 。③～⑥より、表層ラミナ繊維方向による有意な差は認められない。

- 終局せん断耐力の仮定

上記の結果より、表層ラミナ繊維方向に関わらず $P_u = 18.0\text{kN/本}$ と仮定する。

### ✓ 弾性剛性

- 実験事例<sup>3,4)</sup>による弾性剛性

弾性剛性は、①,②と③～⑥で極端に異なる。③～⑥については併記される荷重変形関係グラフから看取される剛性は下記の 1/10 程度であり、①,②の値の方が実態に近いと考えられる。ただし、これらはいずれも鋼板の変形を含んでいる。

- クロスマーク金物ビス(STS-C65)の弾性剛性に基づく類推

クロスマーク金物の弾性剛性をビス 1 本当たりに換算すると、

$$\text{STF 繊維平行 } 17.7 / 20 \times 2 = 1.77\text{kN/mm/本}$$

$$\text{STF 繊維直交 } 11.7 / 20 \times 2 = 1.17\text{kN/mm/本}$$

$$\text{2-LST } 11.9 / 18 \times 2 = 1.32\text{kN/mm/本}$$

ただし、これらも金物の弾性変形を含む。これにラグスクリューM12とビス STS-C65 の軸径の比率(12/6.5 = 1.85)を乗じて、

$$\text{表層ラミナ繊維平行 } 1.77 \times 1.85 = 3.27\text{kN/mm/本}$$

$$\text{表層ラミナ直交平行 } 1.17 \times 1.85 = 2.16\text{kN/mm/本}$$

- その他の鋼板添えビス(STS-C65)せん断接合部の実験事例に基づく類推

「参考」に示す鋼板添えビス(STS-C65)せん断接合部の実験事例では、表層ラミナ繊維方向の弾性剛性は4.0～4.5kN/mm/本程度である。ただし、これらはビス打込み時の初期張力による CLT—金物間の摩擦抵抗の影響を含む。これに上記と同様に軸径の比率を乗じれば7.4～8.3kN/mm/本となる。

- 弾性剛性の仮定

打込み時初期張力による摩擦抵抗力が接合径に比例するか否かは定かではないので、ここでは、軸径増加による剛性増大効果(1.85 - 1 = 0.85)を半分、すなわち  $1 + 0.85/2 = 1.43$  とし、上記のビス(STS-C65)の弾性剛性 4.0～4.5kN/mm/本の間値 4.25 kN/mm/本にそれを乗じた 6.0 kN/mm/本を表層ラミナ繊維方向の弾性剛性と仮定する。繊維直交方向は STF と同じ比率で低減して、 $6.0 \times 1.17 / 1.77 = 4.0$  kN/mm/本と仮定する。

2) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説, 2009年3月

3) 日本住宅・木材技術センター: 令和元年度補正林野庁補助事業, CLT 建築実証事業, 令和2年度林野庁補助事業, CLT を活用した先駆的な建築物の建設等支援事業, 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3年3月

4) 日本住宅・木材技術センター: 令和3年度補正林野庁補助事業, CLT 建築実証事業, 令和4年度林野庁補助事業, CLT を活用した先駆的な建築物の建設等支援事業, 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

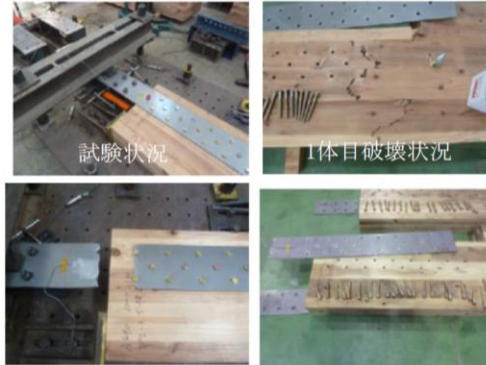
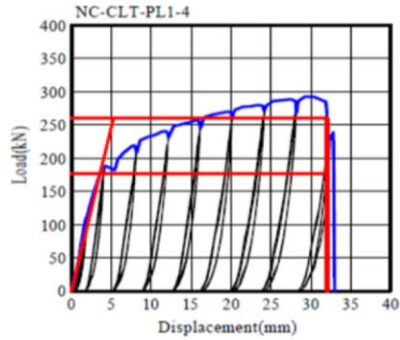
鋼板添えラグスクリューせん断接合部の実験事例<sup>3,4)</sup>

- ① R3 年度・P. 23 スギ Mx60-5-5 繊維平行、平鋼板 4.5mm、ラグスクリュー24 本

$$P_{max} = 278.5\text{kN}/24 \text{ 本} = 11.60\text{kN}/\text{本} \text{ (5\%下限値、鋼板破断)}$$

$$K = 46.0\text{kN}/\text{mm}/24 \text{ 本} = 1.92\text{kN}/\text{mm}/\text{本} \text{ (平均値、鋼板変形を含む)}$$

荷重-変位曲線/写真

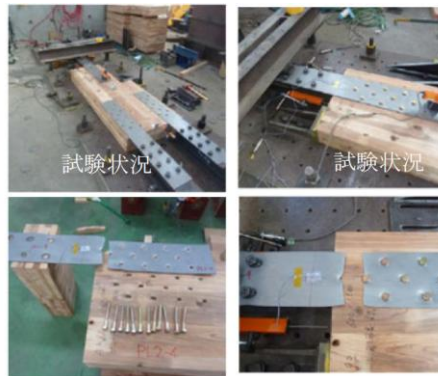
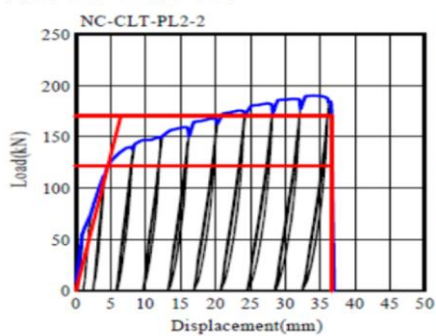


- ② R3 年度・P. 27 スギ Mx60-5-5 繊維平行、平鋼板 3.2mm、ラグスクリュー12 本

$$P_{max} = 183.9\text{kN}/12 \text{ 本} = 15.33\text{kN}/\text{本} \text{ (5\%下限値、鋼板破断)}$$

$$K = 27.6\text{kN}/\text{mm}/12 \text{ 本} = 2.30\text{kN}/\text{mm}/\text{本} \text{ (平均値、鋼板変形を含む)}$$

荷重-変位曲線/写真

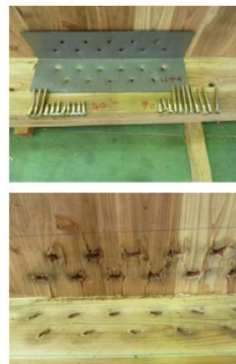
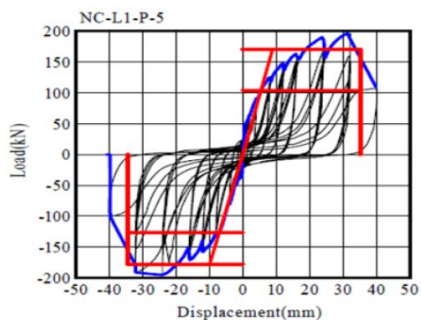


- ③ R5 年度・P. 48 壁一床(スギ Mx60-5-5 繊維平行)L 形鋼板 3.2mm、ラグスクリュー11 本/辺

$$P_u = 146.1\text{kN}/11 \text{ 本} = 13.28\text{kN}/\text{本} \text{ (5\%下限値)}$$

$$K = 191.3\text{kN}/\text{mm}/11 \text{ 本} = 17.39\text{kN}/\text{mm}/\text{本} \text{ (平均値、L 形 2 辺分、鋼板変形を含む)}$$

荷重-変位曲線/写真



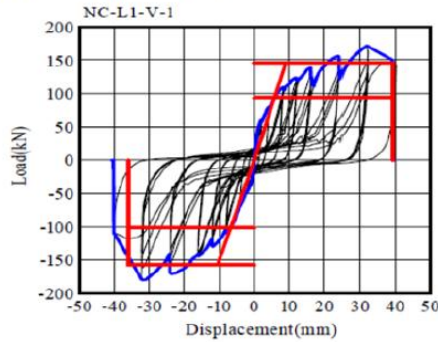


- ④ R5 年度・P. 49 壁一床(スギ Mx60-5-5 繊維直交)L 形鋼板 3.2mm、ラグスクリュー11 本/辺

$$P_u = 133.9\text{kN}/11 \text{ 本} = 12.17\text{kN}/\text{本} (5\% \text{ 下限値})$$

$$K = 204.0\text{kN}/\text{mm}/11 \text{ 本} = 18.55\text{kN}/\text{mm}/\text{本} (\text{平均値、L 形 2 辺分、鋼板変形を含む})$$

荷重-変位曲線/写真

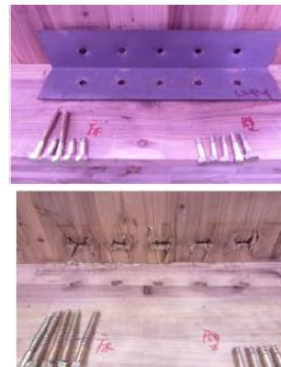
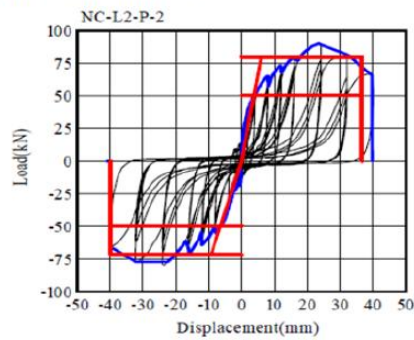


- ⑤ R5 年度・P. 50 壁一床(スギ Mx60-5-5 繊維平行)L 形鋼板 3.2mm、ラグスクリュー5 本/辺

$$P_u = 57.9\text{kN}/5 \text{ 本} = 11.58\text{kN}/\text{本} (5\% \text{ 下限値})$$

$$K = 114.1\text{kN}/\text{mm}/5 \text{ 本} = 22.82\text{kN}/\text{mm}/\text{本} (\text{平均値、L 形 2 辺分、鋼板変形を含む})$$

荷重-変位曲線/写真

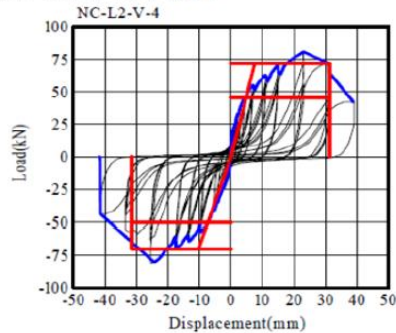


- ⑥ R5 年度・P. 51 壁一床(スギ Mx60-5-5 繊維直交)L 形鋼板 3.2mm、ラグスクリュー5 本/辺

$$P_u = 62.9\text{kN}/5 \text{ 本} = 12.58\text{kN}/\text{本} (5\% \text{ 下限値})$$

$$K = 91.3\text{kN}/\text{mm}/5 \text{ 本} = 18.26\text{kN}/\text{mm}/\text{本} (\text{平均値、L 形 2 辺分、鋼板変形を含む})$$

荷重-変位曲線/写真



### 5.2.2.2 接合部の応力変形関係の仮定

#### (1) 接合部の終局耐力・弾性剛性

① 壁－基礎引張接合部 (CLT－金物 DP 接合部)

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

- $P_{u.req} = 228.8\text{kN}$  DP  $\phi 16$   $Q_u = 31.4\text{kN/本}$   $228.8 / 31.4 = 7.29 \rightarrow \underline{8}$  本  
→ 耐力はボルト (M24, ABR490) で決まる。
- $K_{DP} = 17.07\text{kN/mm/本} \times 8 \text{ 本} = 136.6\text{kN/mm}$   
→ 初期剛性はボルト軸剛性に上記剛性を直列合成する。

別途、(2) DP 接合部の集合型せん断破壊の検定を実施する。

壁－基礎引張接合部ばねの応力変形特性は下式により設定する。なお、当該ばねをパネル隅角部に配置する場合は荷重を  $R$  倍し、変形を  $1/R$  倍する。ここで、 $R = j/D = 0.83d/D$  で、 $d$  は圧縮縁から引張接合部までの距離、 $D$  は壁幅である。壁端部から引張接合部までの距離は  $75\text{mm}$  とする。変形は、3.2 節の接合部ばね特性と同様に伸び率 8% 時、第 3 降伏点 (破断点) の変形は伸び率 15% 時としたものを設計性能とする。

$$K = (E_b \times A_{be}/L_b + K_{DP})^{-1}$$

$$P_{ud} = 1.1 \times F \times A_b$$

$$P_u = F \times \delta_u$$

$$\delta_v = 0.08 \times L_b$$

$$\delta_u = 0.15 \times L_b$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$P_{ud}$  : 設計用終局耐力 (第一屈曲点)

$P_u$  : 破断耐力 (第二屈曲点)

$\delta_v$  :  $P_u$  時変形

$\delta_u$  : 破断変形

$E_b$  : アンカーボルト弾性係数  $E_b = 205\text{kN/mm}^2$

$A_{be}$  : アンカーボルトねじ部有効断面積  $A_{be} = 353\text{mm}^2$

$L_b$  : アンカーボルト有効長さ  $L_b = 400\text{mm}$

$A_b$  : アンカーボルト軸部断面積  $A_b = 375\text{mm}^2$

$F$  : アンカーボルト基準強度  $F = 325\text{N/mm}^2$

$\sigma_u$  : アンカーボルト引張強さ  $\sigma_u = 490\text{N/mm}^2$

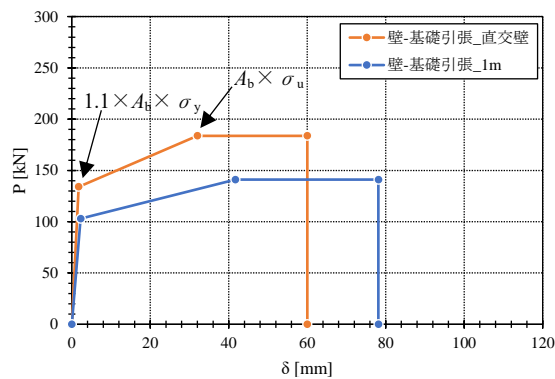


図 5.2.2 壁－基礎引張接合金物引張ばね

② 上下壁間引張接合部 (CLT-金物 DP 接合部)

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

•  $P_{u.req} = 295.9\text{kN}$  DP  $\phi 16$   $Q_u = 31.4\text{kN/本}$   $295.9 / 31.4 = 9.42 \rightarrow \underline{10 \text{本}}$

→ 耐力はボルト (M27, ABR490) で決まる。

•  $K_{DP} = 17.07\text{kN/mm/本} \times 10 \text{本} = 170.7\text{kN/mm}$

→ 初期剛性はボルト軸剛性に上記剛性を直列合成する。

別途、(2) DP 接合部の集合型せん断破壊の検定を実施する。

上下壁間引張接合部ばねの応力変形特性は下式により設定する。なお、当該ばねをパネル隅角部に配置する場合は荷重を  $R$  倍し、変形を  $1/R$  倍する。ここで、 $R = j/D = 0.83d/D$  で、 $d$  は圧縮縁から引張接合部までの距離、 $D$  は壁幅である。壁端部から引張接合部までの距離は  $75\text{mm}$  とする。

$$K = (E_b \times A_{be}/L_b + 2 \times K_{DP})^{-1}$$

壁-屋根の場合は、 $K = (E_b \times A_{be}/L_b + K_{DP})^{-1}$

$$P_{ud} = 1.1 \times F \times A_b$$

$$P_u = F \times \delta_u$$

$$\delta_v = 0.08 \times L_b$$

$$\delta_u = 0.15 \times L_b$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$P_{ud}$  : 設計用終局耐力 (第一屈曲点)

$P_u$  : 破断耐力 (第二屈曲点)

$\delta_v$  :  $P_u$  時変形

$\delta_u$  : 破断変形

$E_b$  : ボルト弾性係数  $E_b=205\text{kN/mm}^2$

$A_{be}$  : ボルトねじ部有効断面積  $A_{be}=459\text{mm}^2$

$L_b$  : ボルト有効長さ  $L_b=210\text{mm}$

$A_b$  : ボルト軸部断面積  $A_b=485\text{mm}^2$

$F$  : ボルト基準強度  $F=325\text{N/mm}^2$

$\sigma_u$  : ボルト引張強さ  $\sigma_u=490\text{N/mm}^2$

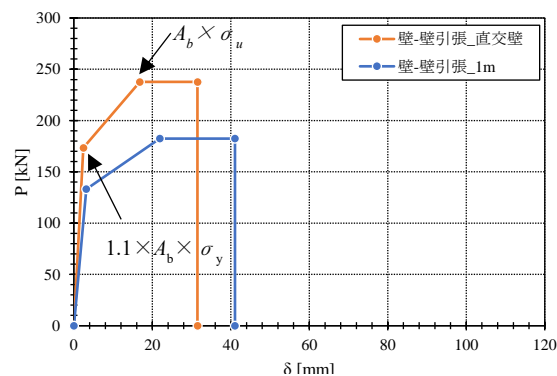


図 5.2.3 上下壁間引張接合金物引張ばね

③ 上下壁間圧縮接合部(壁一床一壁)

- 鋼棒(4-φ22, SR345)挿入型とナット挟み込み型の2種類を対象とし、それぞれ実験事例1の結果をもとに終局耐力・弾性剛性を仮定する。
- 鋼棒挿入型について、実験事例1では接合金物ベースプレートを210mm角としているが、それを150mm角とし、それに合わせて鋼棒の間隔を縮小する。その場合も終局耐力・弾性剛性は実験事例1と同じとする。

➤ 実験事例1(鋼棒挿入型)

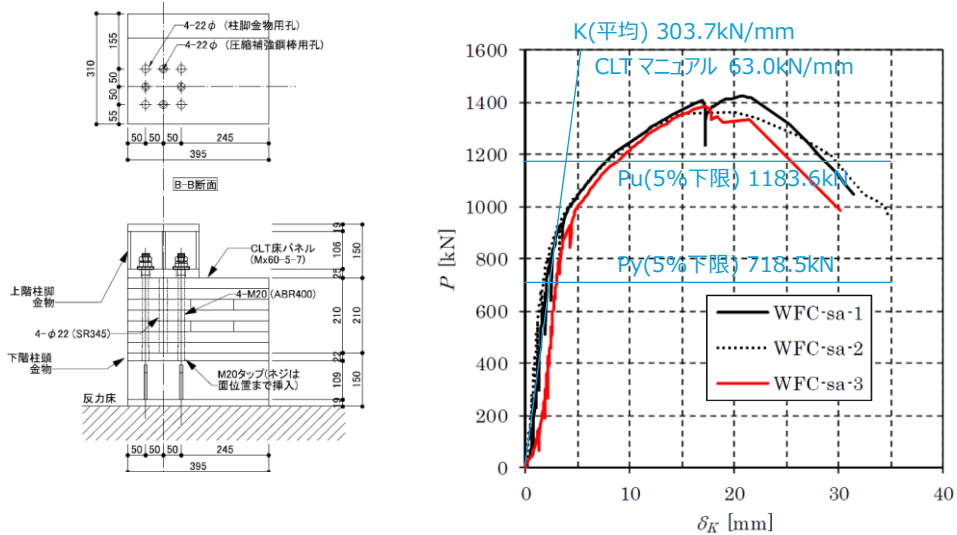


図 5.2.4 鋼棒補強壁一床一壁接合部圧縮実験

日本システム設計:平成28年度林野庁補正委託事業, CLT建築物等普及促進委託事業「CLTの接合部データ収集・分析」事業報告書, 平成29年9月

上下壁間圧縮接合部ばねの応力変形特性は上記実験事例1の初期剛性、耐力により設定する。

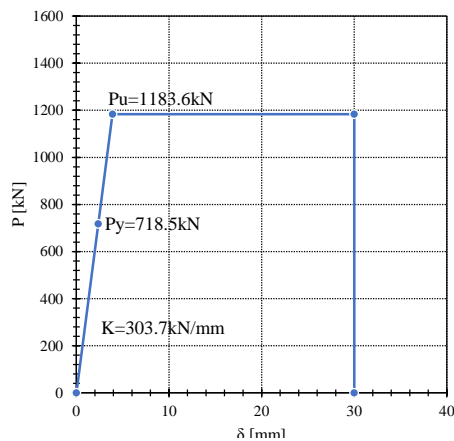


図 5.2.5 上下壁間圧縮接合部圧縮ばね

④ 壁－基礎水平せん断接合部

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

- 終局せん断耐力について

$$P_{u.req} = 250\text{kN}$$

$$\text{DP } \phi 16 \quad Q_u = 31.4\text{kN/本} \quad 250 / 31.4 = 7.96 \rightarrow \underline{8 \text{本}} \quad \text{※図 5.2.1 では 6 本}$$

$$2-\phi 24(\text{SNR490}) \quad Q_u = 490/\sqrt{3} \times 452 \times 2/1000 = 255.8\text{kN} > P_{u.req}$$

壁－基礎水平せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は下式により設定する。二次剛性及び終局せん断耐力は開き止めがあることを考慮した。なお、 $P_u$ 到達後の負勾配は、初期剛性と同じ勾配とした。

$$K = n_p \times k_y$$

$$K_2 = 0.08 \times K$$

$$P_y = n_p \times p_y$$

$$P_u = r_u \times P_y$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$K_2$  : 二次剛性

$P_y$  : 降伏耐力

$P_u$  : 終局耐力

$n_p$  : DP 本数  $n = 8$ 本

$p_y$  : DP1 本あたりの降伏荷重  $p_y = 21.0\text{kN/本}$

$r_u$  : 終局強度比  $r_u = 1.5$

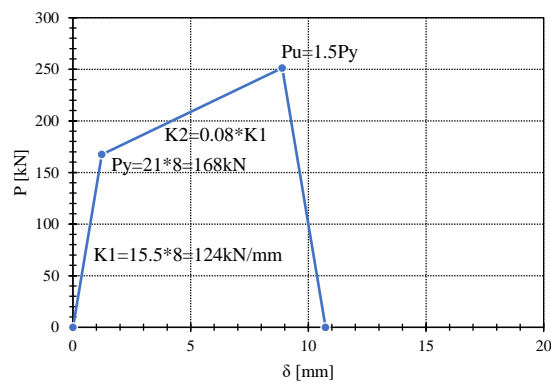


図 5.2.6 壁－基礎水平せん断接合部せん断ばね

⑤ 腰壁－基礎水平せん断接合部

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

- $P_{u.req} = 138\text{kN}$
- 鋼板挿入 DP 接合部 (表層ラミナ加力方向直交)
  - DP  $\phi 16$   $Q_u = 34.5\text{kN/本}$   $138 / 34.5 = 4.0 \rightarrow \underline{5}$ 本
  - $K = 15.47\text{kN/mm/本} \times 5 \text{本} = 77.4\text{kN/mm}$
- アンカーボルト
  - 2-M20 (ABR490)  $Q_u = 490/\sqrt{3} \times 314 \times 2/1000 = 177.7\text{kN} > P_{u.req}$

腰壁－基礎水平せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は下式により設定する。二次剛性及び終局せん断耐力は開き止めがあることを考慮した。なお、 $P_u$ 到達後の負勾配は、初期剛性と同じ勾配とした。

$$K = n_p \times k_y$$

$$K_2 = 0.08 \times K$$

$$P_y = n_p \times p_y$$

$$P_u = r_u \times P_y$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$K_2$  : 二次剛性

$P_y$  : 降伏耐力

$P_u$  : 終局耐力

$n_p$  : DP 本数  $n = 5$ 本

$p_y$  : DP1 本あたりの降伏荷重  $p_y = 23.0\text{kN/本}$

$r_u$  : 終局強度比  $r_u = 1.5$

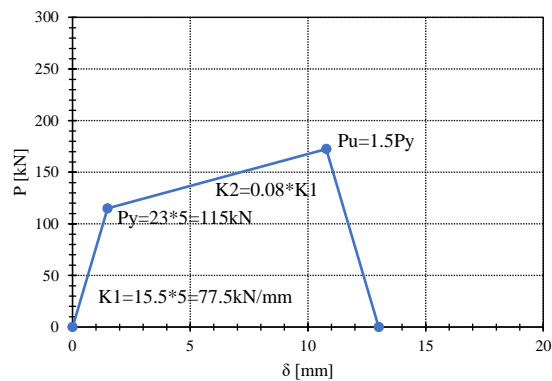


図 5.2.7 腰壁－基礎水平せん断接合部せん断ばね

⑥ 壁一床水平せん断接合部

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

- 鋼板挿入 DP 接合部 (表層ラミナ加力方向直交)

$$P_{u.req} = 250\text{kN} \quad \text{DP } \phi 16 \quad Q_u = 34.5\text{kN/本} \quad 250 / 34.5 = 7.25 \rightarrow \underline{8 \text{本}} \quad \text{※図 5.2.1 では 9 本}$$

$$K_{DP} = 15.47\text{kN/mm/本} \times 8 \text{本} = 123.8\text{kN/mm}$$

別途、(2) DP 接合部の集合型せん断破壊の検定を実施する。

ラグスクリュー接合部の本数は、次のように設定する。

- ラグスクリュー接合部

$$P_{u.req} = 250\text{kN} \quad \text{M12} \quad Q_u = 18.0\text{kN/本} \quad 250 / 18.0 = 13.9 \rightarrow \underline{14 \text{本}} \quad \text{※図 5.2.1 では 18 本}$$

$$\text{床パネル表層ラミナ繊維方向} \quad K_L = 6.0\text{kN/mm/本} \times 14 \text{本} = \underline{84.0\text{kN/mm}}$$

$$\text{床パネル表層ラミナ直交方向} \quad K_L = 4.0\text{kN/mm/本} \times 14 \text{本} = 56.0\text{kN/mm}$$

- 終局耐力は DP 接合部とラグスクリューの小さい方であるラグスクリュー、弾性剛性は DP 接合部とラグスクリューの直列合成とする。

壁一床水平せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は下式により設定する。DP 接合の二次剛性及び終局せん断耐力は開き止めがあることを考慮した。なお、DP 接合の  $P_u$  到達後の負勾配は、初期剛性と同じ勾配とした。

$$K = (K_{DP} + K_L)^{-1}$$

$$K_2 = (0.08 \times K_{DP} + K_L)^{-1}$$

$$P_y = n_p \times p_y$$

$$P_u = n_l \times p_u$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$K_2$  : 二次剛性

$P_y$  : 降伏耐力

$P_u$  : 終局耐力

$n_p$  : DP 本数  $n = 8$ 本

$n_l$  : ラグスクリュー本数  $n = 14$ 本

$p_y$  : DP1 本あたりの降伏荷重  $p_y = 23.0\text{kN/本}$

$p_u$  : ラグスクリュー1 本あたりの終局荷重  $p_u = 18.0\text{kN/本}$

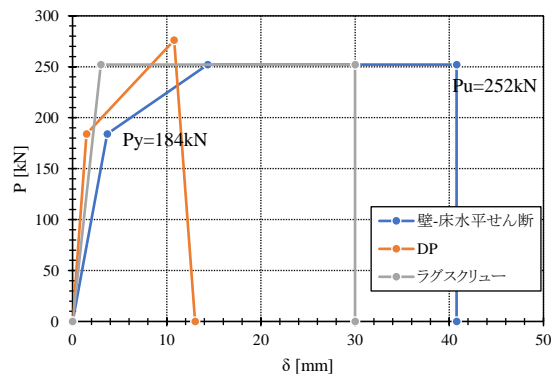


図 5.2.8 壁一床水平せん断接合部せん断ばね

⑦ 垂壁・腰壁一床水平せん断接合部

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

- 鋼板挿入 DP 接合部 (表層ラミナ加力方向直交)
- $P_{u.req} = 150\text{kN}$  DP  $\phi 16$   $Q_u = 34.5\text{kN/本}$   $150 / 34.5 = 4.35 \rightarrow 5$  本  
 $K = 15.47\text{kN/mm/本} \times 5 \text{ 本} = 77.4\text{kN/mm}$

ラグスクリュー接合部の本数は、次のように設定する。

- ラグスクリュー接合部  
 $M12$   $Q_u = 18.0\text{kN/本}$   $150 / 18.0 = 8.3 \rightarrow 10$  本  
 床パネル表層ラミナ繊維方向  $K = 6.0\text{kN/mm/本} \times 10 \text{ 本} = 60.0\text{kN/mm}$   
 床パネル表層ラミナ直交方向  $K = 4.0\text{kN/mm/本} \times 10 \text{ 本} = 40.0\text{kN/mm}$
- 終局耐力は DP 接合部とラグスクリューの小さい方である DP 接合部、弾性剛性は DP 接合部とラグスクリューの直列合成とする。

垂壁・腰壁一床水平せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は下式により設定する。DP 接合の二次剛性及び終局せん断耐力は開き止めがあることを考慮した。なお、DP 接合の  $P_u$  到達後の負勾配は、初期剛性と同じ勾配とした。

$$K = (K_{DP} + K_L)^{-1}$$

$$K_2 = (0.08 \times K_{DP} + K_L)^{-1}$$

$$P_y = n_p \times p_y$$

$$P_u = r_u \times P_y$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$K_2$  : 二次剛性

$P_y$  : 降伏耐力

$P_u$  : 終局耐力

$n_p$  : DP 本数  $n = 8$  本

$p_y$  : DP1 本あたりの降伏荷重  $p_y = 23.0\text{kN/本}$

$r_u$  : 終局強度比  $r_u = 1.5$

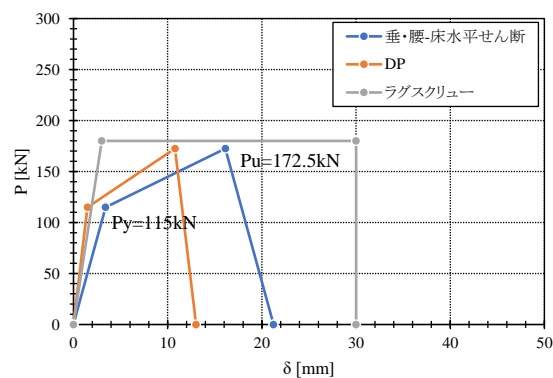


図 5.2.9 垂壁・腰壁一床水平せん断接合部せん断ばね



⑧ 壁—垂壁鉛直せん断接合部

DP 接合部の本数は、次のように設定する。

- $P_{u.req} = 150\text{kN}$

- 鋼板挿入 DP 接合部

$$\text{DP } \phi 16 \quad Q_u = 31.4\text{kN/本} \quad 150 / 31.4 = 4.78 \rightarrow \underline{5 \text{本}}$$

$$K = 15.47\text{kN/mm/本} \times 5 \text{本} = 77.4\text{kN/mm}$$

→ 偏心モーメントの影響を考慮し、同接合部の鉛直せん断力を荷重角度により補正する。

垂壁・腰壁—床水平せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は下式により設定する。DP 接合の二次剛性及び終局せん断耐力は開き止めがあることを考慮した。なお、DP 接合の  $P_u$  到達後の負勾配は、初期剛性と同じ勾配とした。

$$K = (K_{DP} + K_L)^{-1}$$

$$K_2 = (0.08 \times K_{DP} + K_L)^{-1}$$

$$P_y = n_p \times p_y$$

$$P_u = r_u \times P_y$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$K_2$  : 二次剛性

$P_y$  : 降伏耐力

$P_u$  : 終局耐力

$n_p$  : DP 本数  $n = 5$ 本

$p_y$  : DP1 本あたりの降伏荷重  $p_y = 23.0\text{kN/本}$

$r_u$  : 終局強度比  $r_u = 1.5$

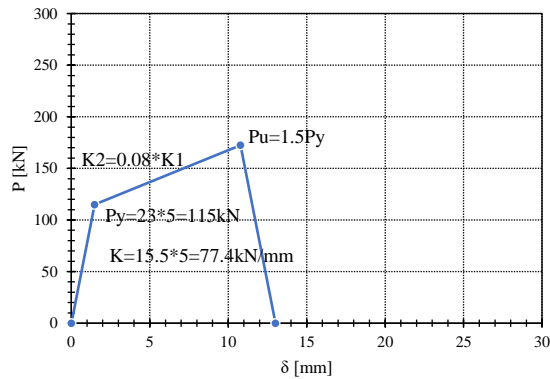
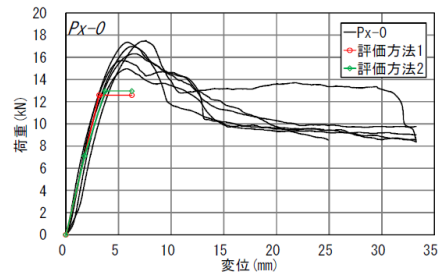
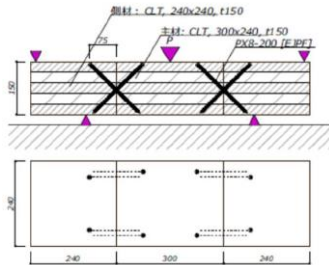


図 5.2.10 壁—垂壁鉛直せん断接合部せん断ばね

⑨ 床-床面外せん断接合部

- 床-床面外せん断接合部はビス斜め打ちの実験事例<sup>3)4)</sup>に基づいて設定する。
- 実験事例の仕様 CLT: スギ、Mx60-5-5 ビス: パネリード PX8-200

R3年度, P. 98



ビス一対当たりの性能

$P_u$  平均 14.68 COV=0.061 ばらつき係数 0.857 5%下限値 12.6kN  
 $P_{max}$  平均 16.37 COV=0.061 ばらつき係数 0.857 5%下限値 14.0kN  
 $K$  平均 3.89kN/mm

床-床面外せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は上記実験事例のビス一対あたりの初期剛性、耐力を本数倍し設定する。

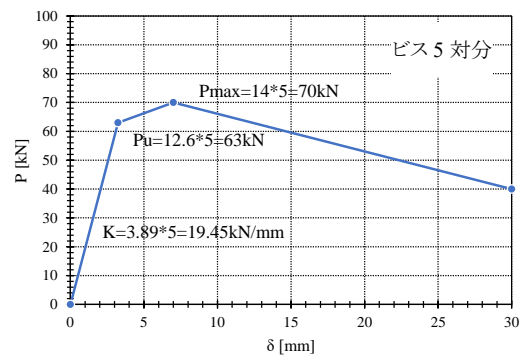
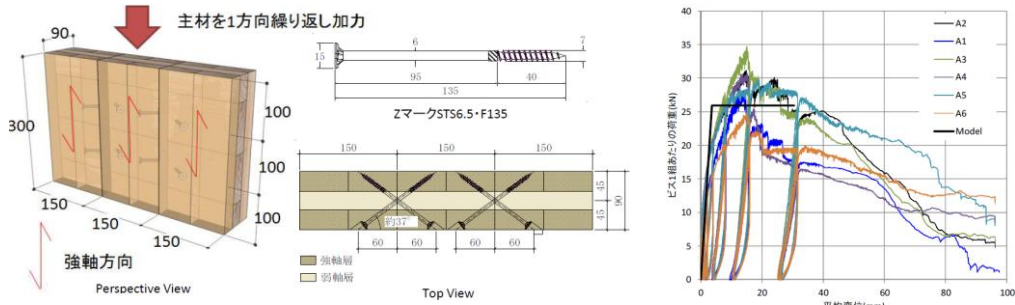


図 5.2.11 床-床面外せん断接合部せん断ばね

⑩ 床一床面内せん断接合部(解析モデルでは未使用)

- 床一床面内せん断接合部はビス斜め打ちの実験事例<sup>3),4)</sup>に基づいて設定する。
- 実験事例の仕様 CLT: スギ、Mx60-3-3   ビス: Z マーク STS6.5-F135

R3 年度, P. 73



ビス一対当たりの性能

$P_u$    平均 6.48   COV=0.12   ばらつき係数 0.720   5%下限値 4.66kN → 一対当たり 9.32kN  
 $P_{max}$    平均 7.47   COV=0.11   ばらつき係数 0.743   5%下限値 5.55kN → 一対当たり 11.10kN  
 $K$        平均 1.81kN/mm → 一対当たり 3.62kN/mm

- ビスは径・長さともに⑨より小さいが、安全側とみなして上記の値を採用する。
- CLT マニュアル掲載の合板スプライン接合のビス一対当たりの性能 ( $P_u = 2.2\text{kN}$ ,  $K = 1.1\text{kN/mm}$ ) に対して、終局耐力は 4.2 倍以上、剛性は 3.3 倍以上である。

床一床面内せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は上記実験事例のビス一対あたりの初期剛性、耐力を本数倍し設定する。

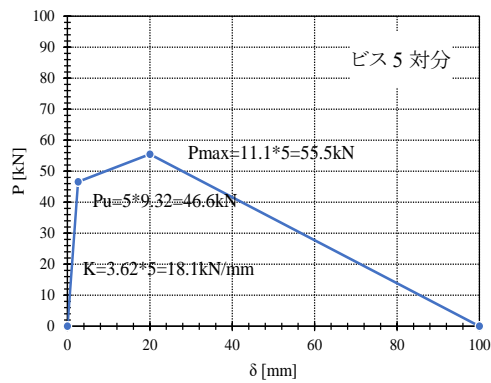


図 5.2.12 床一床面内せん断接合部せん断ばね

⑪ 床－床面内引張接合部

- $P_{u.req} = 200\text{kN}$
- ラグスクリュー接合

M12  $Q_u = 18.0\text{kN/本}$   $200 / 18.0 = 11.1 \rightarrow 12\text{本}$  ※図 5.2.1 では 15 本  
 床パネル表層ラミナ繊維方向  $K = 6.0\text{kN/mm/本} \times 12\text{本} = 72.0\text{kN/mm}$   
 床パネル表層ラミナ直交方向  $K = 4.0\text{kN/mm/本} \times 12\text{本} = 48.0\text{kN/mm}$   
 → 初期剛性は鋼板の剛性(可撓域)に上記剛性を直列合成する。

床－床引張接合部引張ばねの応力変形特性は下式により設定する。

$$K = (K_L + E_p \times A_p / L_p)^{-1}$$

$$P_u = n_l \times p_u$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$P_u$  : 破断耐力

$E_p$  : 鋼板弾性係数  $E_b = 205\text{kN/mm}^2$

$A_p$  : 鋼板有効断面積  $A_{be} = 1350\text{mm}^2$

$L_p$  : 鋼板有効長さ  $L_b = 200\text{mm}$

$n_l$  : ラグスクリュー本数  $n = 12\text{本}$

$p_u$  : ラグスクリュー1本あたりの終局荷重  $p_y = 18.0\text{kN/本}$

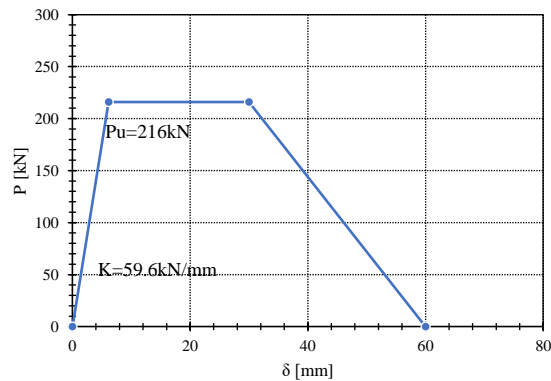


図 5.2.13 床－床面内引張接合部引張ばね

⑫ 左右壁間鉛直せん断(解析モデルでは未使用)

➤ 実験事例

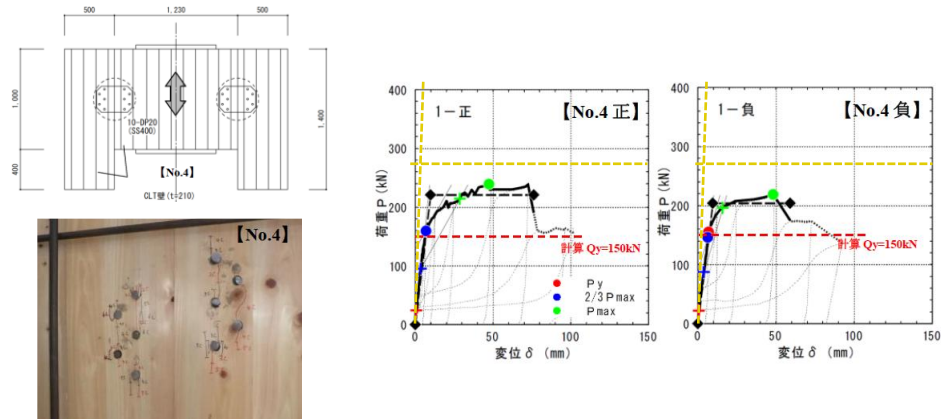


図 5.2.14 壁 CLT (210mm) 鋼板挿入ドリフトピン (φ20) 接合部せん断実験

三井, 他: 標準的な中層 CLT パネル工法を目指した接合金物の開発, その 2 引張接合部の性能確認試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2024.8

左右壁間鉛直せん断接合部せん断ばねの応力変形特性は  $Q_u$ ,  $K$  の比率を乗じたものを S90-5-5 の  $Q_u$ ,  $K$  と仮定し、設定する。

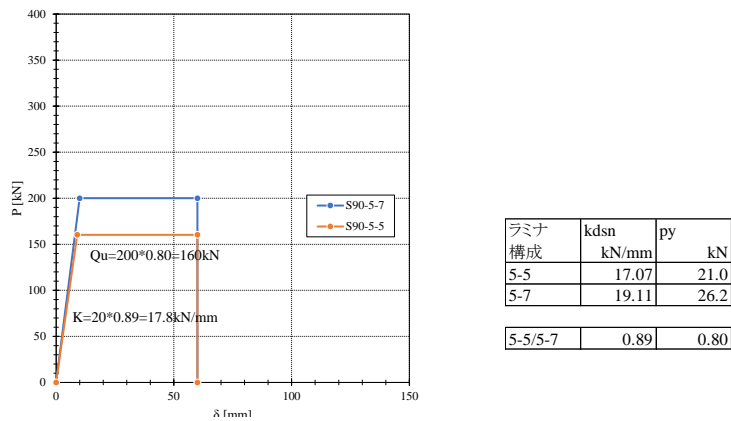


図 5.2.15 左右壁間鉛直せん断接合部せん断ばね

⑬ 垂壁・腰壁一壁圧縮接合部

- 3.2.1.2 項の接合部ばね特性で設定した耐力変形関係の耐力に CLT 壁厚の違いを補正するために 150/90 を乗じる。

垂壁・腰壁一壁圧縮接合部圧縮ばねの応力変形特性は下式により設定する。なお、当該ばねは、垂壁または腰壁のせいを 10 分割し、マルチスプリング (MS) 要素としてモデル化する。

$$K = 1.5 \times E_{90} \times E_p \times A_e / Z_0$$

$$P_y = F_{cv50} \times A_e$$

ここで、 $K$  : 初期剛性

$P_y$  : 降伏耐力

$F_{cv50}$  : 50% 下限許容限界値とした終局強度

壁一垂壁:  $F_{cv}=7.1\text{N/mm}^2$ 、壁一腰壁:  $F_{cv}=6.6\text{N/mm}^2$

$\delta_u$  : 50% 下限許容限界値とした終局変形 (耐力の劣化が始まる変形)

$\delta_{u0}$  : 50% 下限許容限界値とした最大変形 (荷重が 0 となる変形)

$A_e$  : 有効めり込み面積  $A_e = \text{パネル厚さ} \times \text{垂壁 (腰壁) せい} / 10$

$E_{90}$  : 壁パネルのラミナの繊維直交方向のヤング係数  $E_{90} = 6000 / 30 = 200\text{N/mm}^2$

$Z_0$  : 壁パネルのラミナ幅  $Z_0 = 120\text{mm}$

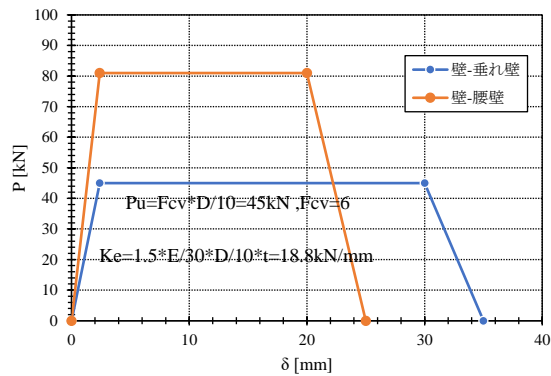


図 5.2.16 垂壁・腰壁一壁圧縮接合部圧縮ばね

## (2) DP 接合部の集合型せん断破壊の検定

終局耐力の評価において、ドリフトピンが千鳥配置される場合の集合型せん断破壊モードにおける有効せん断面積、引張断面積のとり方に関する記載がないため、本検討では論文で想定されている破壊モードのうち、最もクリティカルとなる破壊モード c) について、破断面として 2 ケースを設定する。

### ① 壁－基礎引張接合部 (CLT－金物 DP 接合部)

ドリフトピン間隔を一部 6d に変更し、せん断抵抗断面積を大きくした。

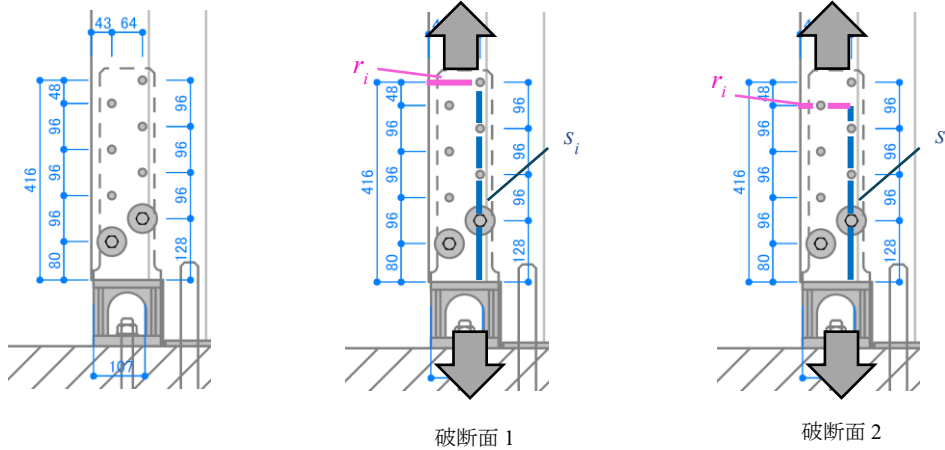


図 5.2.17 CLT 集合型せん断破壊の破断面の取り方

計算条件	単位	①		計算条件	単位	①	
		破断面1	破断面2			破断面1	破断面2
[Pug]-CLT集合型破壊		286.4	276.9				
$F_t$	N/mm <sup>2</sup>	9.22	9.22	DP径	mm	16	16
$F_s$	N/mm <sup>2</sup>	3.60	3.60	CLT厚	mm	150	150
DPCLT端空き	mm	128	128	スリット幅	mm	14	14
破壊モードa): $P_1$	kN	658.0	658.0	挿入鋼板厚	mm	12	12
せん断抵抗面長さ	mm	1344	1344	DP本数	本	8	8
せん断抵抗面厚さ	mm	136	136	せん断方向DP間隔	d	6	6
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	182784	182784	せん断方向DP間隔	mm	96	96
				引張方向DP間隔	d	4	4
破壊モードb): $P_2$	kN	389.2	389.2	引張方向DP間隔	mm	64	64
せん断抵抗面長さ	mm	672	672	クリアランス	mm	1	1
せん断抵抗面厚さ	mm	136	136	DP1本の降伏耐力Py	kN/本	21.0	21.0
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	91392	91392				
引張抵抗面長さ	mm	48	48	[Pus]-鋼板破断	kN	676.8	676.8
引張抵抗面厚さ	mm	136	136	挿入鋼板の破断強度	N/mm <sup>2</sup>	400	400
引張抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	6528	6528	DP鋼板縁あきL	mm	25	25
				DP鋼板縁あきR	mm	25	25
破壊モードc): $P_3$	kN	286.4	276.9	DP列間隔	mm	64	64
せん断抵抗面長さ	mm	352	312	DP間最短距離	mm	91	91
せん断抵抗面厚さ	mm	136	136	挿入鋼板破の最小断面積	mm <sup>2</sup>	1692	1692
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	47872	42432				
引張抵抗面長さ	mm	91	99	$F_t$	N/mm <sup>2</sup>	9.22	9.22
引張抵抗面厚さ	mm	136	136	$F_s$	N/mm <sup>2</sup>	3.60	3.60
引張抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	12376	13464	DPCLT端空き	mm	128	128

CLT の破壊荷重:  $P_{ug} = \min(P_1, P_2, P_3) = 276.9 \text{ kN} > P_{u,req} = 252.9 \text{ kN}$

挿入鋼板の破壊荷重:  $P_{us} = 676.8 \text{ kN} > P_{u,req} = 252.9 \text{ kN}$

② 上下壁間引張接合部 (CLT-金物 DP 接合部)

ドリフトピン間隔を一部 6d に変更し、せん断抵抗断面積を大きくした。

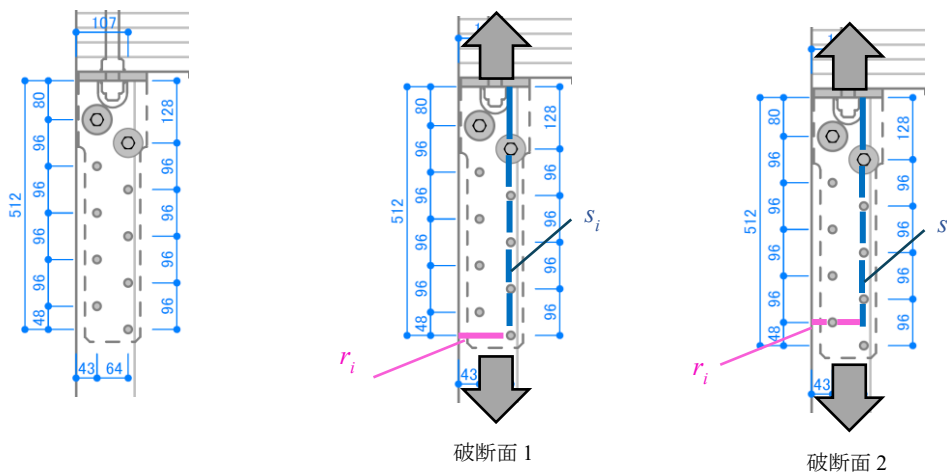


図 5.2.18 CLT 集合型せん断破壊の破断面の取り方

計算条件	単位	②		計算条件	単位	②	
		破断面1	破断面2			破断面1	破断面2
<b>【Pug】-CLT集合型破壊</b>		333.4	316.1				
$F_t$	N/mm <sup>2</sup>	9.22	9.22				
$F_s$	N/mm <sup>2</sup>	3.60	3.60				
DPCLT端空き	mm	190	190				
破壊モードa): $P_1$	kN	814.7	814.7	DP径	mm	16	16
せん断抵抗面長さ	mm	1664	1664	CLT厚	mm	150	150
せん断抵抗面厚さ	mm	136	136	スリット幅	mm	14	14
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	226304	226304	挿入鋼板厚	mm	12	12
破壊モードb): $P_2$	kN	467.5	467.5	DP本数	本	10	10
せん断抵抗面長さ	mm	832	832	せん断方向DP間隔	d	6	6
せん断抵抗面厚さ	mm	136	136	せん断方向DP間隔	mm	96	96
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	113152	113152	引張方向DP間隔	d	4	4
引張抵抗面長さ	mm	48	48	引張方向DP間隔	mm	64	64
引張抵抗面厚さ	mm	136	136	クリアランス	mm	1	1
引張抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	6528	6528	DP1本の降伏耐力Py	kN/本	21.0	21.0
破壊モードc): $P_3$	kN	333.4	316.1	<b>【Pus】-鋼板破断</b>	kN	676.8	676.8
せん断抵抗面長さ	mm	448	392	挿入鋼板の破断強度	N/mm <sup>2</sup>	400	400
せん断抵抗面厚さ	mm	136	136	DP鋼板縁あきL	mm	25	25
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	60928	53312	DP鋼板縁あきR	mm	25	25
引張抵抗面長さ	mm	91	99	DP列間隔	mm	64	64
引張抵抗面厚さ	mm	136	136	DP間最短距離	mm	91	91
引張抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	12376	13464	挿入鋼板破の最小断面積	mm <sup>2</sup>	1692	1692

CLT の破壊荷重:  $P_{ug} = \min(P_1, P_2, P_3) = 316.1 \text{ kN} > P_{u,req} = 295.9 \text{ kN}$

挿入鋼板の破壊荷重:  $P_{us} = 676.8 \text{ kN} > P_{u,req} = 295.9 \text{ kN}$



⑥ 壁一床水平せん断接合部

ドリフトピン間隔を一部 6d に変更し、せん断抵抗断面積を大きくした。

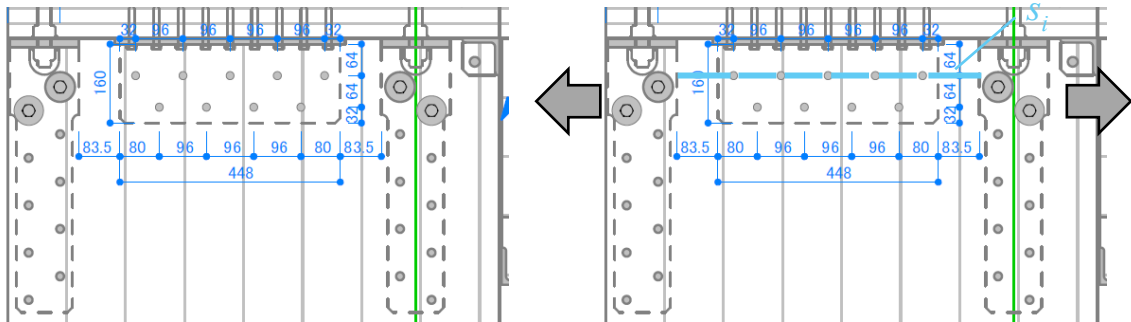


図 5.2.19 CLT 集合型せん断破壊の破断面の取り方

計算条件	単位	⑥
		破断面1
DP径	mm	16
CLT厚	mm	150
スリット幅	mm	14
挿入鋼板厚	mm	12
DP本数	本	9
せん断方向DP間隔	d	6
せん断方向DP間隔	mm	96
引張方向DP間隔	d	4
引張方向DP間隔	mm	64
クリアランス	mm	1
DP1本の降伏耐力 $P_y$	kN/本	23.0
<b>【Pu1】-CLTせん断破壊</b>	kN	447.5
せん断抵抗面長さ	mm	535
せん断抵抗面厚さ	mm	136
せん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>	72760
<b>【Pus】-鋼板破断</b>	kN	921.6
挿入鋼板の破断強度	N/mm <sup>2</sup>	400
DP鋼板縁あきL	mm	56
DP鋼板縁あきR	mm	24
DP列間隔	mm	64
DP間最短距離	mm	112
挿入鋼板破の最小断面積	mm <sup>2</sup>	2304

CLT の破壊荷重:  $P_{ug} = \min(P_1, P_2, P_3) = 447.5 \text{ kN} > P_{u.req} = 250.0 \text{ kN}$

挿入鋼板の破壊荷重:  $P_{us} = 921.6 \text{ kN} > P_{u.req} = 250.0 \text{ kN}$

### 5.3 許容水平耐力に関するケーススタディ

#### 5.3.1 解析概要

図 5.3.1 に解析モデルの対称架構イメージ、表 5.3.1 に解析モデル仕様を示す。5 層・2 スパン小幅パネル架構を対象とし、腰壁なしモデルおよび 1F 腰壁なしモデルを連結したモデルとする。接合部の応力変形関係は 5.2.2.2 項による接合部の推定保有性能に基づいて設定し、動的 Pushover を行う。その結果から、中地震時の許容水平耐力、および 3.1.1 項で述べた不倒壊判定用地震動に対して不倒壊とするための負担総重量の上限値を確認する。ここで、倒壊限界状態は「告示極稀地震動× $\sqrt{1.5}$ ×倍率」を入力としたときの最大応答とし、「倍率」と「最大応力」の関係性を把握する。解析プログラムは wallstat を用いる。

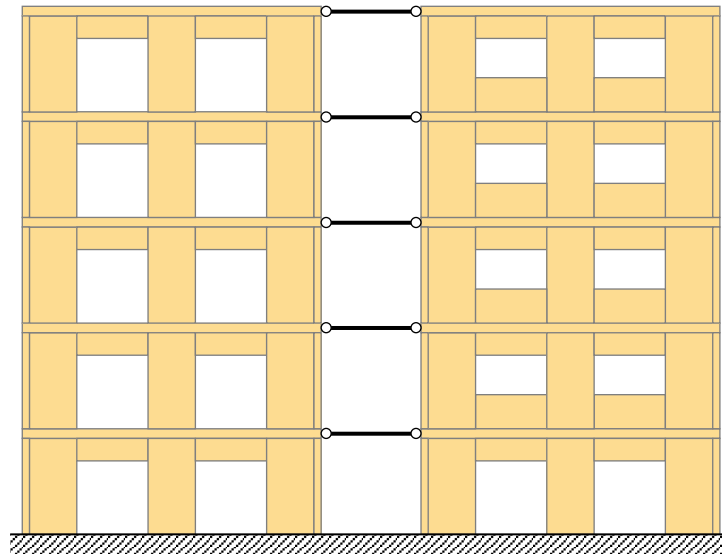


図 5.3.1 解析モデルの対象架構イメージ

表 5.3.1 解析モデル仕様

層数	5 層
壁幅 $L_w$	1.0m
開口幅	3.0m
スパン	2 スパン
階高	3m
床版	CLT 目地一致
腰壁	なし、1 階なし
総重量 $\Sigma W$	$\Sigma W = 2 \times \left( \frac{10 + 1.5n}{0.2} \cdot 2L_w \right)$ ( $\Sigma W$ はルート 1 の水平耐力検定比が 1.0 となるときの建物総重量の 2 倍、 $n$ は腰壁・垂壁数、 $L_w$ は壁幅)
重量分布	最上階 0.75、その他 1.0 として重量を配分

### 5.3.2 解析結果

図 5.3.2 に層せん断力 $Q$ —層間変形角 $R$ 関係及び加速度 $A$ —代表変位 $\Delta$ 関係を示す。腰壁なしモデルと 1F 腰壁なしモデルは、2023 年度検討の結果もあわせて示す。なお、2024 年度検討の $Q_a$ 時は 1F が 1/150rad 時、 $Q_u$ 時は 1F が 1/20rad 時に達した時を示している。腰壁なしモデル及び 1F 腰壁なしモデルを連結したモデルは、1 階耐力壁の許容水平耐力は層間変形角制限(1/150rad 以下)によって決まり、48.3kN/m となった。また、その 2 倍程度まで許容水平耐力を増大しても、第 2 種地盤の極稀地震動に最大応答変位が 1.5 倍となる倍率を乗じた地震動に対して倒壊しないことが確認された。

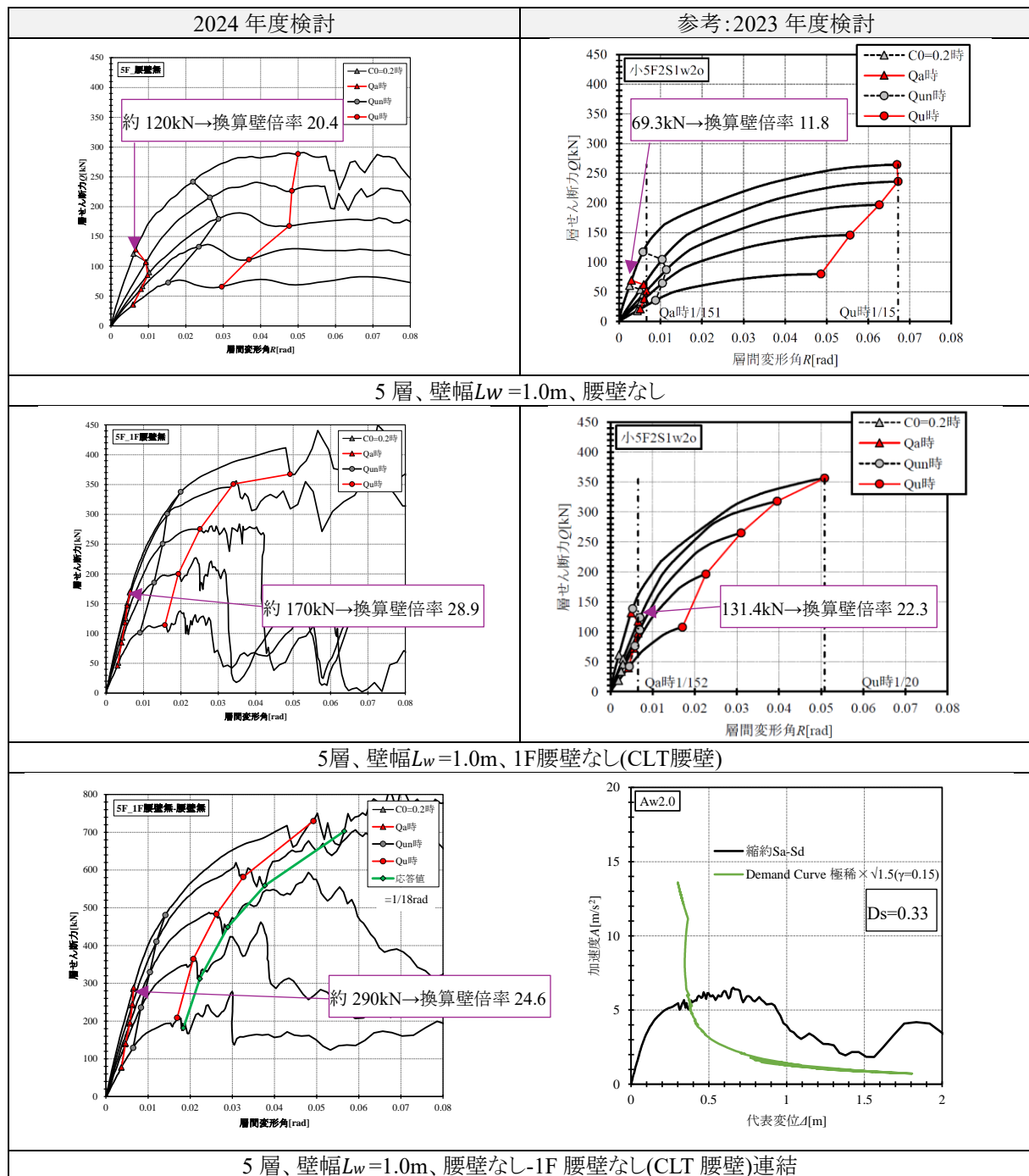


図 5.3.2 層せん断力 $Q$ —層間変形角 $R$ 関係及び加速度 $A$ —代表変位 $\Delta$ 関係

図 5.3.3 に各解析モデルの許容耐力 $Q_a$ 時と終局耐力 $Q_u$ 時の応力図及び変形図を示す。

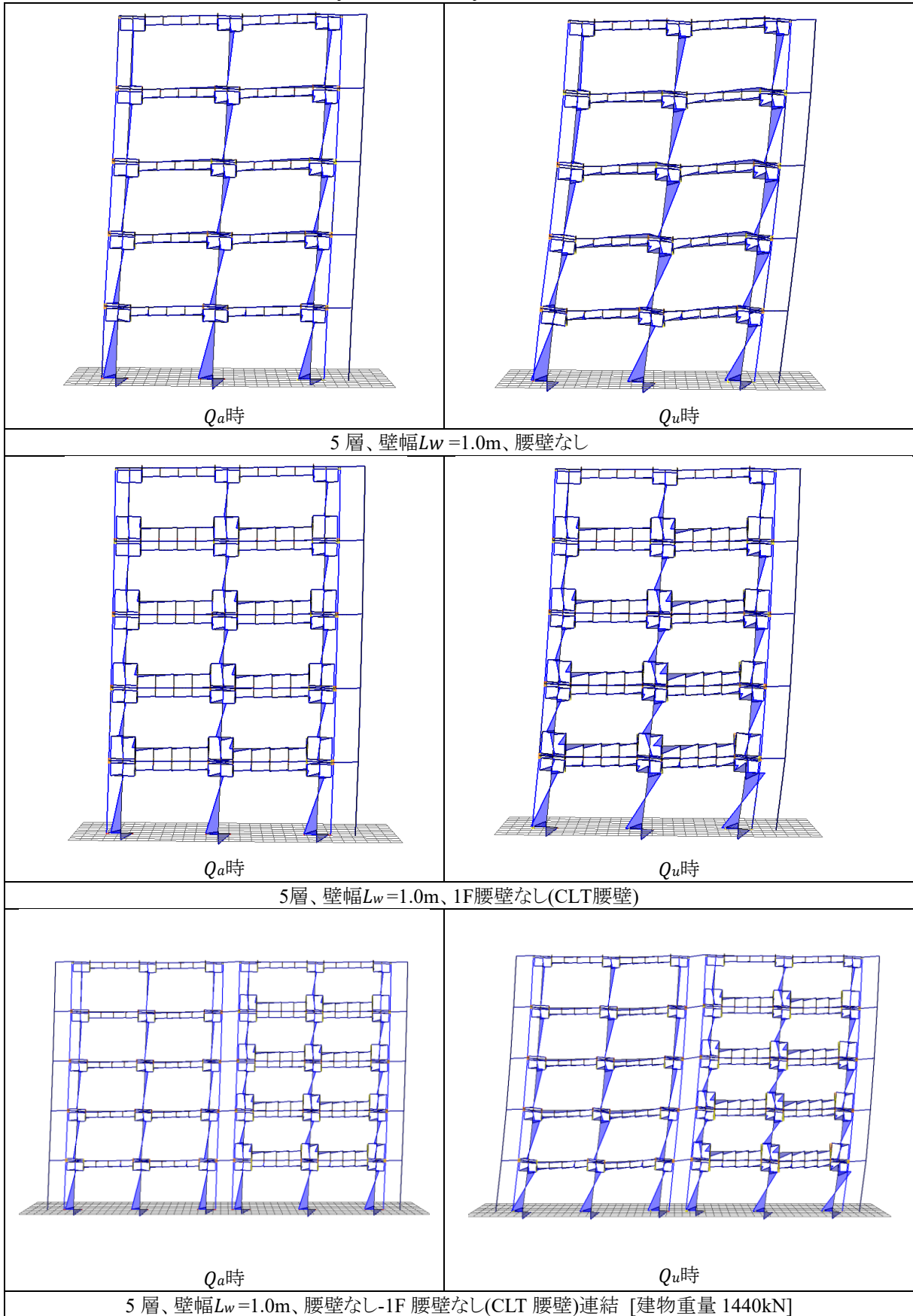


図 5.3.3 応力図及び変形図

図 5.3.4 に建物重量をパラメータとした加速度 $A$  -代表変位 $\Delta$ 関係を示す。必要耐力曲線に用いる総重量を重量倍率  $A_w$  の割合で変更した。

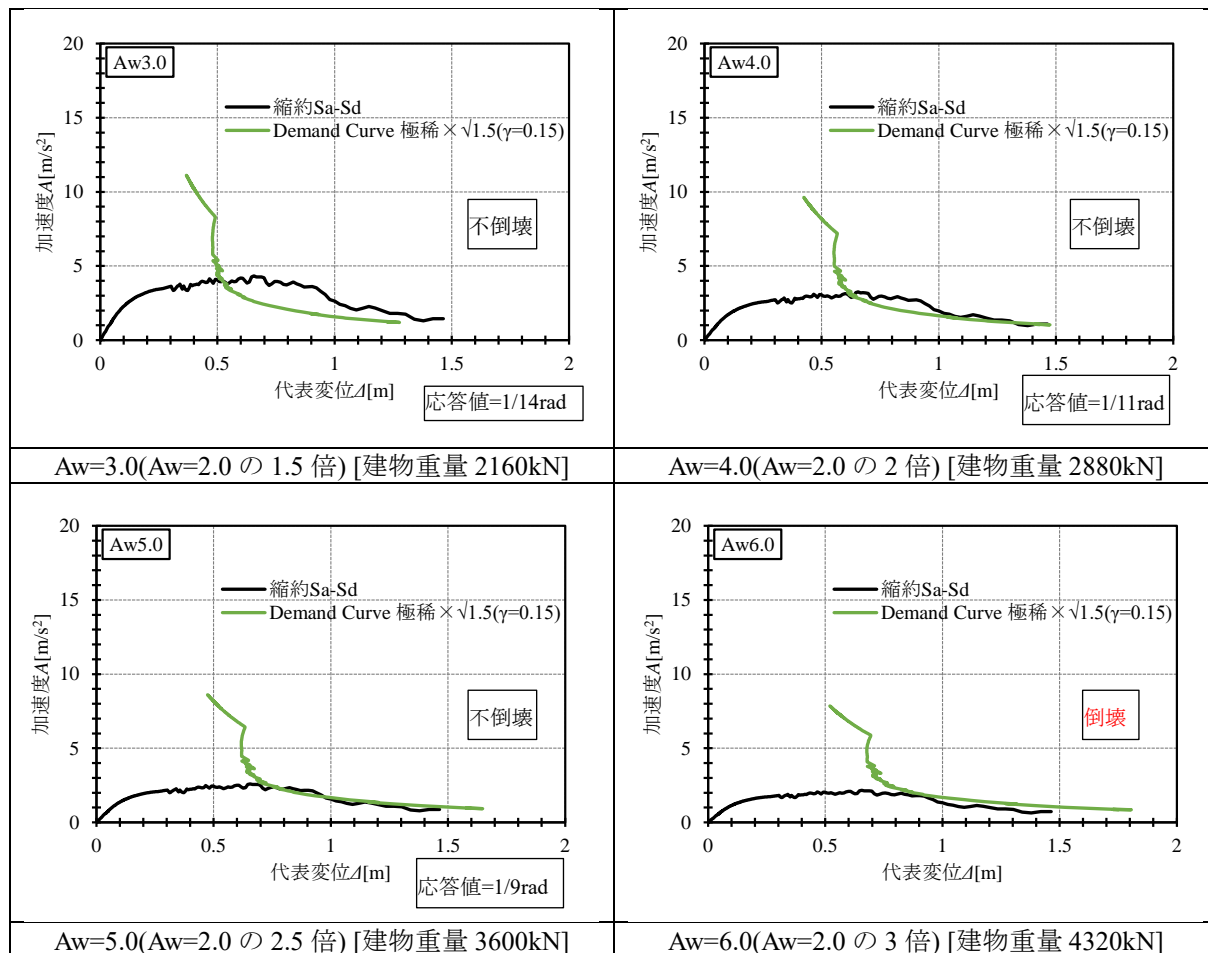


図 5.3.4 加速度 $A$  -代表変位 $\Delta$ 関係

5.2.2.2 項による接合部の推定保有性能を仮定したモデルにおいて、負担可能上限重量倍率 $A_w=5.0$  まで倒壊しないことが確認できた。