

第6章 大型有開口パネルの構造特性に関する検討

6.1 大型有開口パネルの FEM モデルの構築及び簡易モデルの検討

- 6.1.1 項で、H24 年度に実施した CLT 大型パネル構面水平加力実験¹⁾(C 型 O 型)の FEM 事後解析を実施し、実験との適合性(CLT パネルの最大応力等)を確認する。また、大型有開口パネルの FEM 解析のモデル化方法を構築する。
→その方法に基づき、後の 6.2 節(H25 年度の L 形 T 形パネル水平加力実験試験体)及び 6.3 節(H25 年度の大型有開口パネル実大構面水平加力実験試験体)で FEM 事前解析を実施する。
- 6.1.2.項及び 6.1.3 項で、CLT パネルを用いた建築物の構造設計法素案(第 2 章)に用いる簡易モデルについて検討する。H24 年度に実施した CLT 大型パネル構面水平加力実験¹⁾(C 型 O 型)との適合性及び FEM 解析との各部応力の比較を行う。

6.1.1 FEM モデルによる検討

(a) 解析概要

①解析概要

解析モデルは、CLT パネルを弾性シェル要素とし、パネル脚部の引きボルト位置をピン支持としたもの、および軸バネ等を配置したものによる。加力点は、大型パネル構面水平加力実験¹⁾と同様に、試験体上部の中央としている。メッシュ分割は最大 200mm×200mm とする。

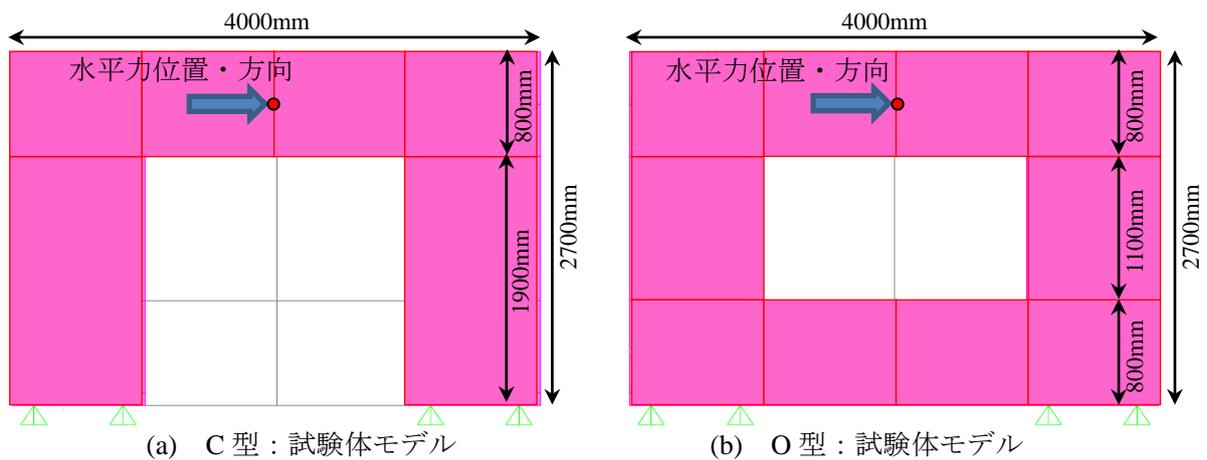


図 6.1.1-1 脚部ピン支持モデル

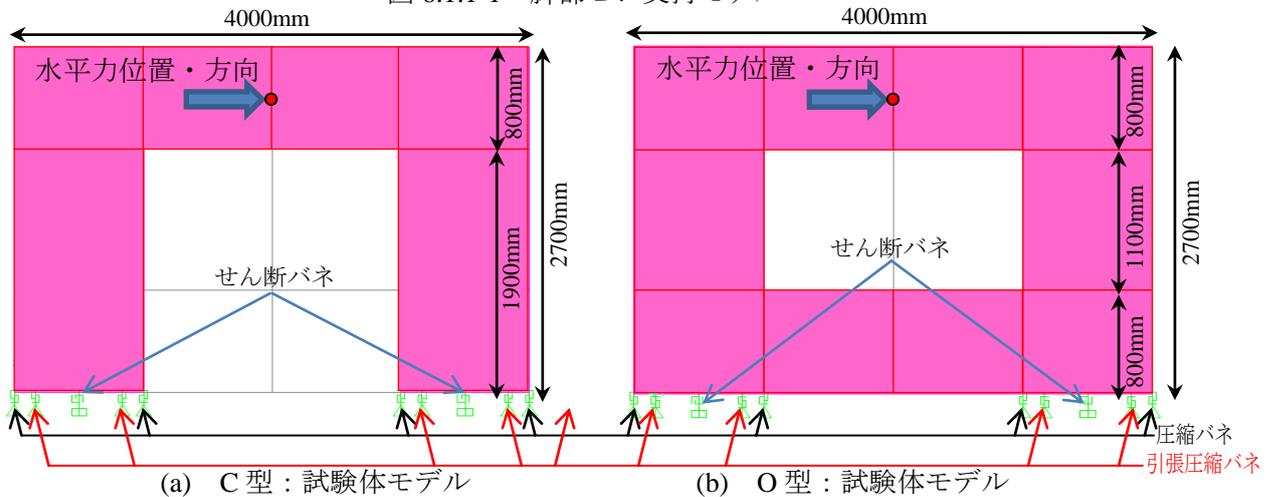


図 6.1.1-2 脚部バネ配置モデル

②CLT パネル要素

- CLT パネル：弾性シェル要素

ヤング係数およびせん断弾性剛性は、「高知おとよ社員寮建築計画」にて、設定した値を用い、以下に示す。

ヤング係数 $E_x : 1,900\text{N/mm}^2$ 、 $E_y : 3,850\text{N/mm}^2$ 、 $E_{rx} : 5,722\text{N/mm}^2$

せん断弾性係数 $G_{xy} : 296\text{N/mm}^2$ 、 $G_{yz} : 121\text{N/mm}^2$ 、 $G_{zx} : 49\text{N/mm}^2$

弾性係数 [GPa]									
部位	CLT厚	面内				面外			
		E_x	E_y	G_{xy}	E_{rx}	E_{ry}	G_{yz}	G_{zx}	
鉛直構面	150	1.900	3.850	0.296	5.722	0.988	0.121	0.049	
水平構面	180	1.583	4.417	0.340	5.978	0.572	0.153	0.041	

検定用応力度割増率									
部位	CLT厚	面内				面外			
		σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_{rx}	σ_{ry}	τ_{yz}	τ_{zx}	
鉛直構面	150	1.883	2.500	1.883	1.267	2.885	1.216	2.308	
水平構面	180	1.642	3.000	1.642	1.342	4.154	1.358	2.769	

設計用基準強度 [MPa]			
種類	強度	備考	
面外曲げ	Fb	22.50	JAS, ラミナ曲げ強さ・L60下限値
面内せん断	Fs	2.70	告示1024, すぎ集成材積層方向
面外せん断	Fs	1.20	AIJ規準 構造用合板 基準許容せん断応力度×3
面内圧縮	Fc	13.50	JAS, ラミナ引張強さ・L60下限値
面内引張	Ft	13.50	
圧縮座屈	Fk	9.23	告示1024+有効細長比

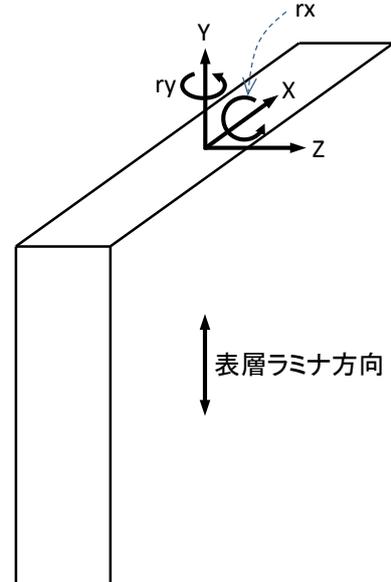


図 6.1.1-3 CLT パネルの設計用構造性能

③パネル脚部バネ要素

- パネル脚部：軸バネ（引きボルト、パネルの弾性剛性）およびせん断バネ（U型金物）

引きボルト位置には引張・圧縮バネ、パネル端部には圧縮バネを配置している。引きボルトの引張バネの特性は、文献 2) にて設定したものを基本としている。なお、圧縮バネの特性は、シェル要素としてパネルの弾性剛性（軸方向の変形）があるため、十分に剛な値を用いる。

壁柱中央にはせん断バネを配置している。せん断バネの特性は、AIJ 大会（北海道）にて設定したものを基本とし、ビスの本数(1.818 倍=40/22)にて、せん断力を割り増したものをを用いる。

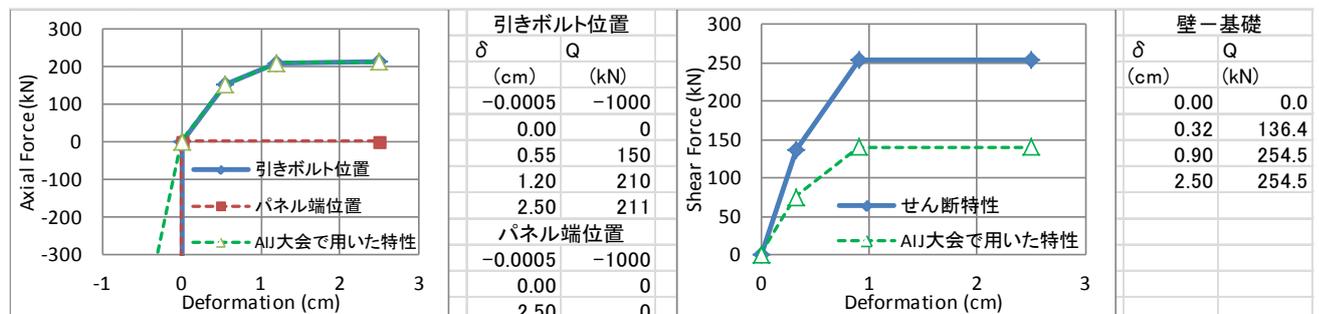


図 6.1.1-4 各部バネ特性

(b) 解析結果

■変形図 (×10倍) 上段：柱脚ピン支持、下段：柱脚バネ (せん断バネ、軸バネ)

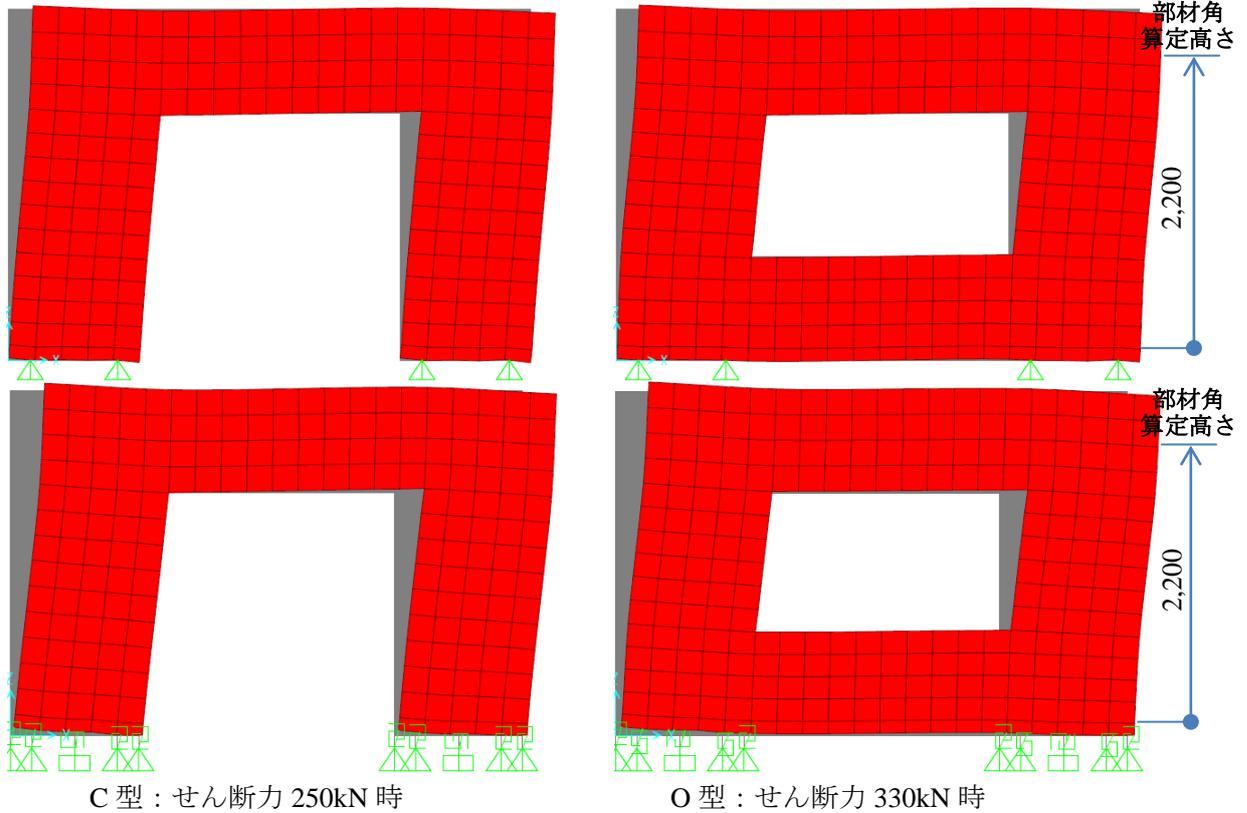


図 6.1.1-5 試験における最大せん断力時の変形図

■せん断力一部材角関係 上段：C型試験体、下段：O型試験体 (図中に試験による最大せん断力を記載)

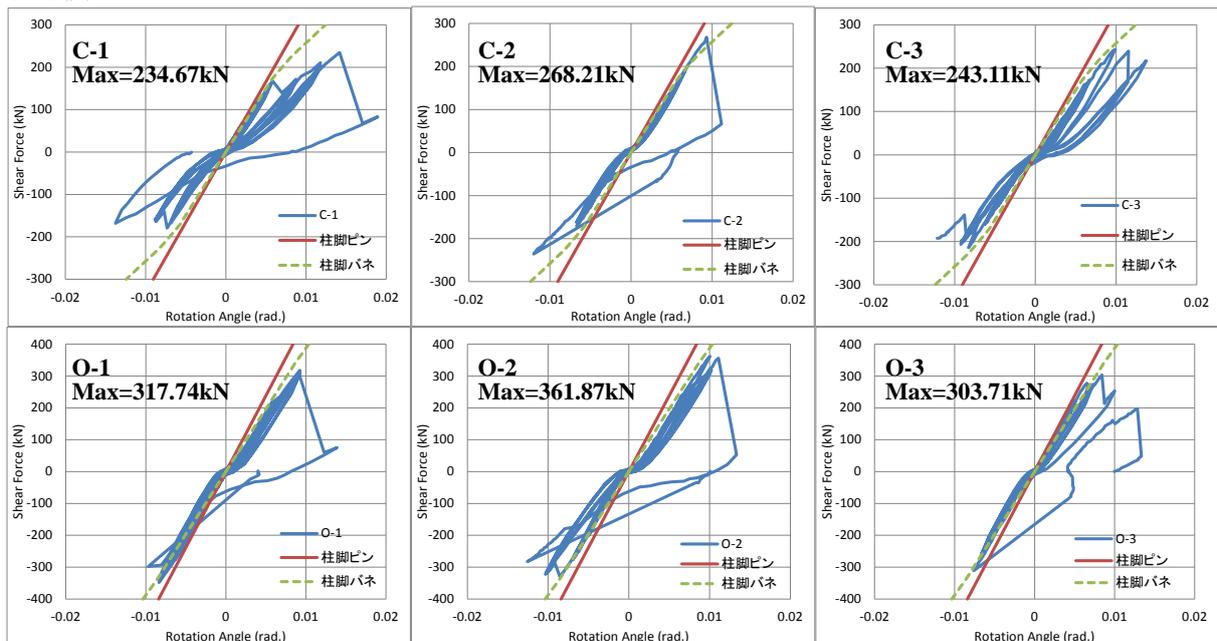


図 6.1.1-6 せん断力一部材角関係

■応力コンター

応力コンターは、各試験体の最大耐力時（最大水平せん断力）の平均による値を用い、C型では、せん断力 250kN 時のコンターを、O型では、せん断力 330kN 時のコンターによる。

<S11：水平方向（まぐさ）の軸方向応力(N/mm²)>

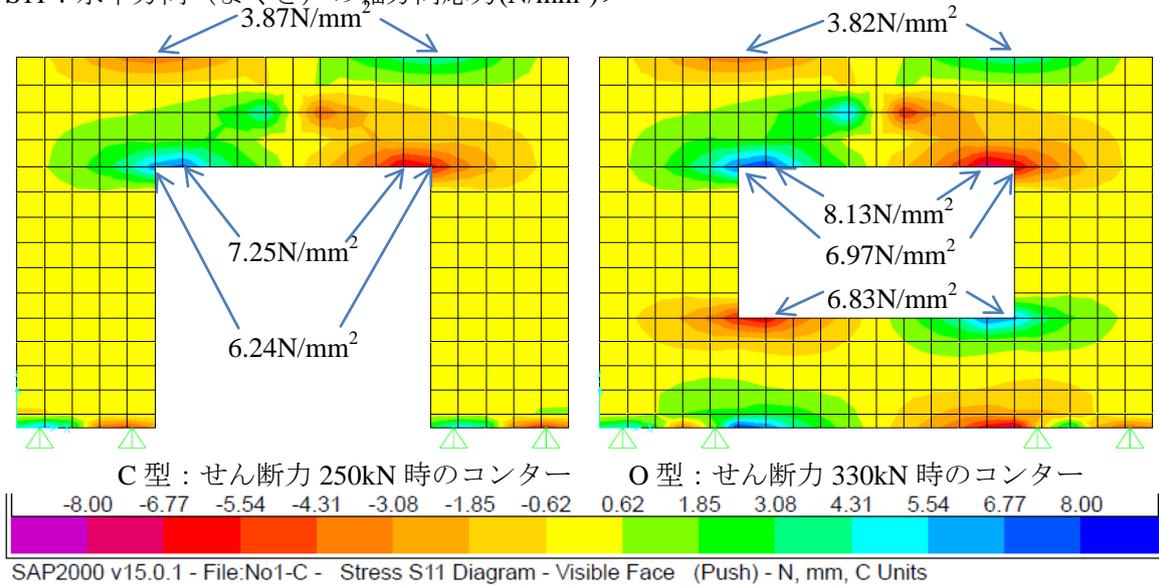


図 6.1.1-7 柱脚ピン支持場合のコンター図(S11)

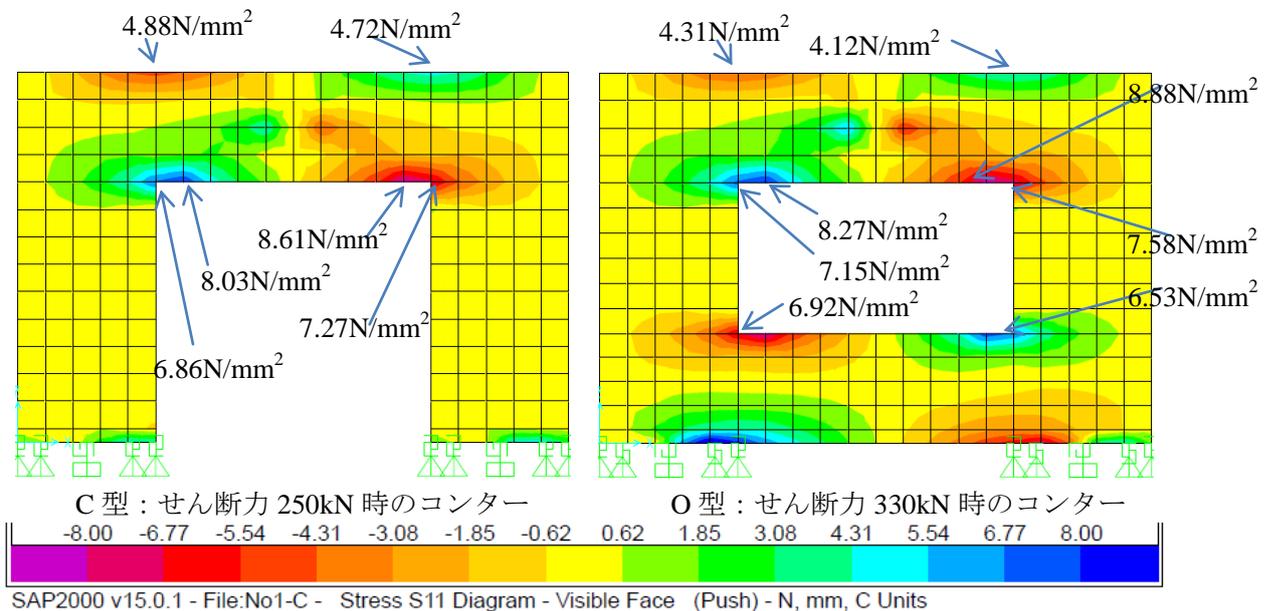


図 6.1.1-8 柱脚バネ(せん断バネ、軸バネ)の場合のコンター図(S11)

※CLT 大型パネル構面実験では、いずれも、まぐさ端部の損傷（引張側の方向）により、最大せん断力を至っていると思われる。解析モデルのまぐさ端部の応力は、CおよびO型、何れも $\sigma = 7.0 \sim 8.0 \text{ N/mm}^2$ 程度となっている。

<S22 : 鉛直方向（壁柱）の軸方向応力(N/mm²)>

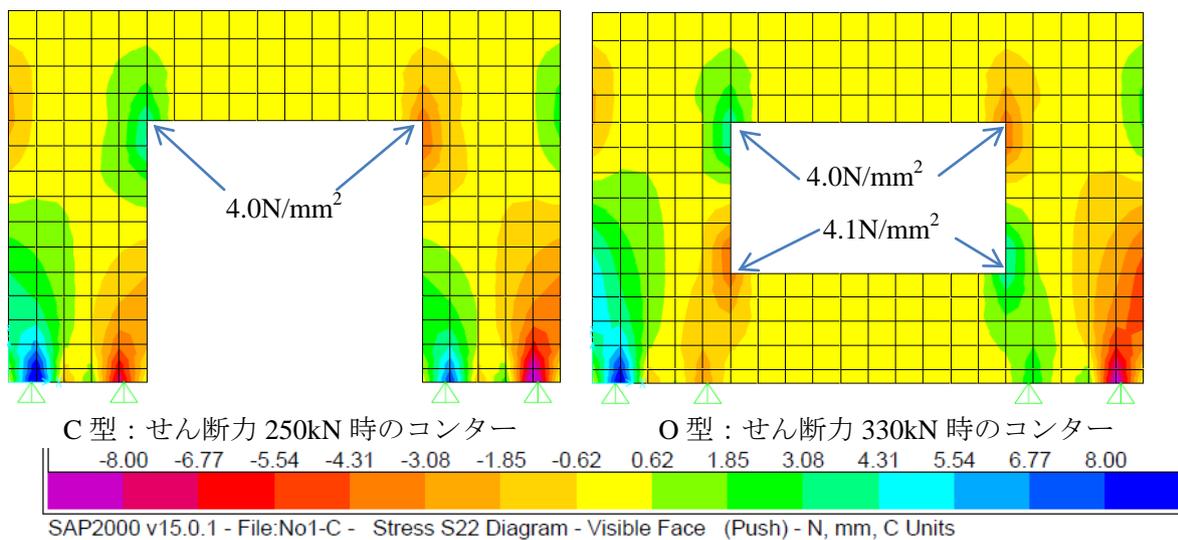


図 6.1.1-9 柱脚ピン支持場合のコンター図(S22)

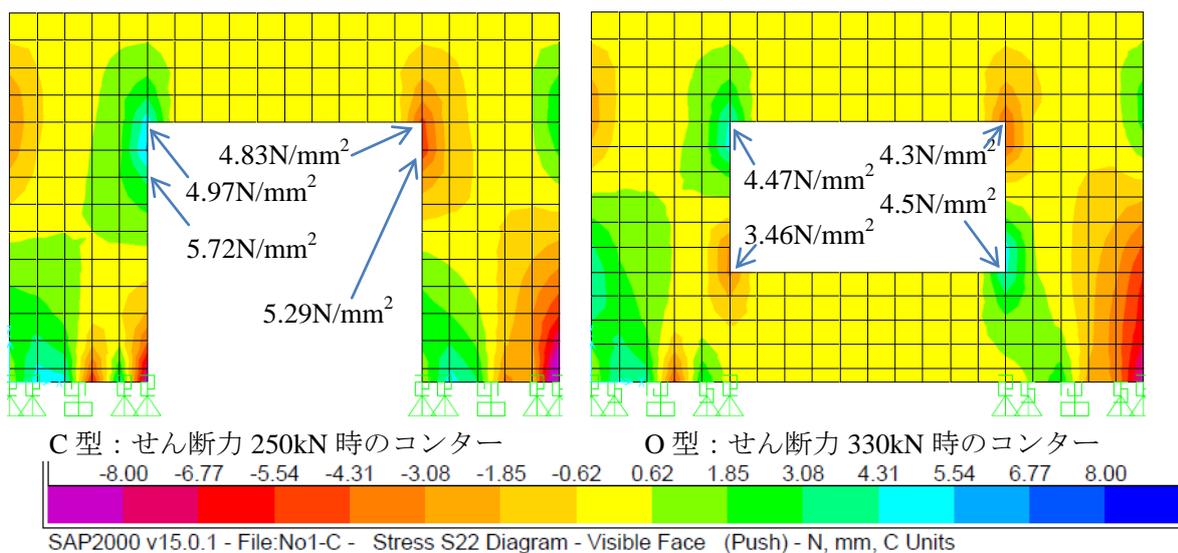


図 6.1.1-10 柱脚バネ(せん断バネ、軸バネ)の場合のコンター図(S22)

※壁柱の応力は、 $\sigma = 4.0 \sim 6.0 \text{ N/mm}^2$ 程度で、まぐさ端部の応力（ $\sigma = 7.0 \sim 8.0 \text{ N/mm}^2$ 程度）より小さい。

<S12 : せん断応力 (まぐさ、腰壁および壁柱) (N/mm²)>

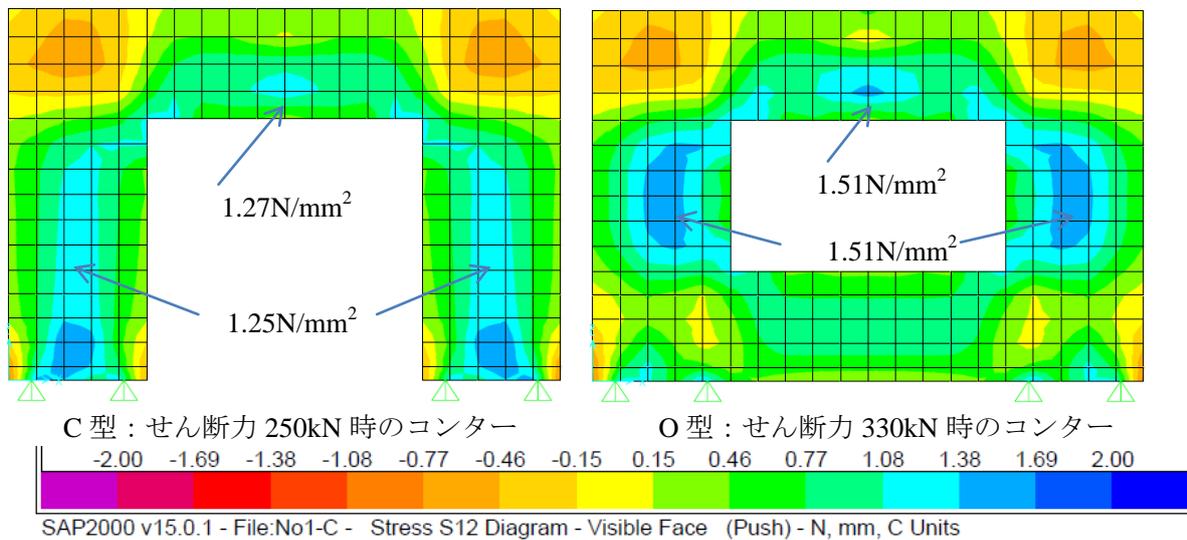


図 6.1.1-11 柱脚ピン支持場合のコンター図(S12)

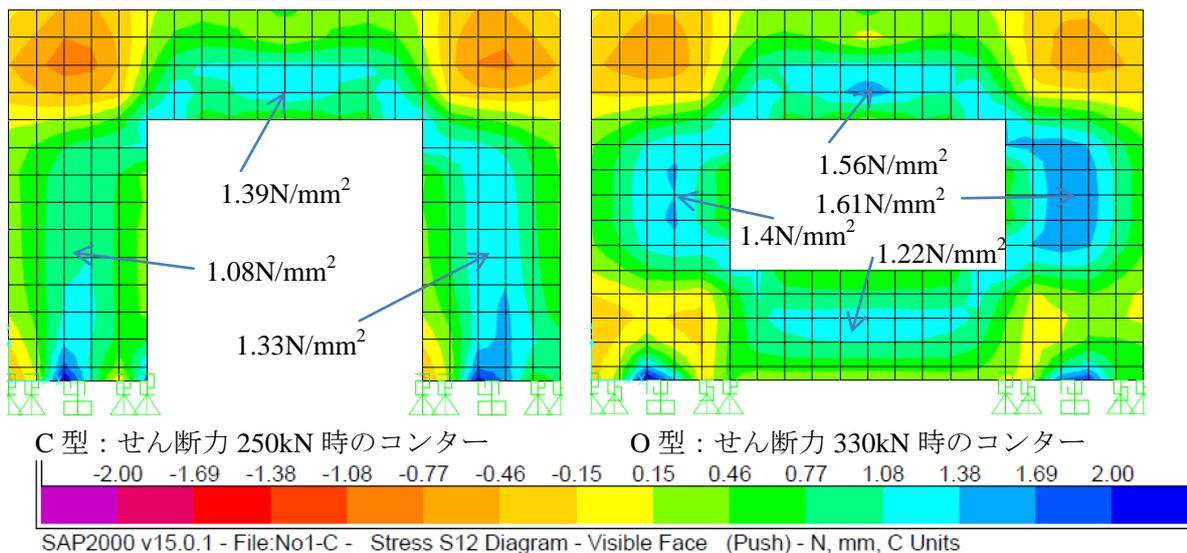


図 6.1.1-12 柱脚バネ(せん断バネ、軸バネ)の場合のコンター図(S12)

6.1.2 簡易モデルによる検討

(a) 解析概要

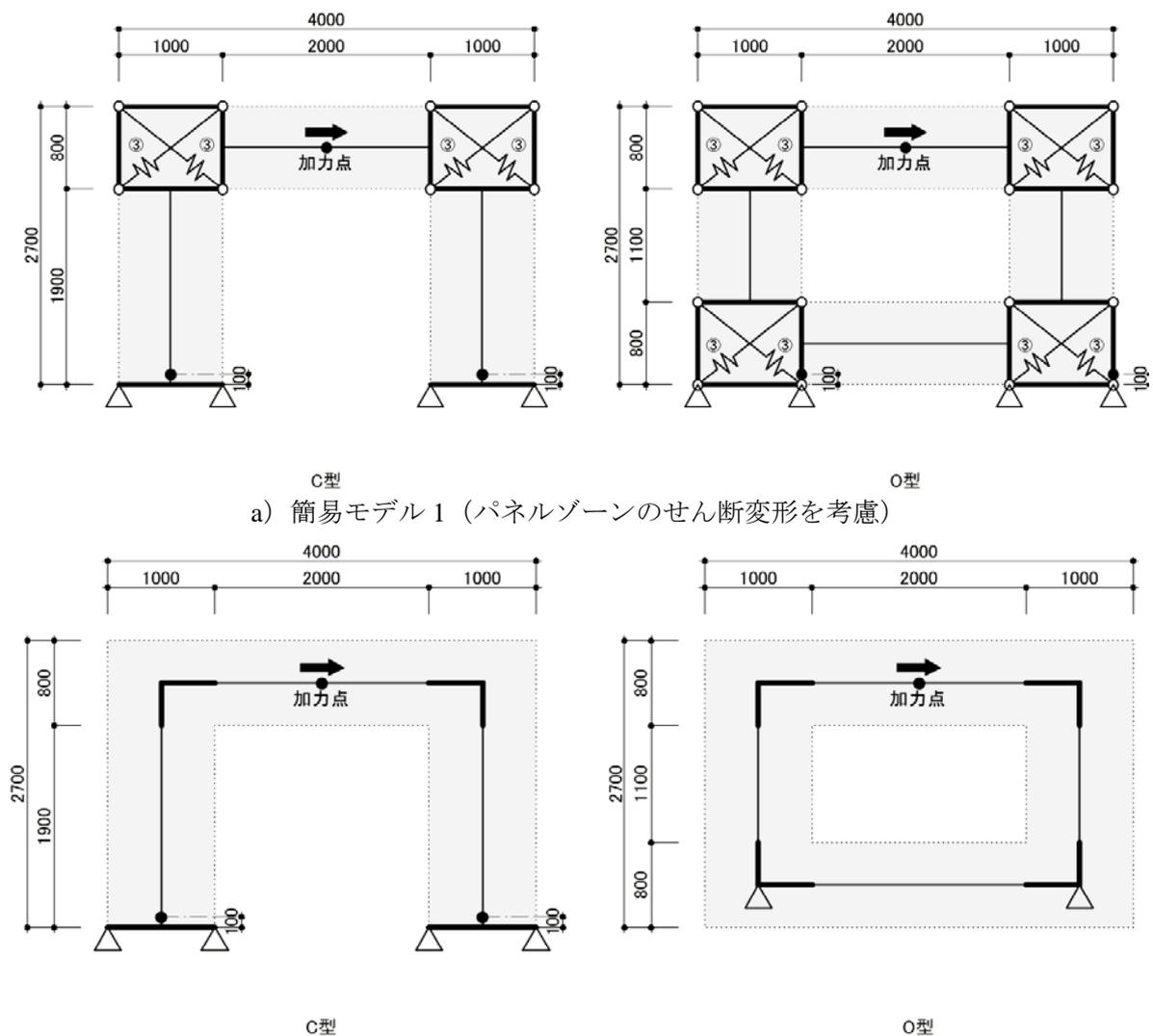
①解析モデル

図 6.1.2-1 及び図 6.1.2-2 に解析モデル図を示す。解析モデルは、パネルゾーンのせん断変形を考慮した簡易モデル 1、剛域を設定した簡易モデル 2 とし、それぞれ C 型及び O 型モデルで解析を行う。パネル脚部には引張+圧縮ばね及びせん断ばねを配置する。加力点はまぐさ中心位置とし、荷重増分解析を行う。

回転角 = (加力点位置水平変位 - パネル脚部より 100mm 位置水平変位) / 2200 とする。

CLT パネルの素材特性は、ヤング係数 $E = 3850 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ 、せん断弾性係数 $G = 296 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ とする。

図 6.1.2-1 及び図 6.1.2-2 中の太線は剛域とする。



a) 簡易モデル 1 (パネルゾーンのせん断変形を考慮)

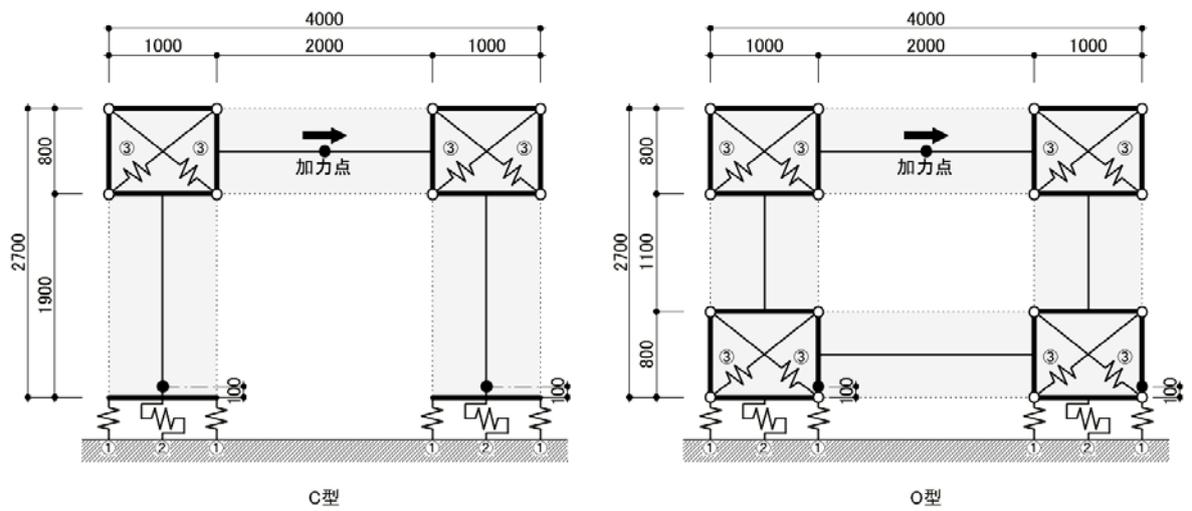
b) 簡易モデル 2 (剛域設定)

壁柱断面: 1000 × 150mm
まぐさ(腰壁)断面: 800 × 150mm

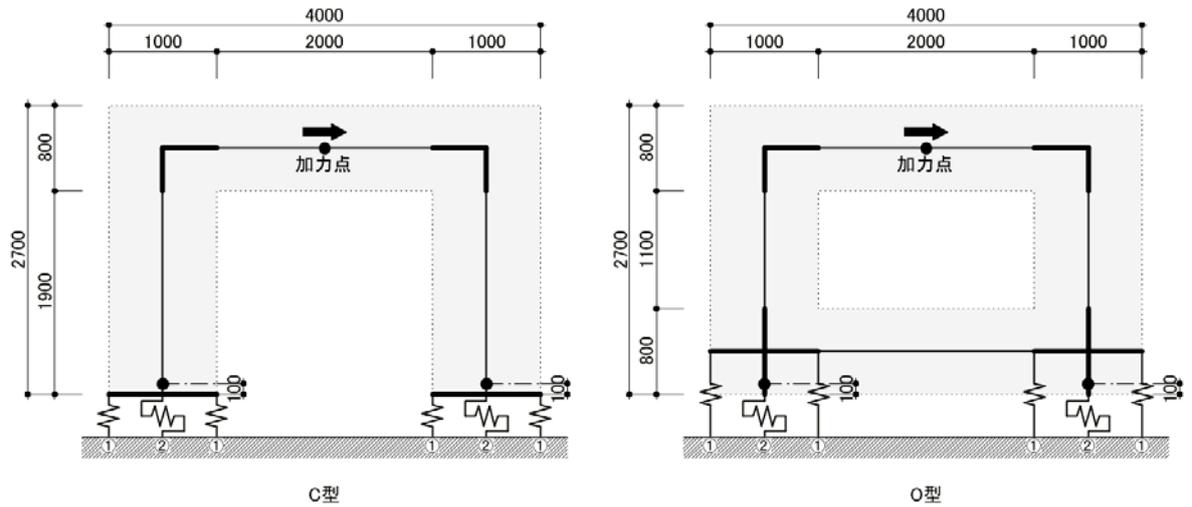
③ パネルゾーン軸剛性 K_s' (せん断剛性 K_s から換算)

太線は剛材とする。

図 6.1.2-1 解析モデル図 (脚部ピン支持モデル)



a) 簡易モデル1 (パネルゾーンのせん断変形を考慮)



b) 簡易モデル2 (剛域設定)

壁柱断面: 1000 × 150mm
まぐさ(腰壁)断面: 800 × 150mm

太線は剛材とする。

- ①引張ばね(M24引きボルト)+圧縮ばね
- ②せん断ばね(せん断抵抗金物U型)
- ③パネルゾーン軸剛性 K_s (せん断剛性 K_s から換算)

図 6.1.2-2 解析モデル図 (脚部バネ配置モデル)

②パネル脚部のバネ要素

壁柱脚部の両端部には引張・圧縮バネ、壁柱脚部の中央にはせん断バネを配置する。

・引張、圧縮バネについて

壁柱脚部の両端部の引張バネは、本来の引きボルト位置とは異なるため、応力中心間距離を考慮した補正を行う。調整率は下記により算出する。

$$\text{調整率} = \frac{(1000 - 165)}{1000} \times 0.9 = 0.7515$$

本来の引きボルト位置での荷重変形関係における荷重に調整率を乗じ、変形を調整率で除した下記「①パネル位置」の荷重変形関係をパネル端部バネに用いる。

壁柱脚部の両端部の圧縮バネの剛性は、本検討書では $K_c = 500 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ とする。「CLT 大型パネル構面水平加力実験」の荷重変形関係に解析値（脚部バネモデル）がほぼ合うように K_c を決定している。

・せん断バネについて

「CLT 大型パネル構面水平加力実験」で用いたせん断抵抗用金物 U 型は、「せん断抵抗金物 U 型の性能確認試験（せん断金物 U 型の履歴特性を決めた実験）」で用いた U 型金物に比べビス本数が多いため、本解析で用いるせん断バネはビスの本数（1.818 倍=40 本/22 本）にて割り増したせん断力を用いる。

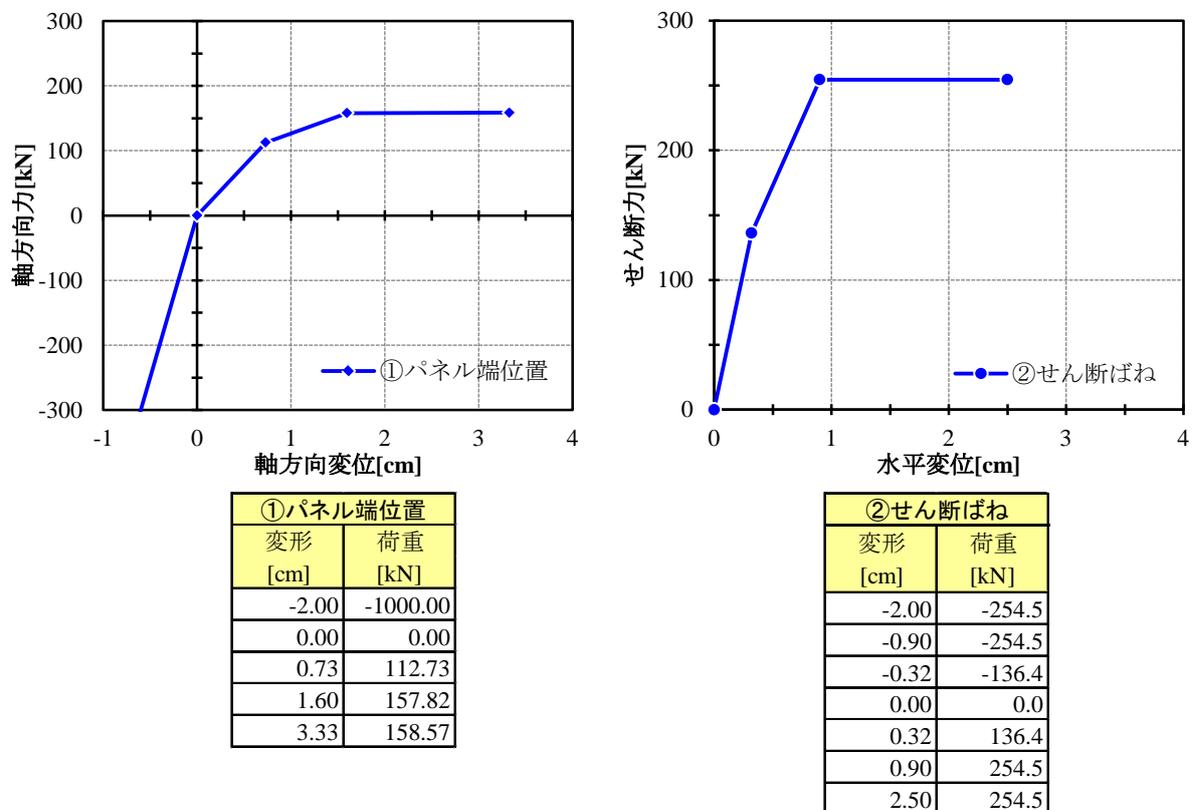


図 6.1.2-3 パネル脚部のバネの特性

③パネルゾーンのせん断剛性 K_s

パネルゾーンの変形は、せん断変形のみとする。パネルゾーンのせん断剛性 K_s は下記の式により算出する。

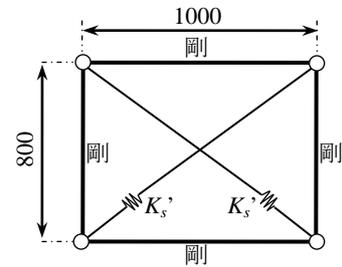
$$K_s = \frac{G \cdot A_s}{h}$$

G : せん断弾性係数 ($G = 296 \text{ [N/mm}^2\text{]}$)

A_s : せん断用断面積 ($A_s = 1000 \times 15 = 15000 \text{ [mm}^2\text{]}$)

h : 高さ ($h = 800 \text{ [mm]}$)

$$K_s = \frac{G \cdot A_s}{h} = \frac{296 \times 15000}{800} = 55500 \text{ [N/mm]} = 55.5 \text{ [kN/mm]}$$



パネルゾーンの斜辺の長さ = $\sqrt{1000^2 + 800^2} = 1280.625 \text{ [mm]}$

$$\cos \theta = \frac{1000}{1280.625} = 0.781$$

パネルゾーンのせん断剛性 K_s を、斜材の軸剛性 K_s' に下式により変換する。

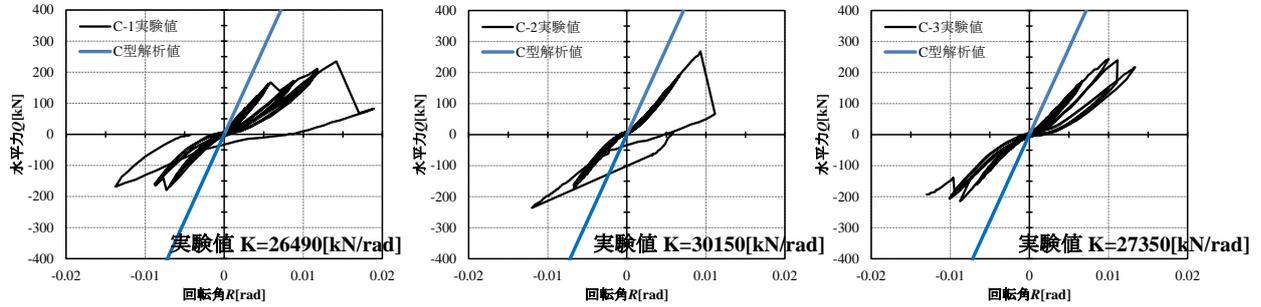
$$K_s' = \frac{K_s}{2 \cos^2 \theta} = \frac{55.5}{2 \times 0.781^2} = 45.51 \text{ [kN/mm]}$$

(b) 解析結果

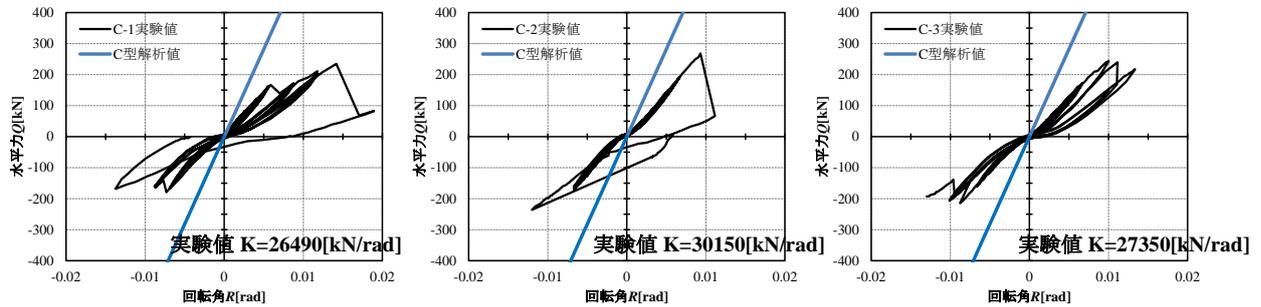
①実験との比較

<脚部ピン支持モデル>

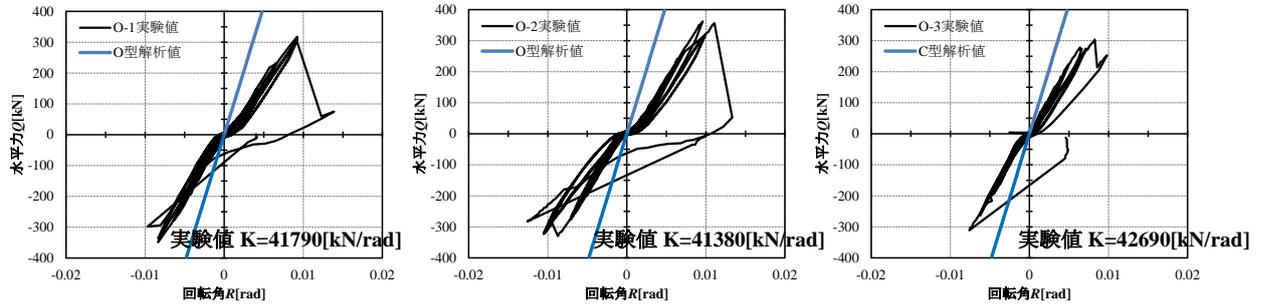
■C型 (簡易モデル1) $K = 55664$ [kN/rad]



■C型 (簡易モデル2) $K = 56343$ [kN/rad]



■O型 (簡易モデル1) $K = 83162$ [kN/rad]



■O型 (簡易モデル2) $K = 57443$ [kN/rad]

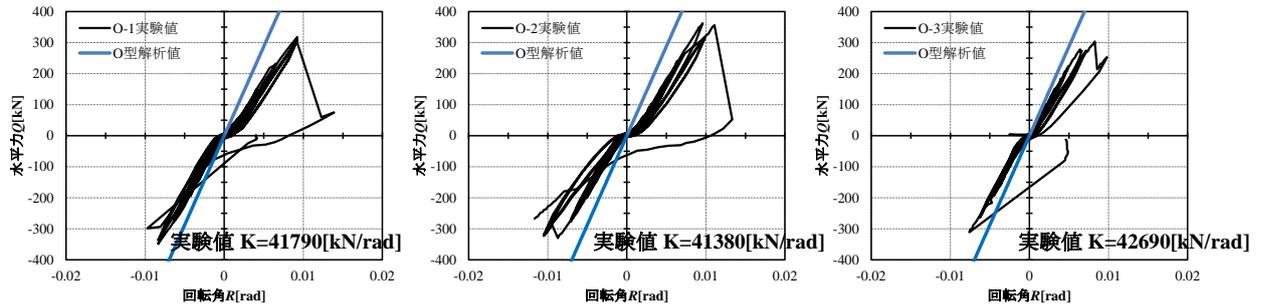
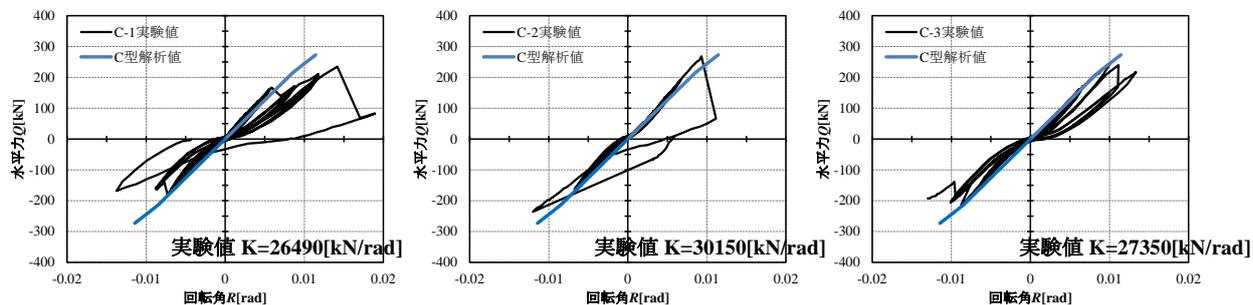


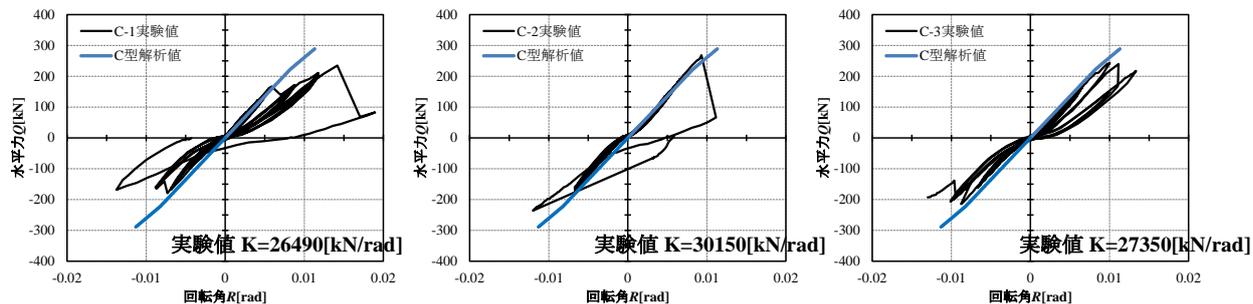
図 6.1.2-4 解析(脚部ピン支持モデル)と実験の対応

<脚部バネ配置モデル>

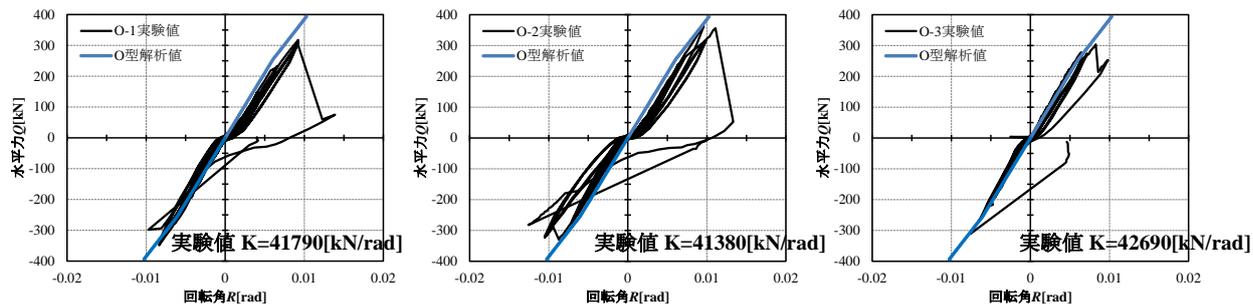
■ C 型 (簡易モデル 1) $K = 25735$ [kN/rad]



■ C 型 (簡易モデル 2) $K = 27287$ [kN/rad]



■ O 型 (簡易モデル 1) $K = 42656$ [kN/rad]



■ O 型 (簡易モデル 2) $K = 35503$ [kN/rad]

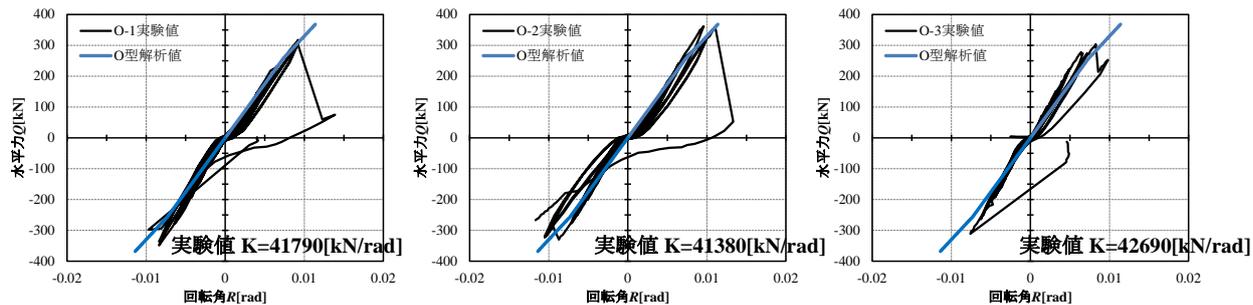
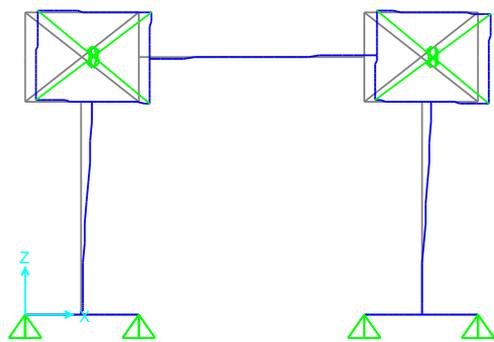


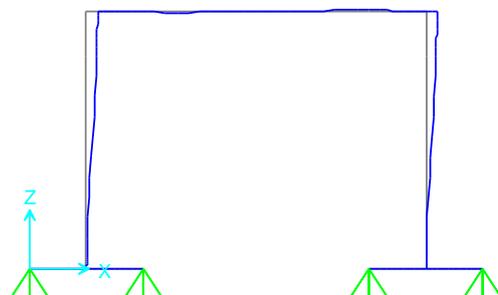
図 6.1.2-5 解析(脚部ピン支持モデル)と実験の対応

②変形図(×10倍)
 <脚部ピン支持モデル>

C型→試験における最大せん断力 **250kN** 時の変形

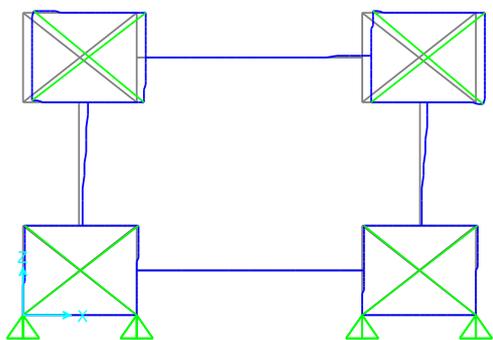


C型 (簡易モデル1)

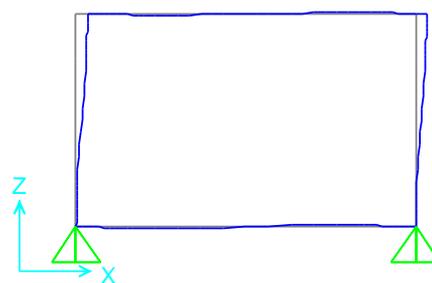


C型 (簡易モデル2)

O型→試験における最大せん断力 **330kN** 時の変形



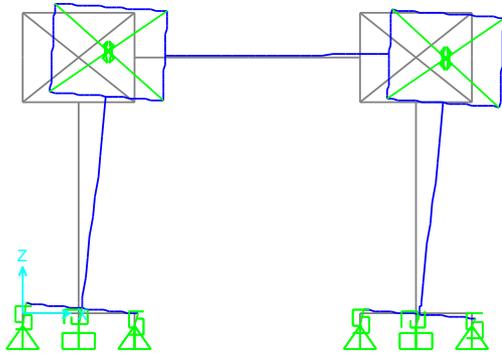
O型 (簡易モデル1)



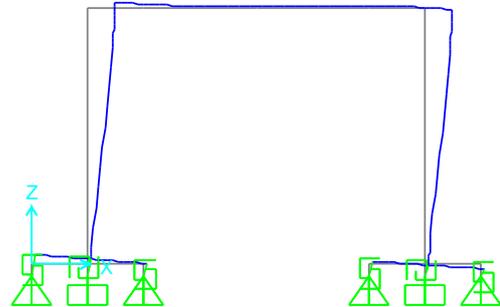
O型 (簡易モデル2)

<脚部バネ配置モデル>

C型→試験における最大せん断力 **250kN** 時の変形

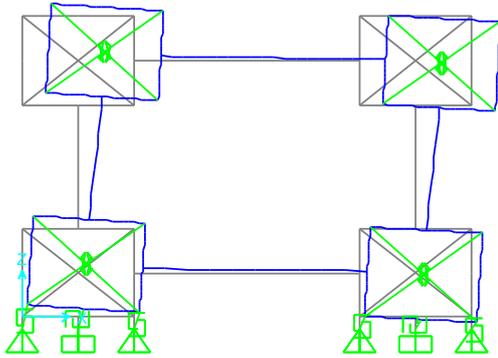


C型 (簡易モデル1)

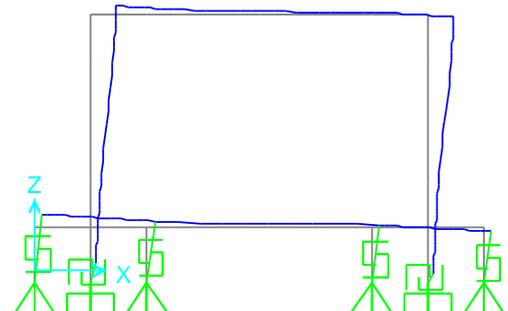


C型 (簡易モデル2)

O型→試験における最大せん断力 **330kN** 時の変形



O型 (簡易モデル1)

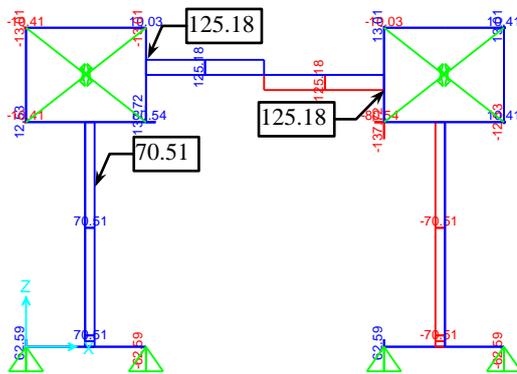


O型 (簡易モデル2)

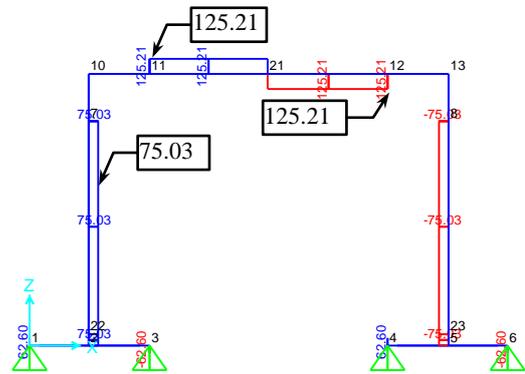
⑤ N 図(単位:kN)

<脚部ピン支持モデル>

C 型→試験における最大せん断力 250kN 時の N 図

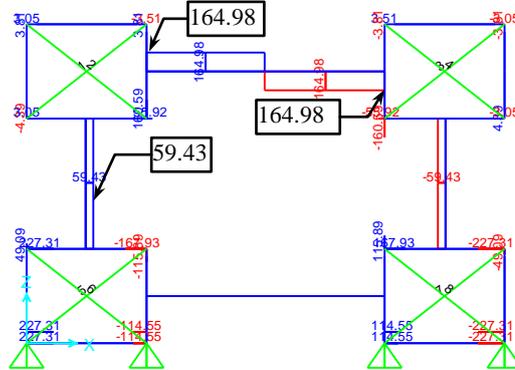


C 型 (簡易モデル 1)

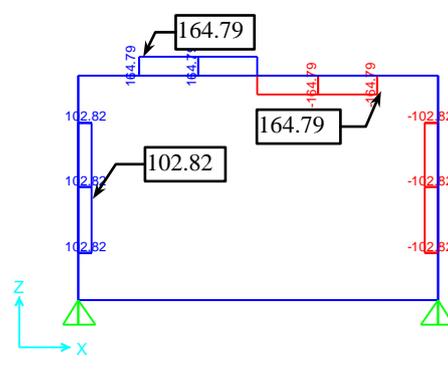


C 型 (簡易モデル 2)

O 型→試験における最大せん断力 330kN 時の N 図



O 型 (簡易モデル 1)



O 型 (簡易モデル 2)

C 型 (簡易モデル 1)

位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	125.18	150	800	120000	1.04
柱	70.51	150	1000	150000	0.47

C 型 (簡易モデル 2)

位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	125.21	150	800	120000	1.04
柱	75.03	150	1000	150000	0.50

O 型 (簡易モデル 1)

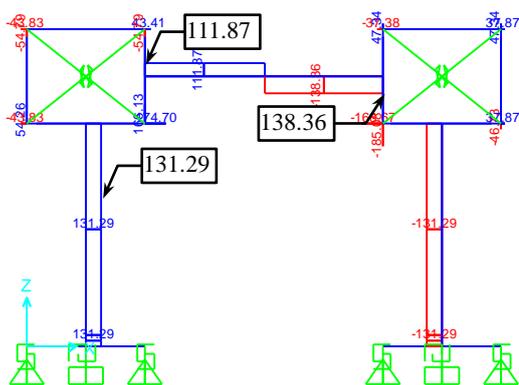
位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	164.98	150	800	120000	1.37
腰壁	0.00	150	800	120000	0.00
柱	59.43	150	1000	150000	0.40

O 型 (簡易モデル 2)

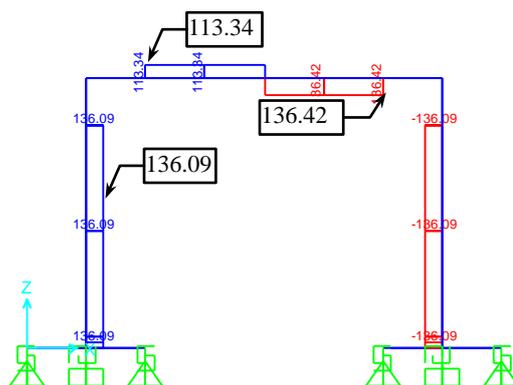
位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	164.79	150	800	120000	1.37
腰壁	0.00	150	800	120000	0.00
柱	102.82	150	1000	150000	0.69

<脚部バネ配置モデル>

C型→試験における最大せん断力 250kN 時の N 図

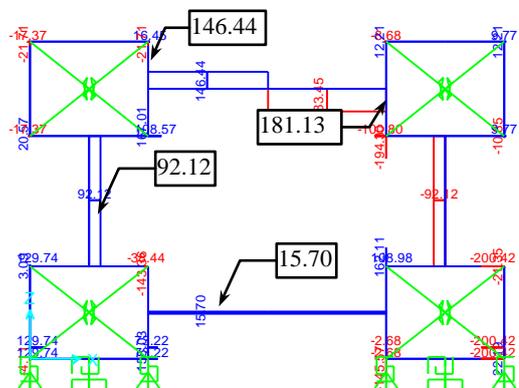


C型 (簡易モデル 1)

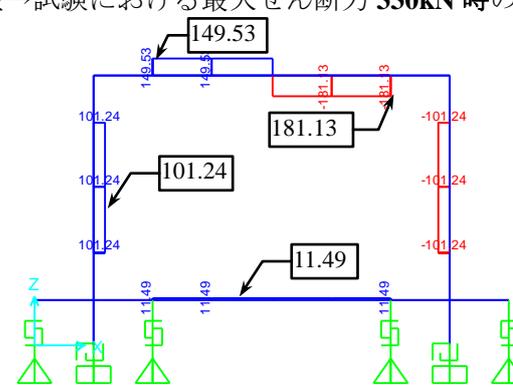


C型 (簡易モデル 2)

O型→試験における最大せん断力 330kN 時の N 図



O型 (簡易モデル 1)



O型 (簡易モデル 2)

C型 (簡易モデル 1)

位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	138.36	150	800	120000	1.15
柱	131.29	150	1000	150000	0.88

C型 (簡易モデル 2)

位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	136.42	150	800	120000	1.14
柱	136.09	150	1000	150000	0.91

O型 (簡易モデル 1)

位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	181.13	150	800	120000	1.51
腰壁	15.70	150	800	120000	0.13
柱	92.12	150	1000	150000	0.61

O型 (簡易モデル 2)

位置	N [kN]	b [mm]	d [mm]	A [mm ²]	σ_c or σ_t [N/mm ²]
まぐさ	181.13	150	800	120000	1.51
腰壁	11.49	150	800	120000	0.10
柱	101.24	150	1000	150000	0.67

6.1.3 FEMモデルと簡易モデルの比較

■解析値

・C型 ($Q_{max}=250kN$ 時)

解析モデル	まぐさ		壁柱	まぐさ	壁柱
	引張側 σ_b [N/mm ²]	圧縮側 σ_b [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]
FEM(ピン)	7.25	7.25	4.00	1.27	1.25
FEM(パネ)	8.61	8.61	5.72	1.39	1.33
簡易モデル1(ピン)	4.41	4.41	7.29	0.59	0.83
簡易モデル2(ピン)	4.69	4.69	7.06	0.63	0.83
簡易モデル1(パネ)	8.25	8.16	6.12	1.09	0.92
簡易モデル2(パネ)	8.67	8.34	6.46	1.13	0.91

※簡易モデル1はパネルゾーンのせん断変形を考慮したモデル、簡易モデル2は、パネルゾーンの剛域としたモデルである

※引張側 σ_b はまぐさ・腰壁の左端の応力度、圧縮側 σ_b はまぐさ・腰壁の右端の応力度である。

・O型 ($Q_{max}=330kN$ 時)

解析モデル	まぐさ		腰壁		壁柱	まぐさ	腰壁	壁柱
	引張側 σ_b [N/mm ²]	圧縮側 σ_b [N/mm ²]	引張側 σ_b [N/mm ²]	圧縮側 σ_b [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]
FEM(柱脚ピン)	8.13	8.13	6.83	6.83	4.10	1.51	1.08	1.51
FEM(柱脚パネ)	8.27	8.88	6.92	6.53	4.50	1.56	1.22	1.61
簡易モデル1(ピン)	3.71	3.71	3.34	3.34	6.33	0.71	0.44	1.10
簡易モデル2(ピン)	6.43	6.43	6.62	6.62	3.72	0.91	0.88	1.10
簡易モデル1(パネ)	5.78	5.74	7.35	8.53	5.49	0.77	0.93	1.22
簡易モデル2(パネ)	6.43	6.22	7.08	5.72	4.86	0.84	0.85	1.21

■解析値×応力割増係数（有効断面を考慮した場合）

・C型 ($Q_{max}=250kN$ 時)

解析モデル	まぐさ		壁柱	まぐさ	壁柱
	引張側 σ_b [N/mm ²]	圧縮側 σ_b [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]
FEM(柱脚ピン)	18.13	18.13	7.53	2.39	2.35
FEM(柱脚パネ)	21.53	21.53	10.77	2.62	2.50
簡易モデル1(ピン)	11.03	11.03	13.73	1.11	1.56
簡易モデル2(ピン)	11.73	11.73	13.29	1.19	1.56
簡易モデル1(パネ)	20.63	20.40	11.52	2.05	1.73
簡易モデル2(パネ)	21.68	20.85	12.16	2.13	1.71

応力割増率		
σ_x [-]	σ_y [-]	τ_{xy} [-]
1.883	2.500	1.883

※応力割増率は、有効となるラミナ層数によって決定している。

・O型 ($Q_{max}=330kN$ 時)

解析モデル	まぐさ		腰壁		壁柱	まぐさ	腰壁	壁柱
	引張側 σ_b [N/mm ²]	圧縮側 σ_b [N/mm ²]	引張側 σ_b [N/mm ²]	圧縮側 σ_b [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]
FEM(柱脚ピン)	20.33	20.33	17.08	17.08	7.72	2.84	2.03	2.84
FEM(柱脚パネ)	20.68	22.20	17.30	16.33	8.47	2.94	2.30	3.03
簡易モデル1(ピン)	9.28	9.28	8.35	8.35	11.92	1.34	0.83	2.07
簡易モデル2(ピン)	16.08	16.08	16.55	16.55	7.00	1.71	1.66	2.07
簡易モデル1(パネ)	14.45	14.35	18.38	21.33	10.34	1.45	1.75	2.30
簡易モデル2(パネ)	16.08	15.55	17.70	14.30	9.15	1.58	1.60	2.28

6.1.4 考察

- H24 年度の大型パネル構面水平加力実験の O 型 C 型試験体¹⁾について、FEM 事後解析を実施し、実験との適合性を確認した。脚部バネ配置モデルでは、実験の剛性・最大耐力・破壊箇所を FEM 事後解析により概ね評価できた。一方、脚部ピン支持モデルでは、実験の剛性より FEM 解析の剛性の方が大きくなる傾向であった。
- 簡易モデルについて、脚部バネ配置モデルでは、実験の剛性・最大耐力・破壊箇所などを概ね評価できた。一方、脚部ピン支持モデルでは、剛性・耐力を過大評価する傾向があるため、今後更なる検討が必要である。
- FEM 解析と簡易モデル(何れも脚部バネ配置モデル)で、O 型試験体の場合に各部の応力分布にばらつきはあるが、C 型試験体については、比較的良い対応を示した。
- FEM 解析(脚部バネ配置モデル)での最大せん断力 Q_{max} (実験での最大せん断力の 3 体平均)時の破壊箇所(まぐさ端の引張破断)の応力度は $20\sim 22\text{N/mm}^2$ 程度であった。また、その時のまぐさ・壁柱・腰壁のせん断応力度は $2.0\sim 3.0\text{N/mm}^2$ 程度であった。
この結果を受け、後の 6.2 節及び 6.3 節の FEM 解析において、試験体の最大せん断力を予想するために用いる CLT パネル引張(及び圧縮)の最大強度(基準強度)を 25N/mm^2 、面内せん断の最大強度(基準強度)を 3.0N/mm^2 と設定する。

6.2 L形・T形パネル水平加力実験に対応する解析モデルの検討

6.2.1 検討事項

ここでは、CLT 大型パネルの応力状態の把握を念頭に、CLT パネルの水平加力実験の試験体 (L形 T 形) について、FEM 事前解析を実施したものである。

6.2.2 解析概要

(a) 解析モデル

- ・解析モデルは L 形と T 形、CLT パネル厚さ 150mm、表層ラミナ方向は縦方向。
- ・解析では水平力位置の水平変位が 1cm まで実施。
- ・解析パラメータは、まぐさせい (D_b) と壁柱幅 (D_c) の組み合わせ (詳細は(c)参照)。

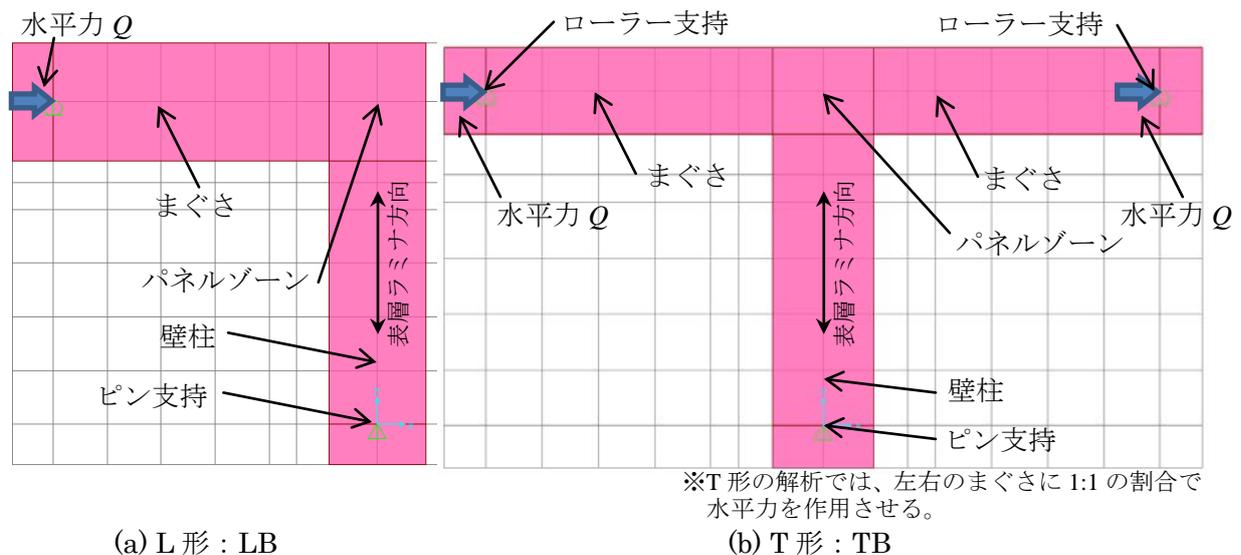


図 6.2.2-1 解析モデル・水平力位置および支持条件

(b) CLT パネル:弾性シェル要素

ヤング係数およびせん断弾性剛性は、「高知おおとよ製材社員寮建築計画」にて、設定した値を用い、以下に示す。

ヤング係数 $E_x : 1,900\text{N/mm}^2$ 、 $E_y : 3,850\text{N/mm}^2$ 、 $E_{rx} : 5,722\text{N/mm}^2$

せん断弾性係数 $G_{xy} : 296\text{N/mm}^2$ 、 $G_{yz} : 121\text{N/mm}^2$ 、 $G_{zx} : 49\text{N/mm}^2$

弾性係数 [GPa]									
部位	CLT厚	面内					面外		
		E_x	E_y	G_{xy}	E_{rx}	E_{ry}	G_{yz}	G_{zx}	
鉛直構面	150	1.900	3.850	0.296	5.722	0.988	0.121	0.049	
水平構面	180	1.583	4.417	0.340	5.978	0.572	0.153	0.041	

検定用応力度割増率									
部位	CLT厚	面内					面外		
		σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_{rx}	σ_{ry}	τ_{yz}	τ_{zx}	
鉛直構面	150	1.883	2.500	1.883	1.267	2.885	1.216	2.308	
水平構面	180	1.642	3.000	1.642	1.342	4.154	1.358	2.769	

設計用基準強度 [MPa]			
種類	強度	備考	
面外曲げ	F_b	22.50	JAS, ラミナ曲げ強さ・L60下限値
面内せん断	F_s	2.70	告示1024, すぎ集材積層方向
面外せん断	F_s	1.20	IAJ規準 構造用合板 基準許容せん断応力度×3
面内圧縮	F_c	13.50	JAS, ラミナ引張強さ・L60下限値
面内引張	F_t	13.50	
圧縮座屈	F_k	9.23	告示1024+有効細長比

図 6.2.2-2 CLT パネルの設計用構造性能

6.2.3 試験体形状一覧

図 6.2.3-1 に L 形試験体図を、図 6.2.3-2 に T 形試験体図を示す。図中の赤点は、実験における加力位置である。

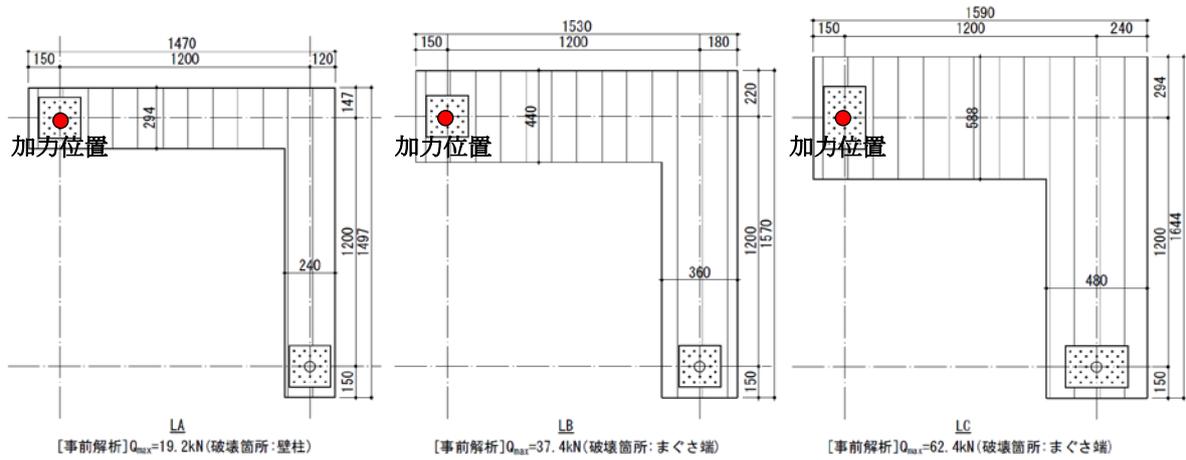


図 6.2.3-1 L 形試験体

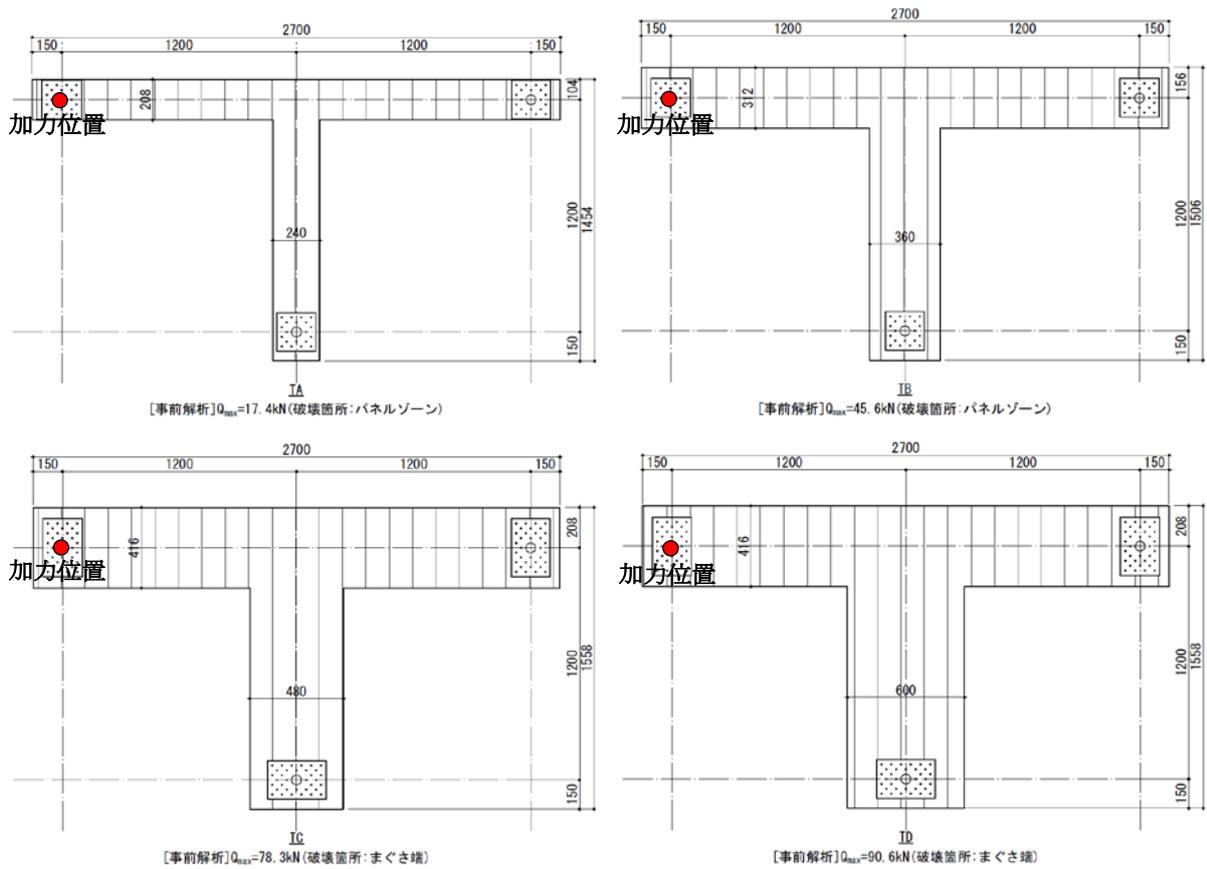


図 6.2.3-2 T 形試験体

6.2.4 FEM 解析結果

(a) 破壊箇所及び最大耐力

次頁(表 6.2.4-1 及び表 6.2.4-2)に FEM 解析による破壊箇所及び最大耐力の想定を示す。

FEM 解析モデルによる破断箇所及び最大耐力の想定方法は下記の手順による。

- ①：加力点の水平変位が 1cm になるときの、
まぐさの最大水平方向応力度(S11)
壁柱の最大鉛直方向応力度(S22)
パネルゾーンの最大せん断応力度(S12)
をコンター図より求める。
- ②：①により求めた応力度は一樣断面における応力度であるため、その応力に応力割増係数を掛ける (→CLT パネルの有効層に作用する応力にする)。
ここで、応力割増係数は S11 で 2.5、S22 で 1.883、S12 で 1.0 とする。
- ③：基準強度を、S11 及び S22 では 25N/mm^2 とし、S12 では 3.0N/mm^2 とする。
- ④：②で求めた割増係数を掛けた応力度 / 基準強度 = 基準強度に達する(破断する)倍率
- ⑤：④の倍率の最小値を求める。この倍率が最も小さい箇所で破壊すると想定。
また、1cm 時の水平力 × ⑤の倍率 = 最大耐力 となる。

表中の黄色塗潰し部分が破断箇所、赤字が最大耐力である。

表 6.2.4-1 FEM 解析による破壊箇所及び最大耐力の想定(L形)

試験体名	項目	単位	まぐさ S11 σ	壁柱 S22 σ	パネルゾーン S12 τ	水平力[kN] $Q : 1\text{cm}$ (⑤×Q)
LA	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	2.33	3.18	0.50	4.60
	②:①×割増率	[N/mm ²]	5.83	5.99	0.50	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	4.29	4.18	6.00	
	⑤:④min 値	[-]	4.18			
LB	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	3.95	4.18	0.70	14.79
	②:①×割増率	[N/mm ²]	9.88	7.87	0.70	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	2.53	3.18	4.29	
	⑤:④min 値	[-]	2.53			
LC	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	5.29	5.39	0.78	33.00
	②:①×割増率	[N/mm ²]	13.23	10.15	0.78	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	1.89	2.46	3.85	
	⑤:④min 値	[-]	1.89			

※割増率 : S11=2.5、S22=1.883、S12=1.0

表 6.2.4-2 FEM 解析による破壊箇所及び最大耐力の想定(T形)

試験体名	項目	単位	まぐさ S11 σ	壁柱 S22 σ	パネルゾーン S12 τ	水平力[kN] $Q : 1\text{cm}$ (⑤×Q)
TA	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	1.73	2.77	0.71	4.12
	②:①×割増率	[N/mm ²]	4.33	5.22	0.71	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	5.78	4.79	4.23	
	⑤:④min 値	[-]	4.23			
TB	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	2.56	3.80	0.89	13.54
	②:①×割増率	[N/mm ²]	6.40	7.16	0.89	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	3.91	3.49	3.37	
	⑤:④min 値	[-]	3.37			
TC	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	3.79	4.60	1.10	29.68
	②:①×割増率	[N/mm ²]	9.48	8.66	1.10	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	2.64	2.89	2.73	
	⑤:④min 値	[-]	2.64			
TD	①:FEM 応力(1cm 時)	[N/mm ²]	4.84	4.41	1.18	43.85
	②:①×割増率	[N/mm ²]	12.10	8.30	1.18	
	③:基準強度	[N/mm ²]	25	25	3	
	④:③/②	[-]	2.07	3.01	2.54	
	⑤:④min 値	[-]	2.07			

※割増率 : S11=2.5、S22=1.883、S12=1.0

(b)応力コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.2.4-1 に加力点水平変位=1.0cm 時の L 形の各コンター図を示す。

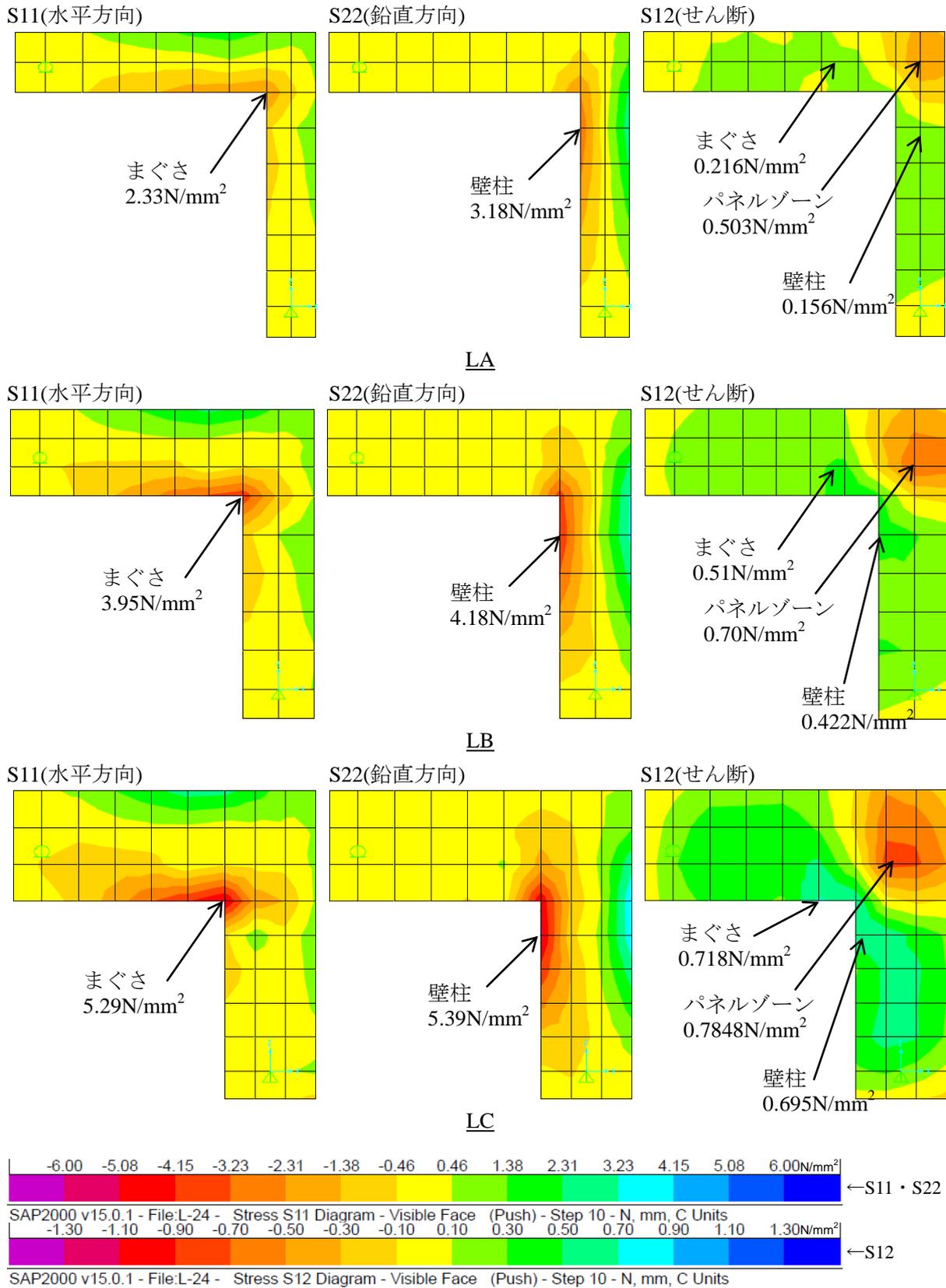


図 6.2.4-1 L 形の各コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.2.4-2 に加力点水平変位=1.0cm 時の T 形の水平方向応力度(S11)コンター図を示す。

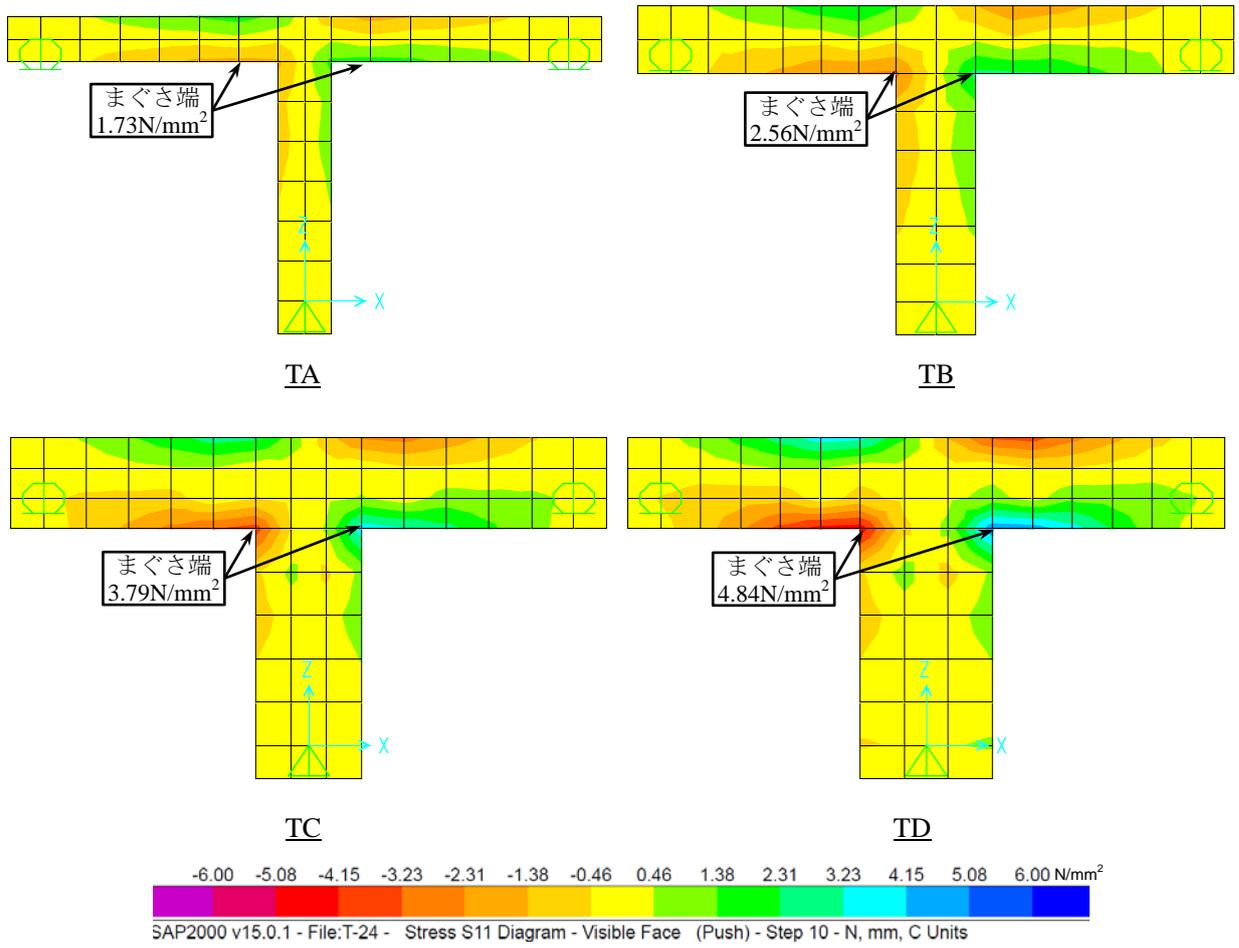


図 6.2.4-2 T 形の水平方向応力度(S11)コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.2.4-3 に加力点水平変位=1.0cm 時の T 形の鉛直方向応力度(S22)コンター図を示す。

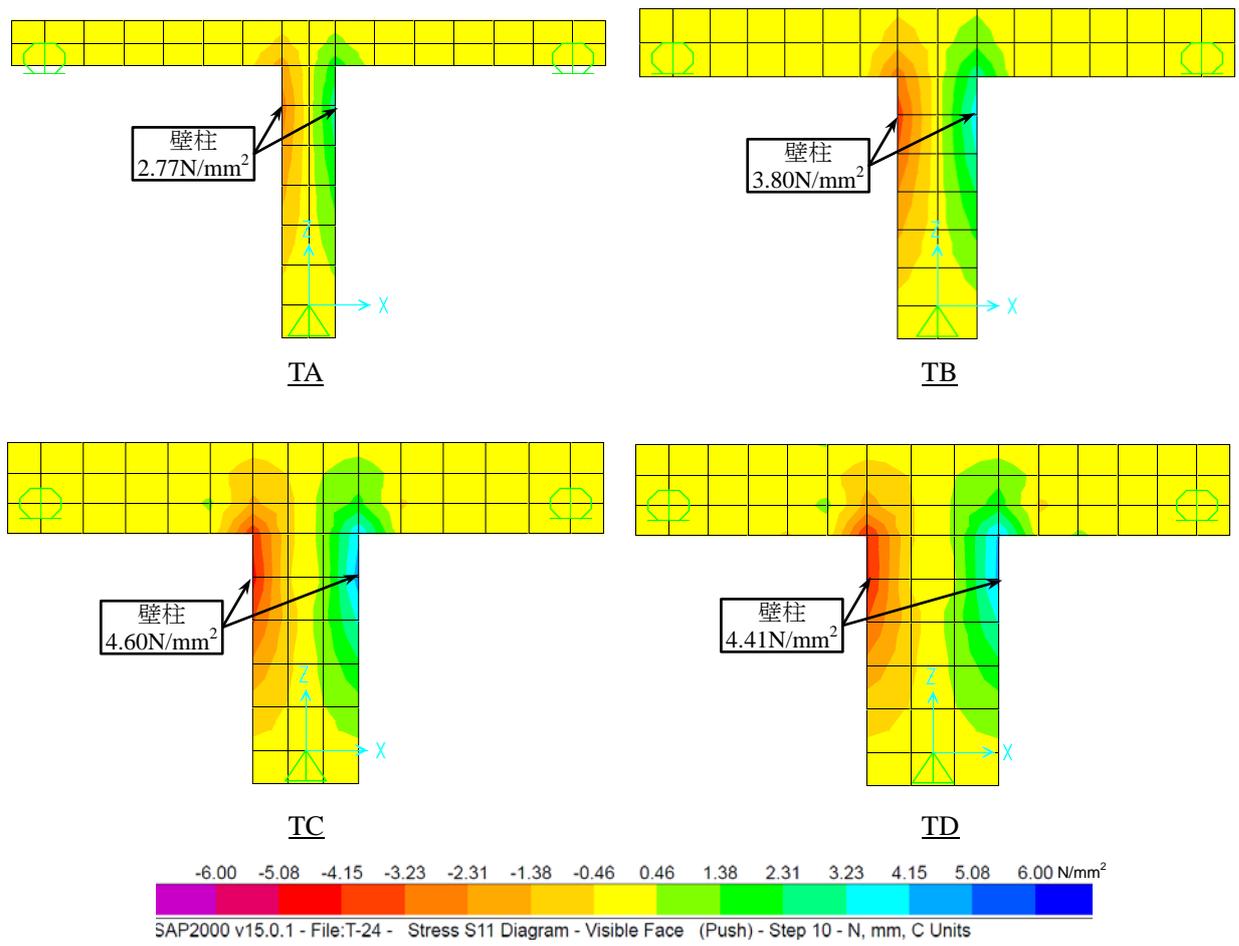


図 6.2.4-3 T 形の鉛直方向応力度(S22)コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.2.4-4 に加力点水平変位=1.0cm 時の T 形のせん断応力度(S12)コンター図を示す。

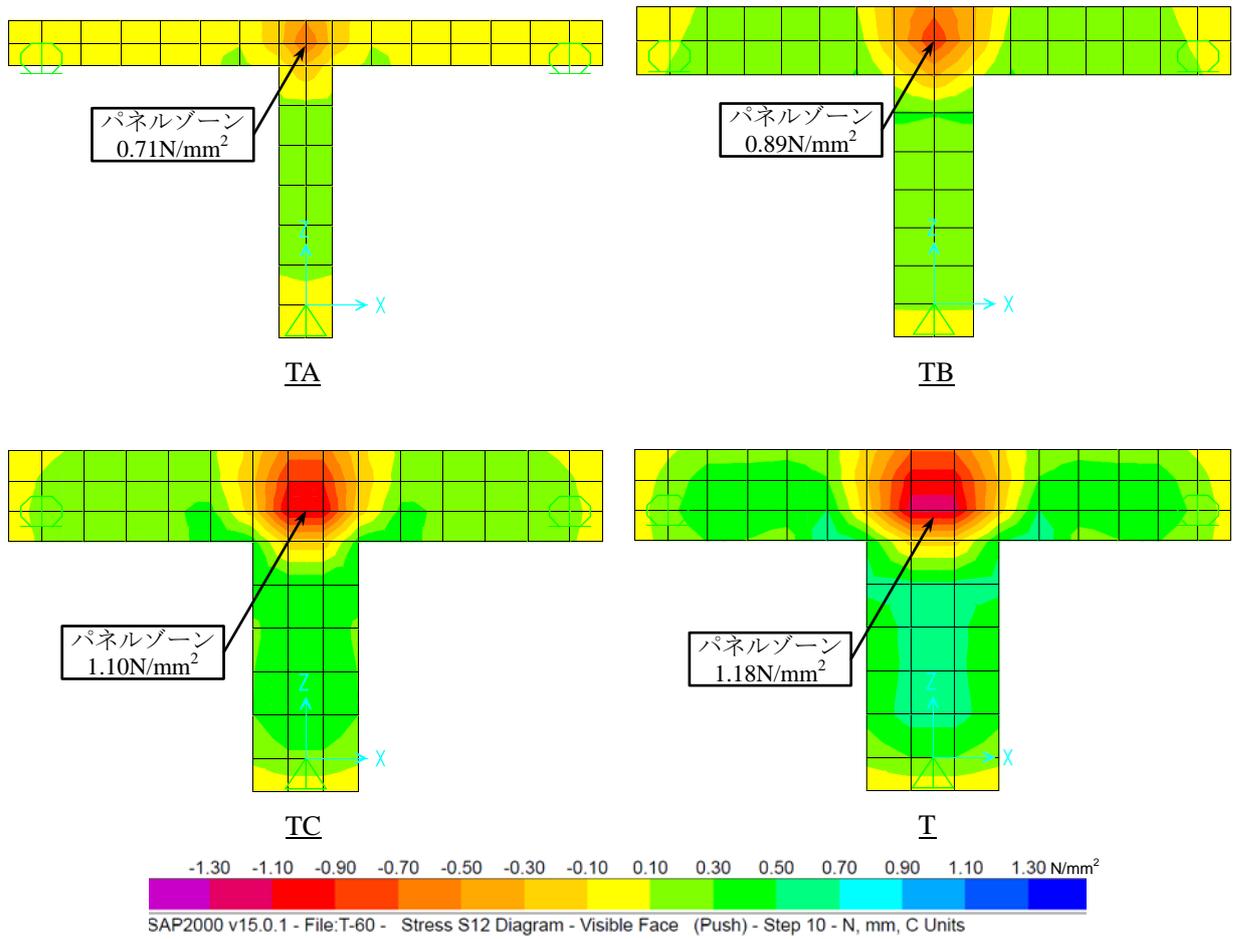


図 6.2.4-4 T 形のせん断応力度(S12)コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

6.2.5 実験と事前解析の比較

図 6.2.5-1 及び表 6.2.5-1 に L 形の実験と解析の比較を、図 6.2.5-2 及び表 6.2.5-2 に T 形の実験の解析の比較を示す。試験体は L 形が 9 体、T 形が 12 体である。同じ形状の試験体が 3 体あり、引き加力、繰返し加力、押し加力を行った。※以下に示す実験結果は速報時のものである。

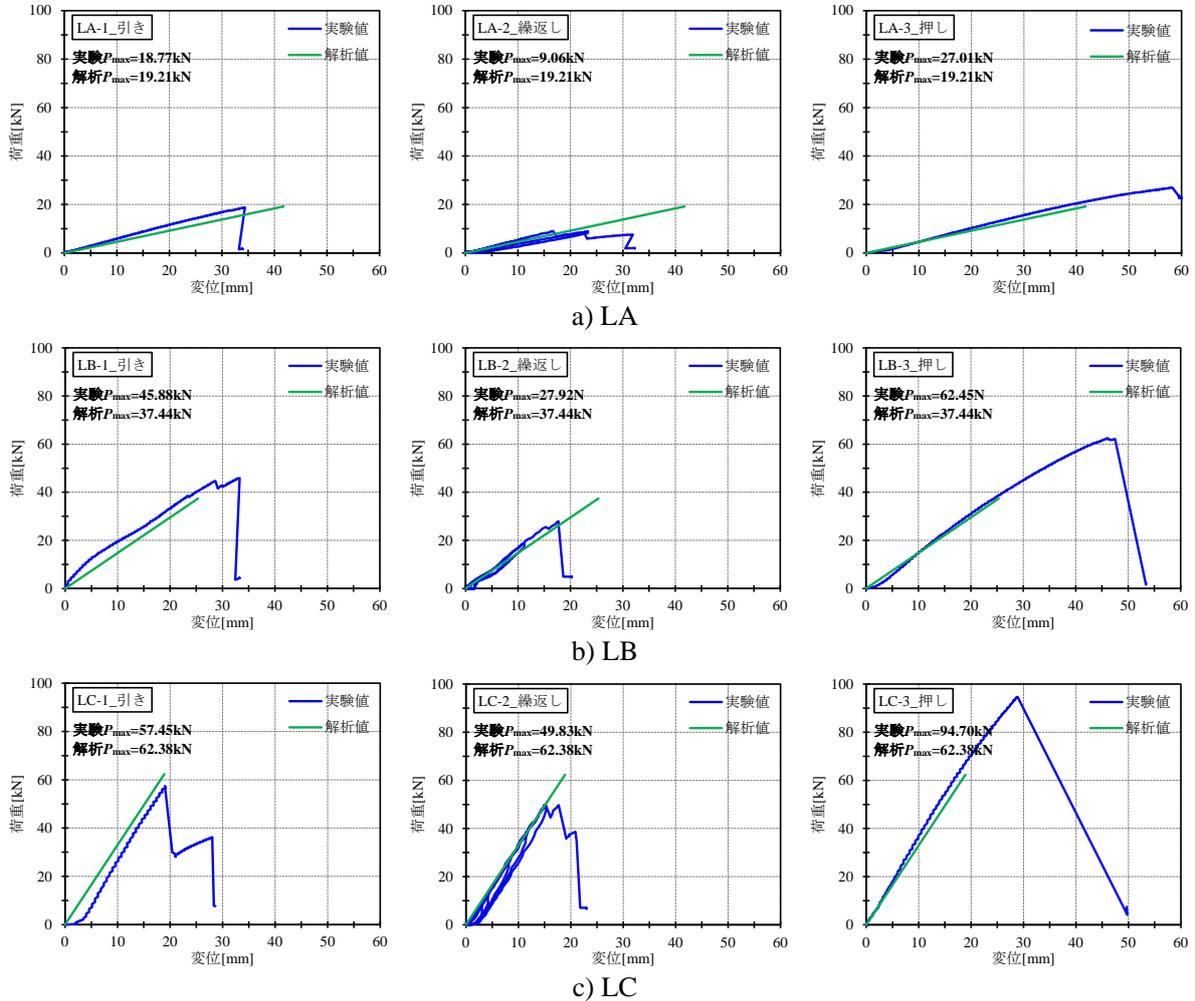


図 6.2.5-1 L 形の実験と解析の比較

表 6.2.5-1 L 形の実験と解析の比較

試験体名	加力方向	P_{max} [kN]	引き加力 P_{max} に対する比率	実験 P_{max} /解析 P_{max} [-]	δ_{max} [mm]	破断箇所
LA-1	引き	18.77	1.00	0.98	34.40	まぐさの曲げ破壊
LA-2	繰返し	9.06	0.48	0.47	16.70	まぐさの曲げ破壊
LA-3	押し	27.01	1.44	1.41	58.26	パネルゾーンのせん断破壊
LA-解析	—	19.21	1.02	—	41.76	柱の曲げ破壊
LB-1	引き	45.88	1.00	1.23	33.28	まぐさの曲げ破壊
LB-2	繰返し	27.92	0.61	0.75	17.68	まぐさの曲げ破壊
LB-3	押し	62.45	1.36	1.67	46.17	パネルゾーンのせん断破壊
LB-解析	—	37.44	0.82	—	25.31	まぐさの曲げ破壊
LC-1	引き	57.45	1.00	0.92	19.03	まぐさの曲げ破壊
LC-2	繰返し	49.83	0.87	0.80	15.19	まぐさの曲げ破壊
LC-3	押し	94.70	1.65	1.52	28.88	まぐさの曲げ破壊
LC-解析	—	62.38	1.09	—	18.90	まぐさの曲げ破壊

※以下に示す実験結果は速報時のものである。

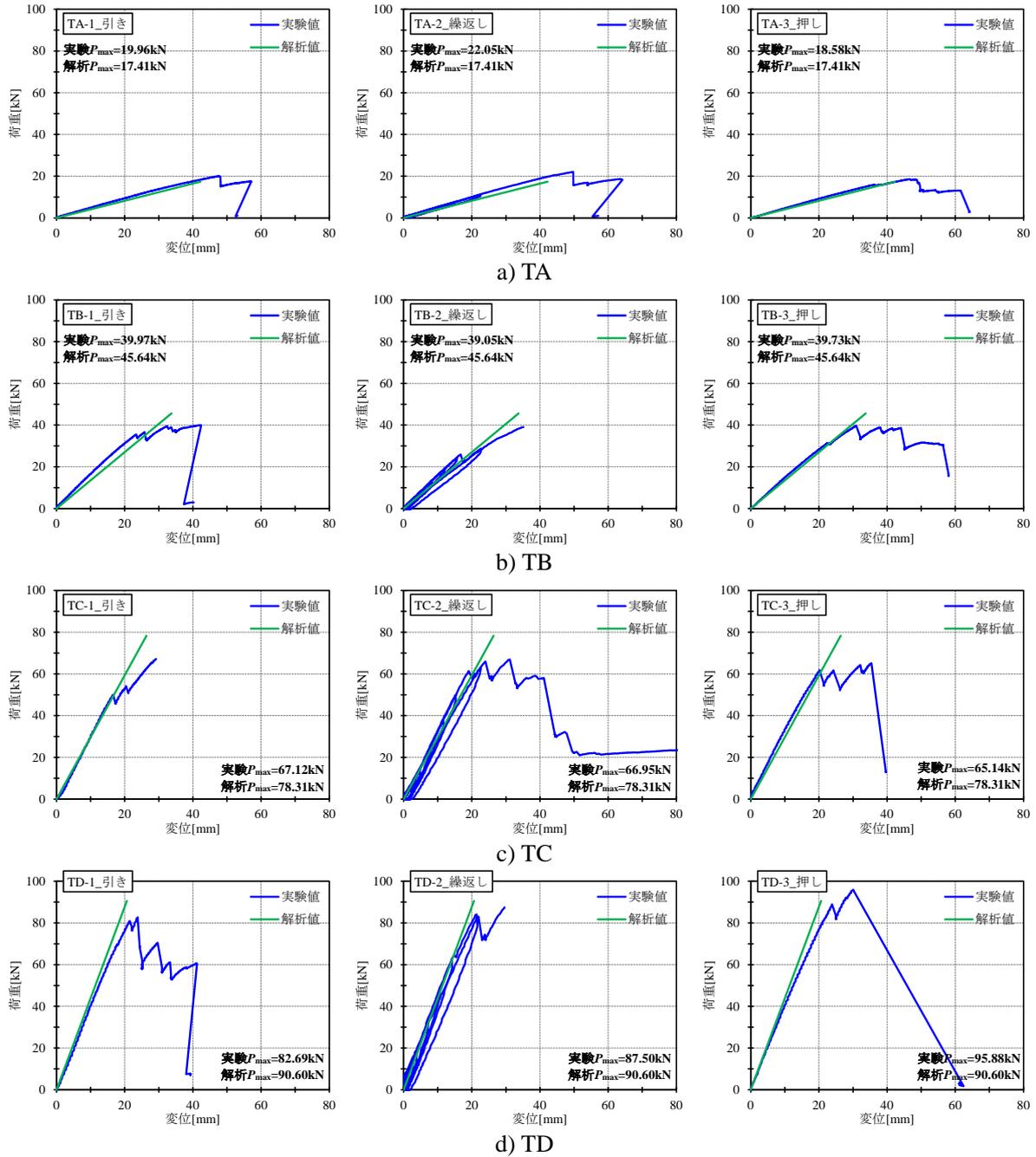


図 6.2.5-2 T 形の実験と解析の比較

表 6.2.5-2 T 形の実験と解析の比較

試験体名	加力方向	P_{max} [kN]	引き加力 P_{max} に 対する比率[-]	実験 P_{max} /解析 P_{max} [-]	δ_{max} [mm]	破断箇所
TA-1	引き	19.96	1.00	1.15	47.54	まぐさの曲げ破壊
TA-2	繰返し	22.05	1.10	1.27	49.74	まぐさの曲げ破壊
TA-3	押し	18.58	0.93	1.07	46.66	パネルゾーンのせん断破壊
TA-解析	—	17.41	0.87	—	42.26	パネルゾーンのせん断破壊
TB-1	引き	39.97	1.00	0.88	42.45	まぐさの曲げ破壊
TB-2	繰返し	39.05	0.98	0.86	35.13	まぐさの曲げ破壊
TB-3	押し	39.73	0.99	0.87	30.93	パネルゾーンのせん断破壊
TB-解析	—	45.64	1.14	—	33.71	パネルゾーンのせん断破壊
TC-1	引き	67.12	1.00	0.86	29.19	まぐさの曲げ破壊
TC-2	繰返し	66.95	1.00	0.85	31.15	パネルゾーンのせん断破壊, 柱の曲げ破壊
TC-3	押し	65.14	0.97	0.83	35.41	まぐさの曲げ破壊, 柱の曲げ破壊
TC-解析	—	78.31	1.17	—	26.38	まぐさの曲げ破壊
TD-1	引き	82.69	1.00	0.91	23.78	まぐさの曲げ破壊
TD-2	繰返し	87.50	1.06	0.97	29.63	まぐさの曲げ破壊
TD-3	押し	95.88	1.16	1.06	30.00	まぐさの曲げ破壊
TD-解析	—	90.60	1.10	—	20.66	まぐさの曲げ破壊

6.2.6 考察

- FEM 事前解析では、L 形では曲げ破壊が先行し、T 形の TA, TB(横材・縦材のせいが比較的小さい試験体)ではパネルゾーンのせん断破壊が先行し、T 形の TC, TD(横材・縦材のせいが比較的大きい試験体)では曲げ破壊が先行するという結果になった。
- L 形・T 形ともに、剛性については、実験と事前解析は比較的良い対応である。
- 今後は、FEM 解析で予想される破壊箇所と実験での破壊箇所の比較や、加力方向による最大耐力のばらつき(特に L 形)を FEM 解析で予測できるかを検討する必要がある。

6.3 大型有開口パネル実大構面水平加力実験に対応する解析モデルの検討

6.3.1 検討事項

ここでは、CLT 大型パネルの応力状態の把握を念頭に、CLT パネルの大型有開口パネル実大構面水平加力実験の試験体について、FEM 事前解析を実施したものである。

6.3.2 解析概要

(a) 解析モデル

- ・解析モデルは、CLT パネル壁厚さ 150mm、床厚さ 210mm、非線形の軸バネ・せん断バネを配置。
- ・解析は変位制御とし、1 層モデルでは、まぐさ中央位置の水平変位が 1cm まで実施し、2 層モデルでは、まぐさ中央位置の水平変位が 1 層で 1cm、2 層で 2cm となる分布。

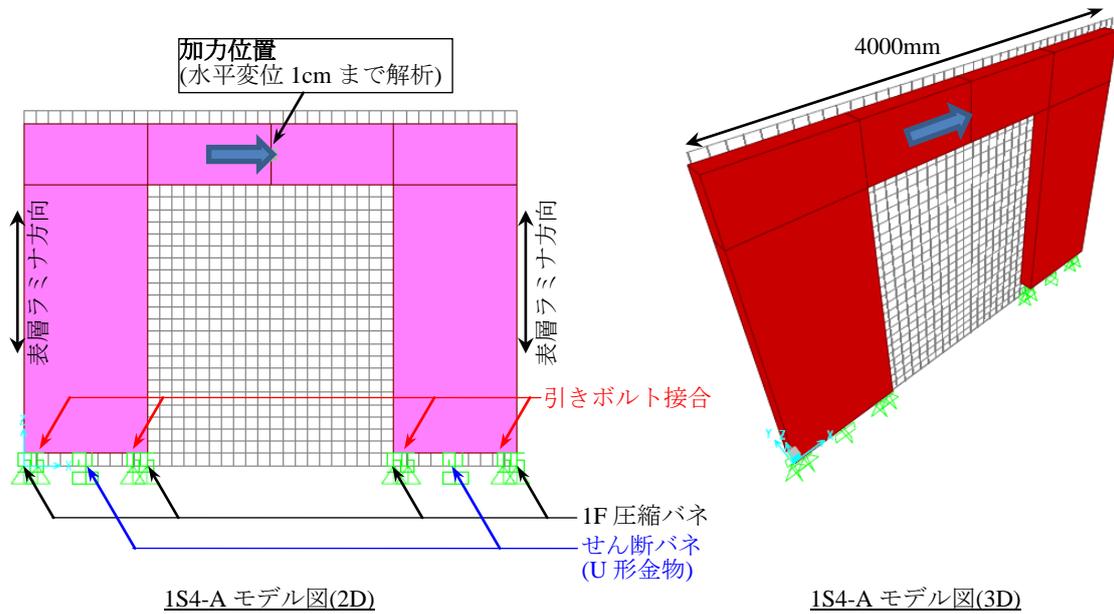


図 6.3.2-1 1S4-A の解析モデル図

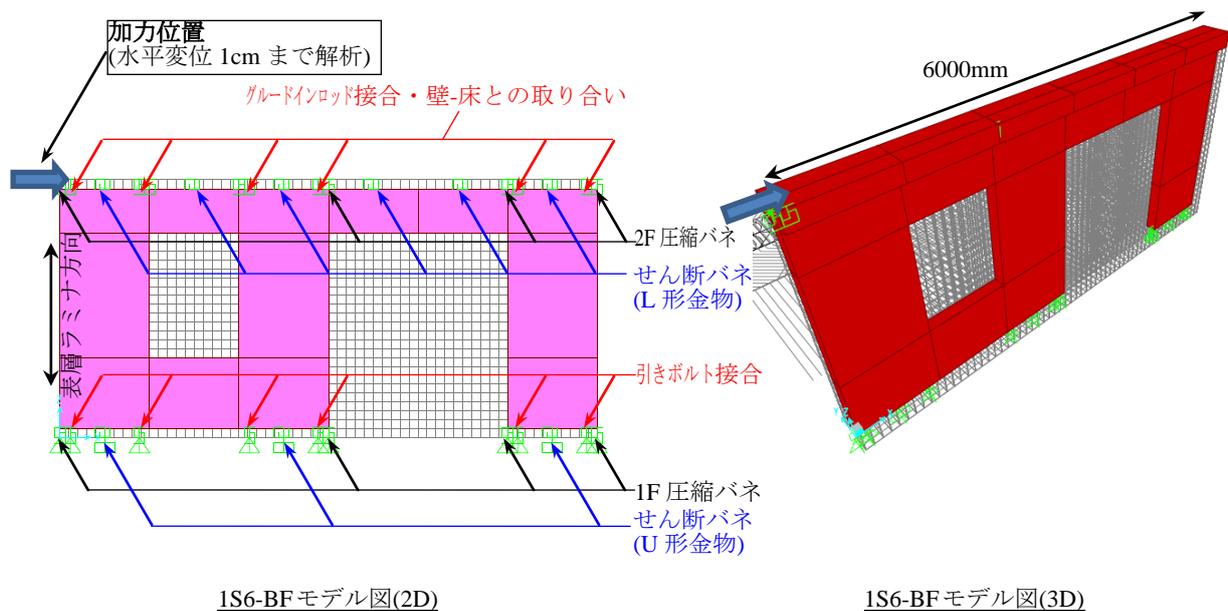


図 6.3.2-2 1S6-BF の解析モデル図

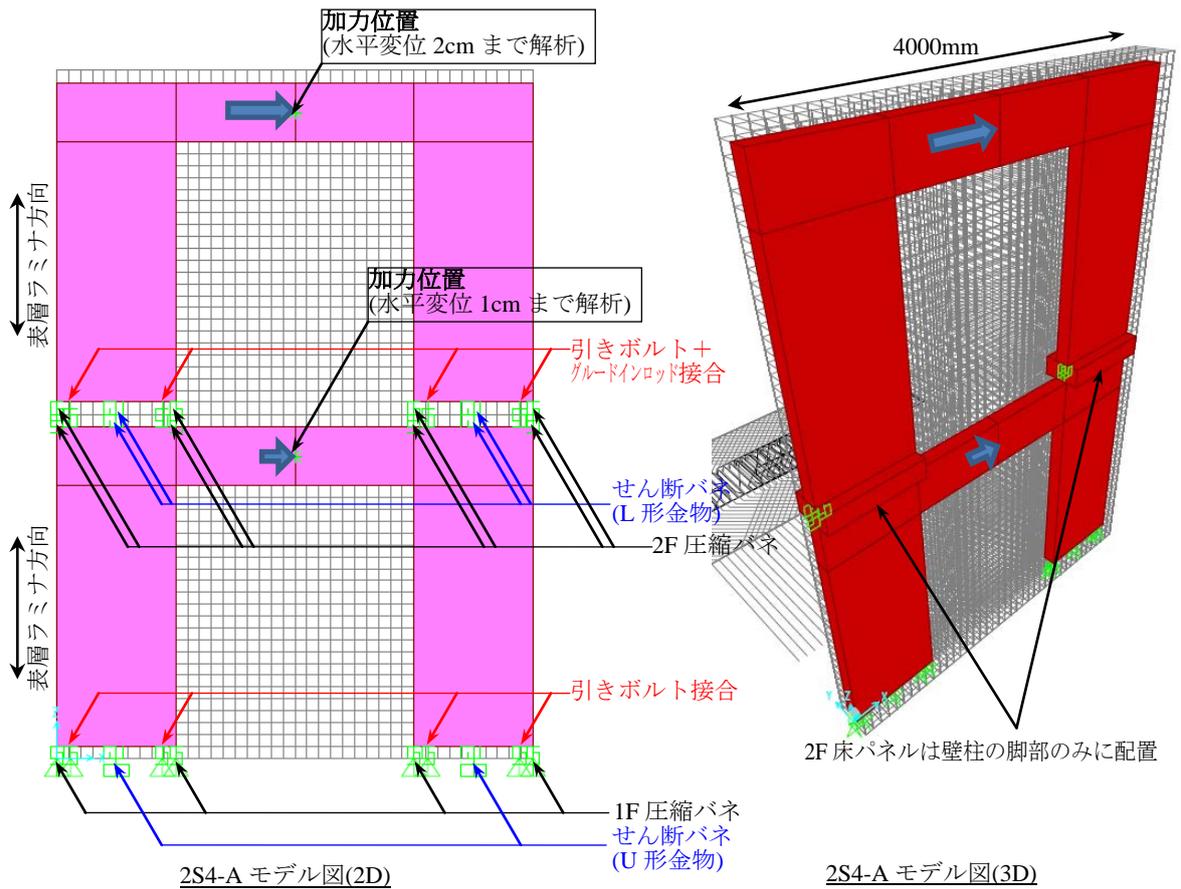


図 6.3.2-3 2S4-A の解析モデル図

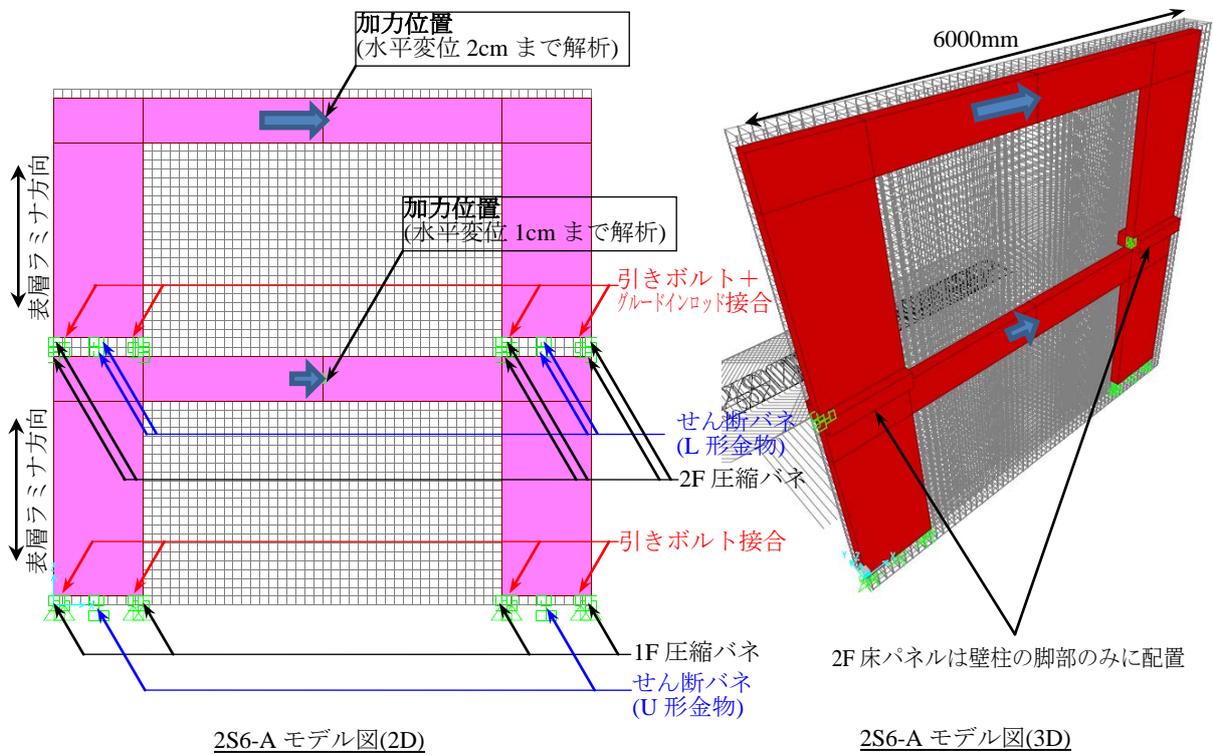


図 6.3.2-4 2S6-A の解析モデル図

(b)CLT パネル:弾性シェル要素

ヤング係数およびせん断弾性剛性は、「高知おおとよ製材社員寮建築計画」にて、設定した値を用い、以下に示す。

厚さ 150mm の場合

ヤング係数 $E_x : 1,900\text{N/mm}^2$ 、 $E_y : 3,850\text{N/mm}^2$ 、 $E_{rx} : 5,722\text{N/mm}^2$

せん断弾性係数 $G_{xy} : 296\text{N/mm}^2$ 、 $G_{yz} : 121\text{N/mm}^2$ 、 $G_{zx} : 49\text{N/mm}^2$

厚さ 210mm の場合 (ただし、CLT パネル厚 180mm を用いる)

ヤング係数 $E_x : 1,583\text{N/mm}^2$ 、 $E_y : 4,417\text{N/mm}^2$ 、 $E_{rx} : 5,978\text{N/mm}^2$

せん断弾性係数 $G_{xy} : 340\text{N/mm}^2$ 、 $G_{yz} : 153\text{N/mm}^2$ 、 $G_{zx} : 41\text{N/mm}^2$

弾性係数 [GPa]								
部位	CLT厚	面内			面外			
		E_x	E_y	G_{xy}	E_{rx}	E_{ry}	G_{yz}	G_{zx}
鉛直構面	150	1.900	3.850	0.296	5.722	0.988	0.121	0.049
水平構面	180	1.583	4.417	0.340	5.978	0.572	0.153	0.041

検定用応力度割増率								
部位	CLT厚	面内			面外			
		σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_{rx}	σ_{ry}	τ_{yz}	τ_{zx}
鉛直構面	150	1.883	2.500	1.883	1.267	2.885	1.216	2.308
水平構面	180	1.642	3.000	1.642	1.342	4.154	1.358	2.769

設計用基準強度 [MPa]			
種類	強度	備考	
面外曲げ	Fb	22.50	JAS, ラミナ曲げ強さ・L60下限値
面内せん断	Fs	2.70	告示1024, すぎ集成材積層方向
面外せん断	Fs	1.20	AIJ規準 構造用合板 基準許容せん断応力度×3
面内圧縮	Fc	13.50	JAS, ラミナ引張強さ・L60下限値
面内引張	Ft	13.50	JAS, ラミナ引張強さ・L60下限値
圧縮座屈	Fk	9.23	告示1024+有効細長比

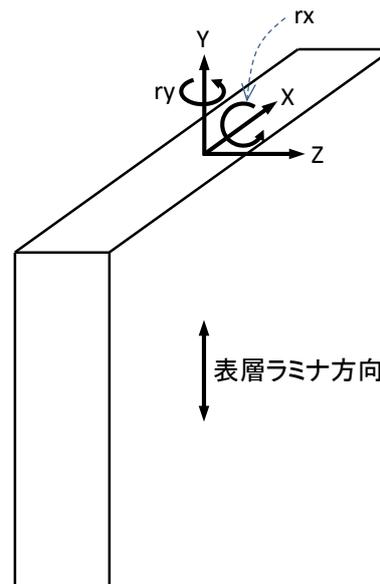


図 6.3.2-5 CLT パネルの設計用構造性能

(c)非線形バネ特性

非線形バネ特性は、文献2)にて設定したものを基本とし、パネルの圧縮特性および脚部(1F)のせん断バネは、CLT大型パネル構面の解析(6.1節)にて設定したものを採用する。

なお、軸バネ(2階引きボルト部分)については、2階壁下端が引きボルト接合(D25 転造ネジ)とし、1階壁上端がグルードインロッド接合(D25・規格SD345)とする。ここで、グルードインロッド接合は、2-D19の引張試験をもとに、1-D25の特性を推定(断面積比例)する。ボルト接合+グルードインロッド接合の特性は、それぞれの剛性(初期剛性)を直列バネにて評価し、2階引きボルトの第1折れ点を持って降伏するモデルとする。

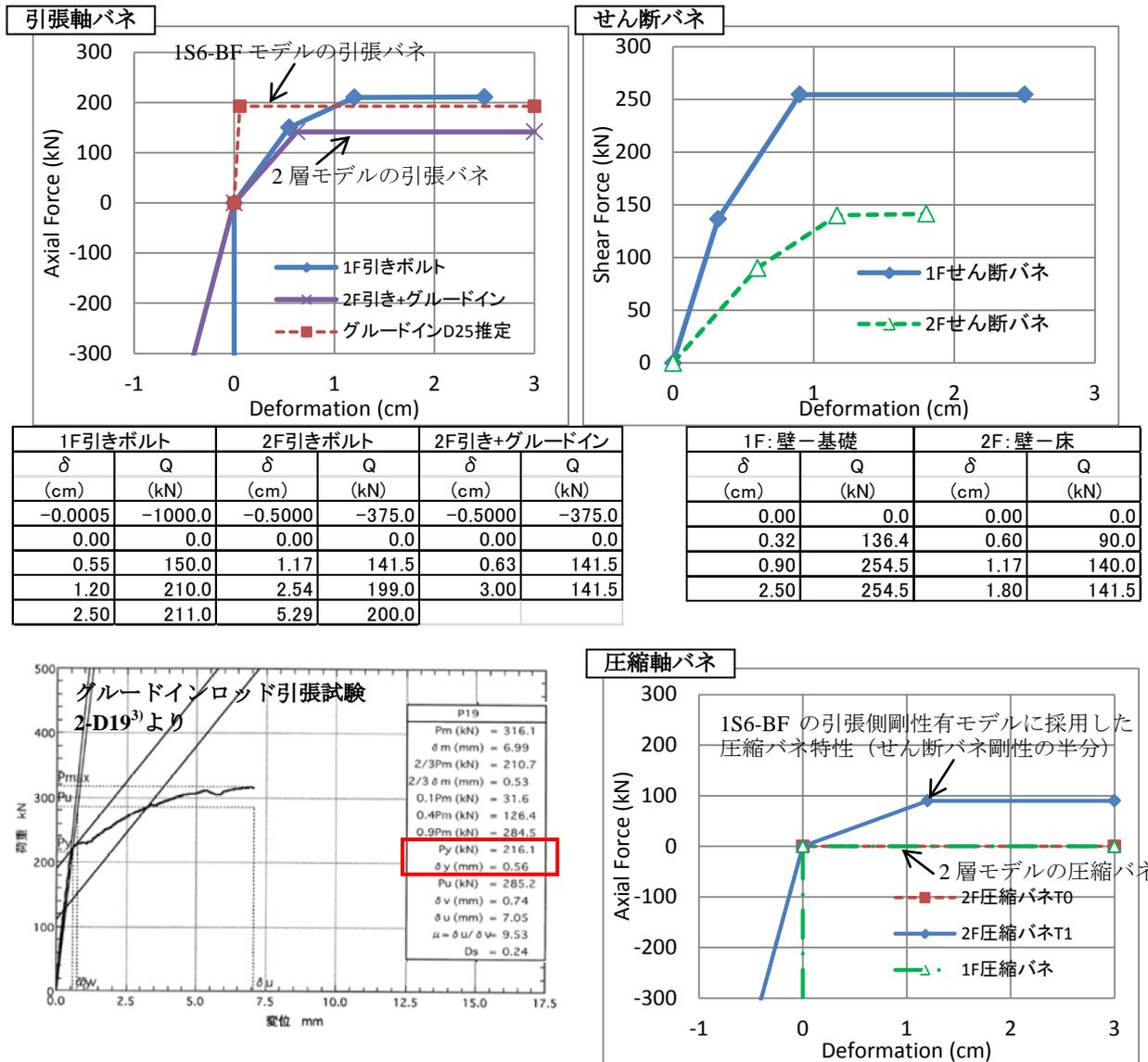


図 6.2.2-6 非線形バネ特性

< 2階の引張バネ特性の設定方法 >

2階引きボルトの初期剛性 = $141.5 / (1.17 / 2) = 242.35 \text{ kN/cm}$

グルードインロッド(2-D19)の剛性 = $216.1 / 0.056 = 3858.93 \text{ kN/cm}$

1-D25の剛性推定 = $3858.93 \times 507 \text{ mm}^2 [1\text{-D25 断面積}] / 574 \text{ mm}^2 [2\text{-D19 断面積}] = 3408.5 \text{ kN/cm}$

2階引きボルト+グルードインロッド接合の剛性 = $1 / [1/242.35 + 1/3408.5] = 226.26 \text{ kN/cm}$

6.3.3 試験体形状

(a) 大型有開口パネル実大構面水平加力実験の試験体

図 6.3.3-1 に 1S4 シリーズ試験体図を示す。図中の赤点は 実験における加力位置 である。

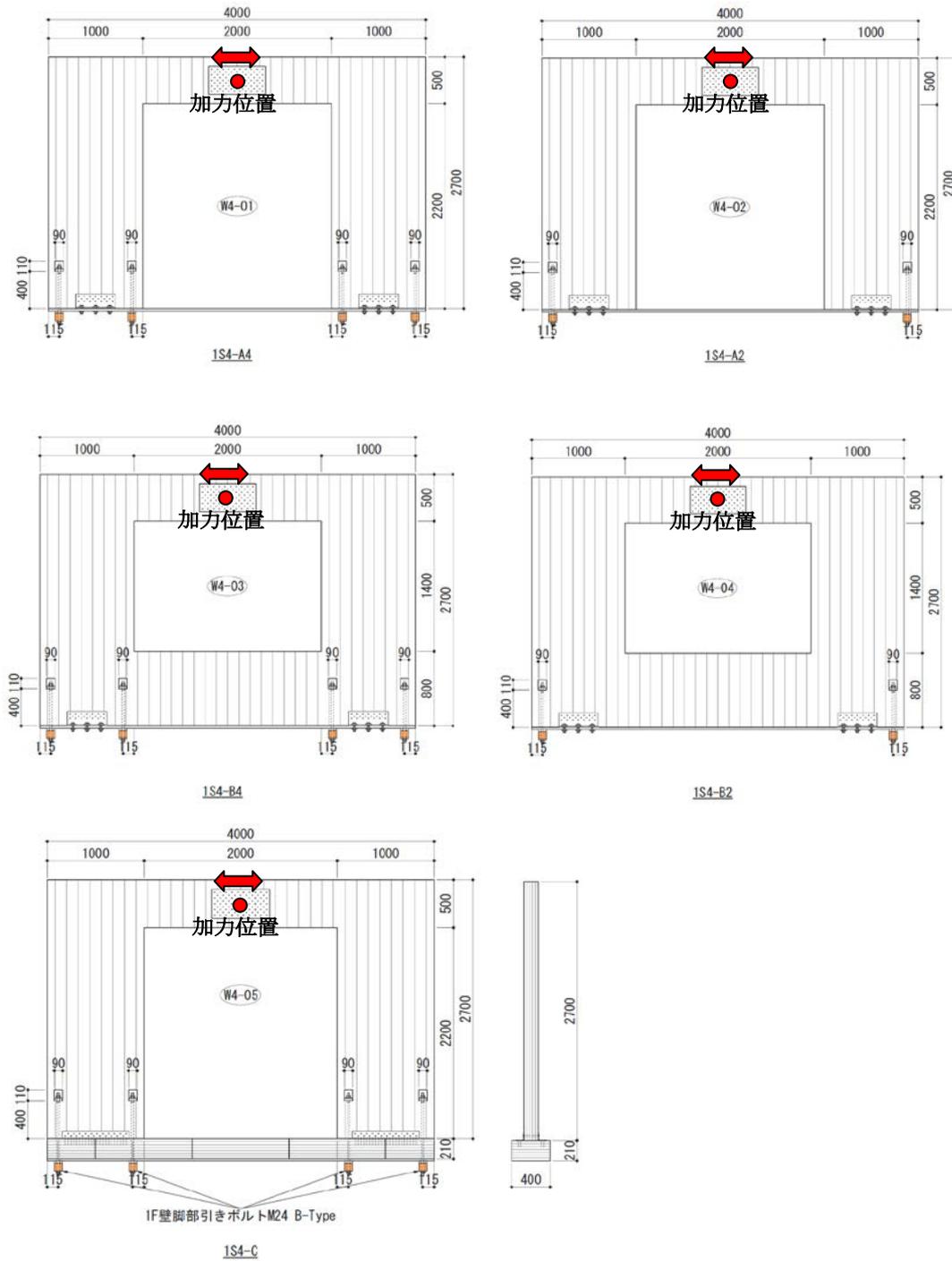


図 6.3.3-1 1S4 シリーズ試験体図

図 6.3.3-2 に 2S4 シリーズ試験体図を示す。図中の赤点は 実験における加力位置 である。

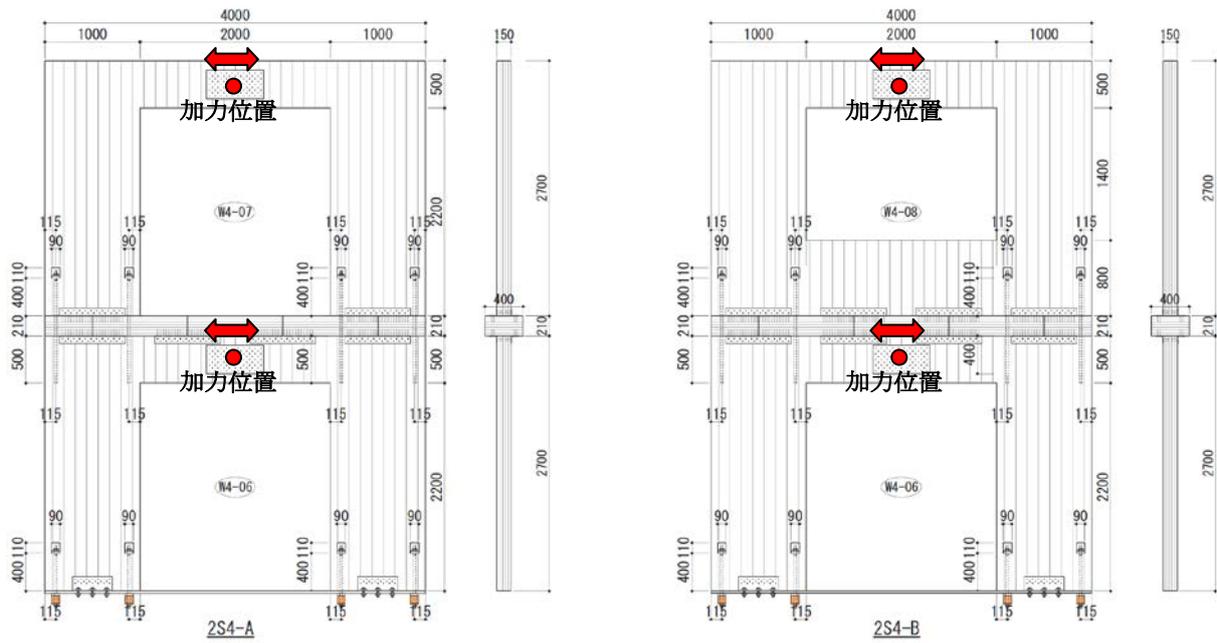


図 6.3.3-2 2S4 シリーズ試験体図

図 6.3.3-3 に 1S6 シリーズの試験体図を示す。図中の赤点は 実験における加力位置 である。

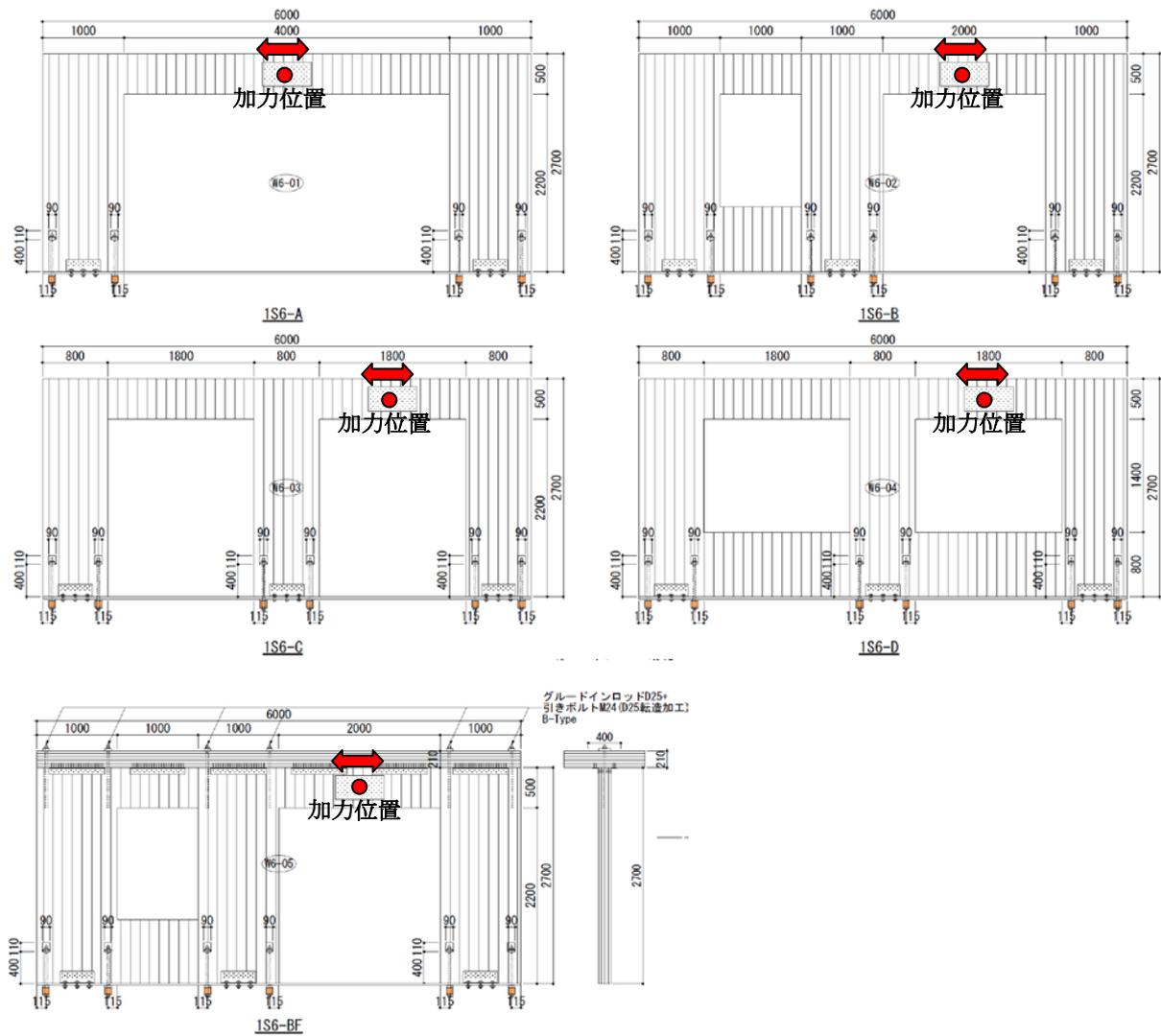


図 6.3.3-3 1S6 シリーズ試験体図

図 6.3.3-4 に 2S6 シリーズ試験体図①を示す。図中の赤点は 実験における加力位置 である。

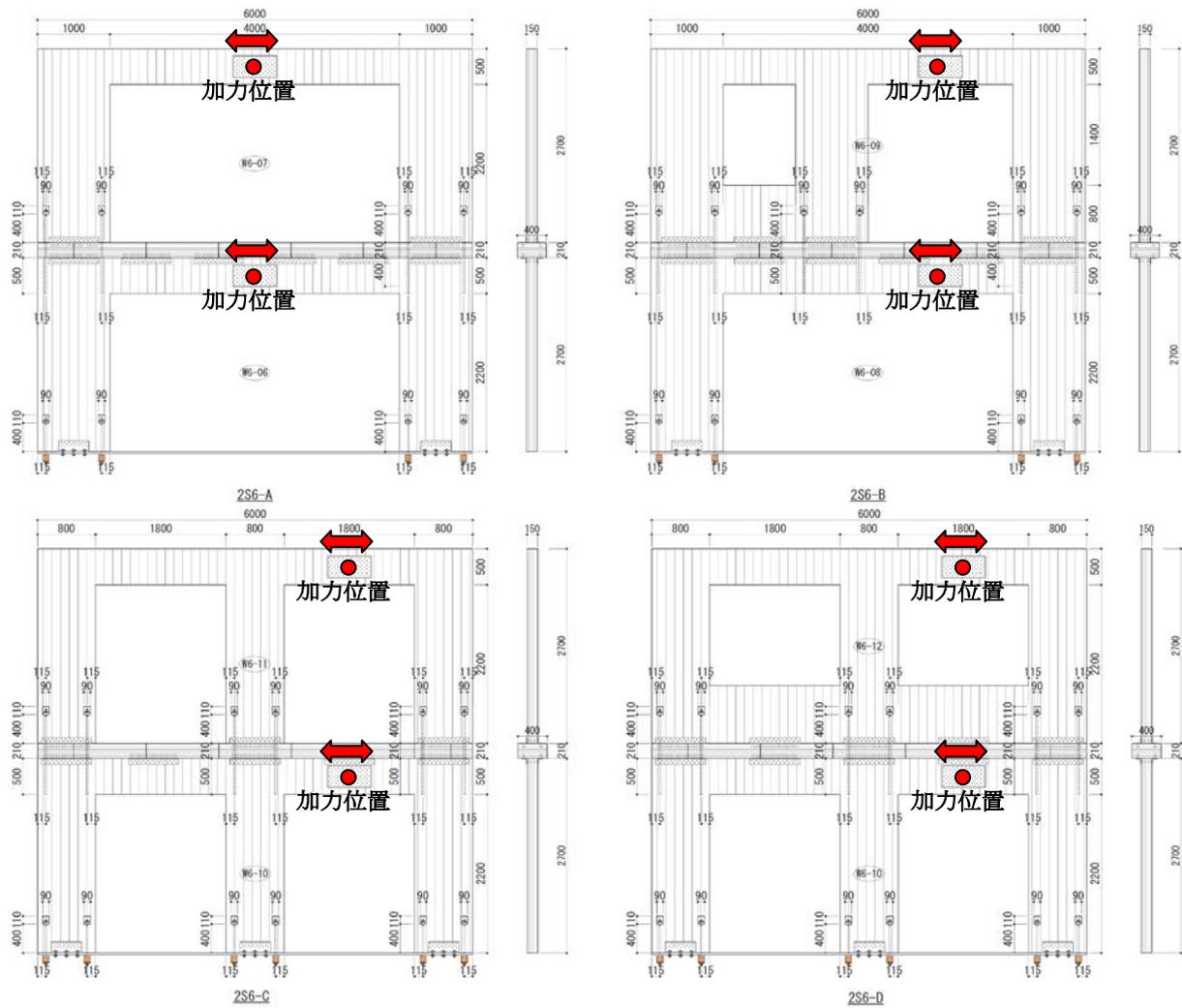


図 6.3.3-4 2S6 シリーズ試験体図①

図 6.3.3-5 に 2S6 シリーズ試験体図②を示す。図中の赤点は 実験における加力位置 である。

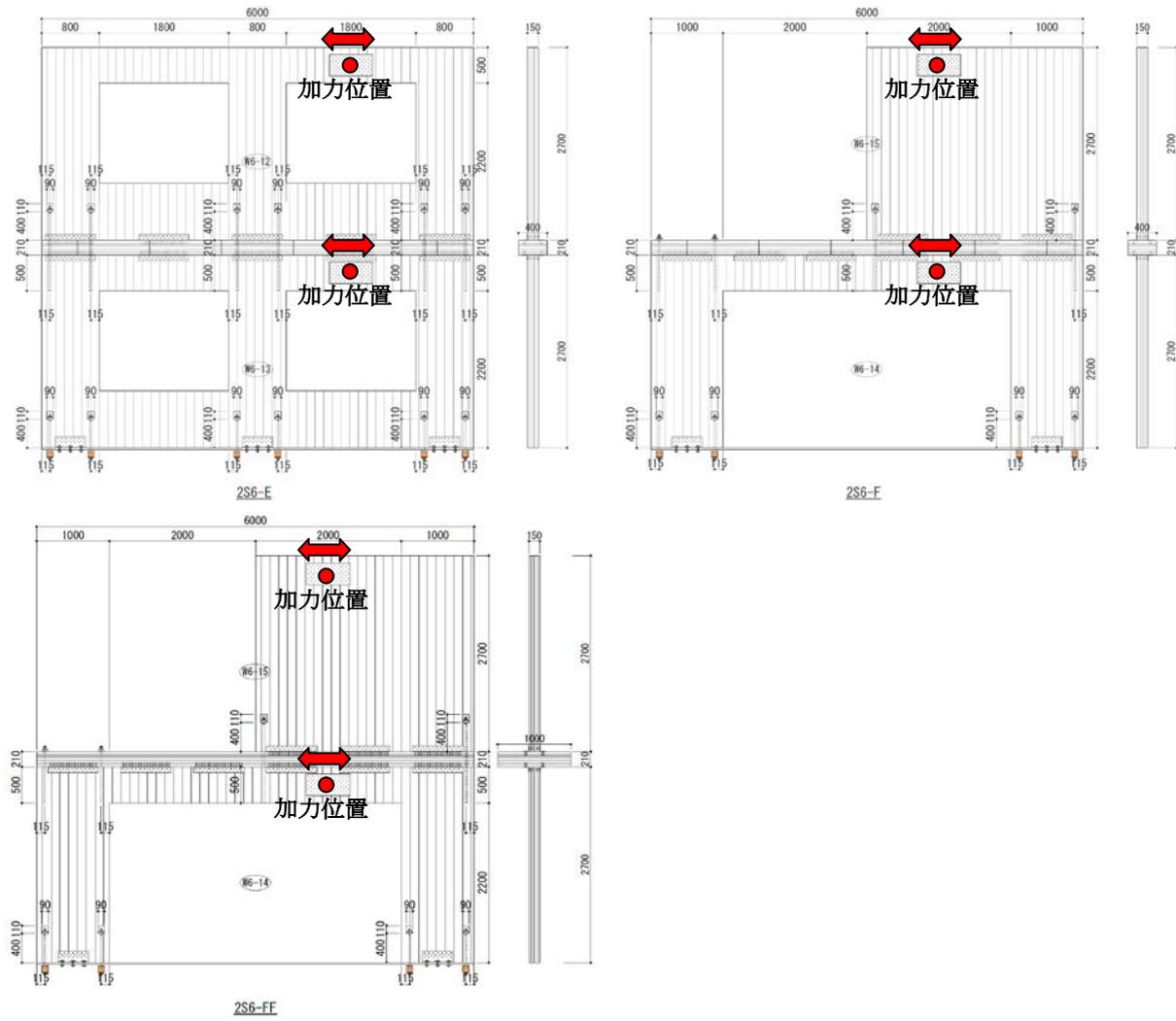


図 6.3.3-5 2S6 シリーズ試験体図②

(b) 解析モデルと試験体の相違点

以下に解析モデルと試験体の相違点を示す。

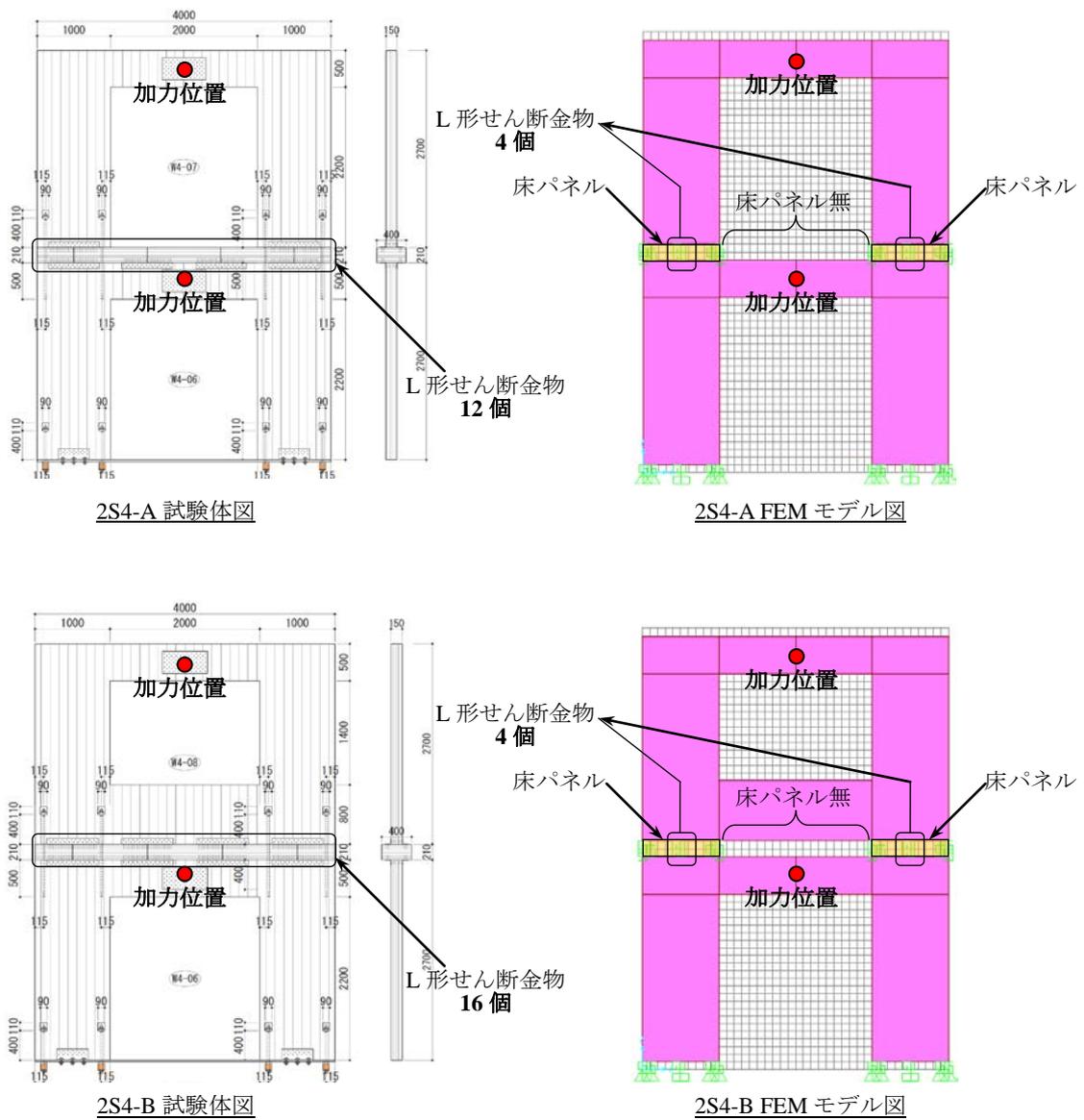


図 6.3.3-6 2S4 シリーズにおける実験と解析の相違点

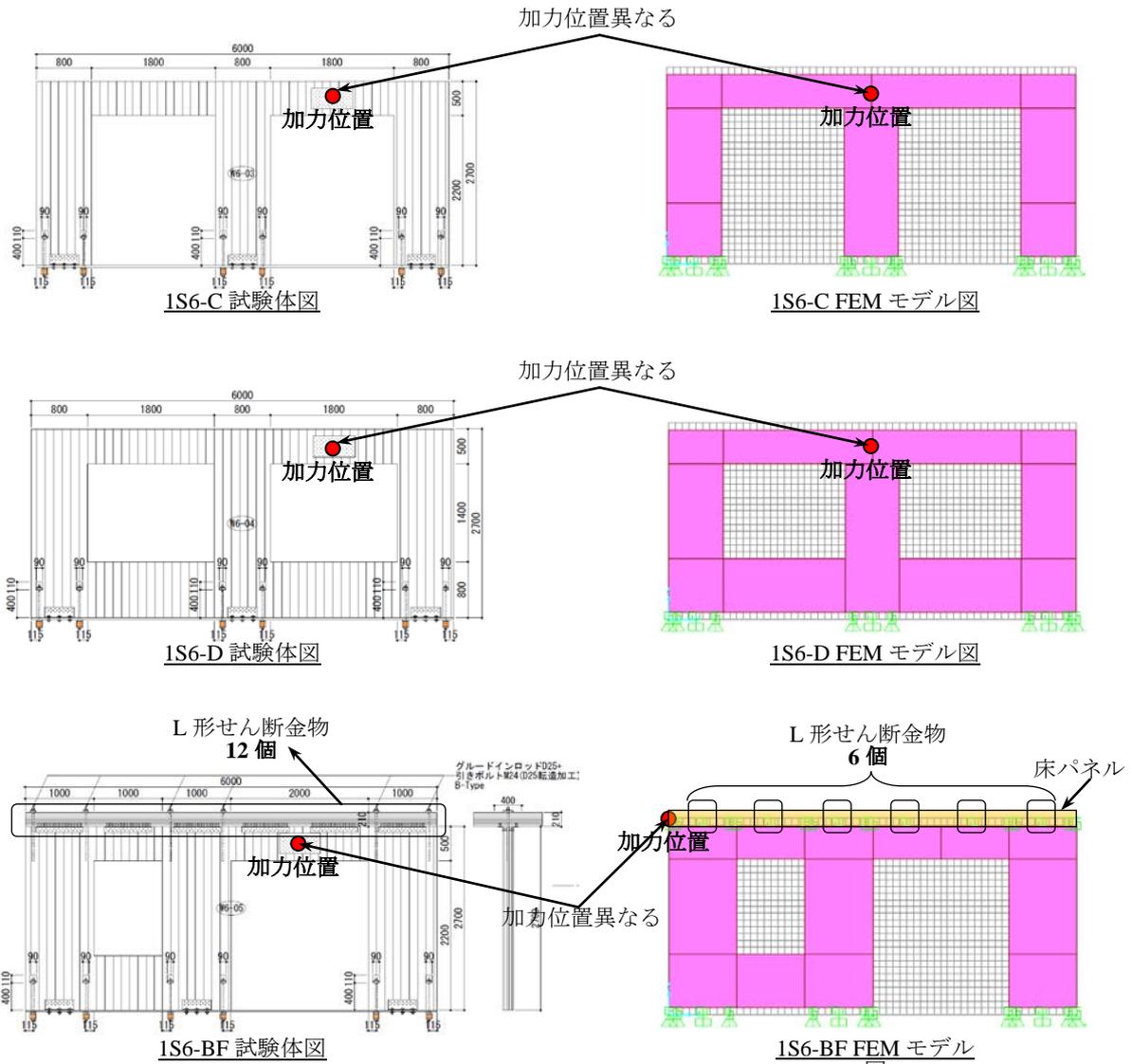
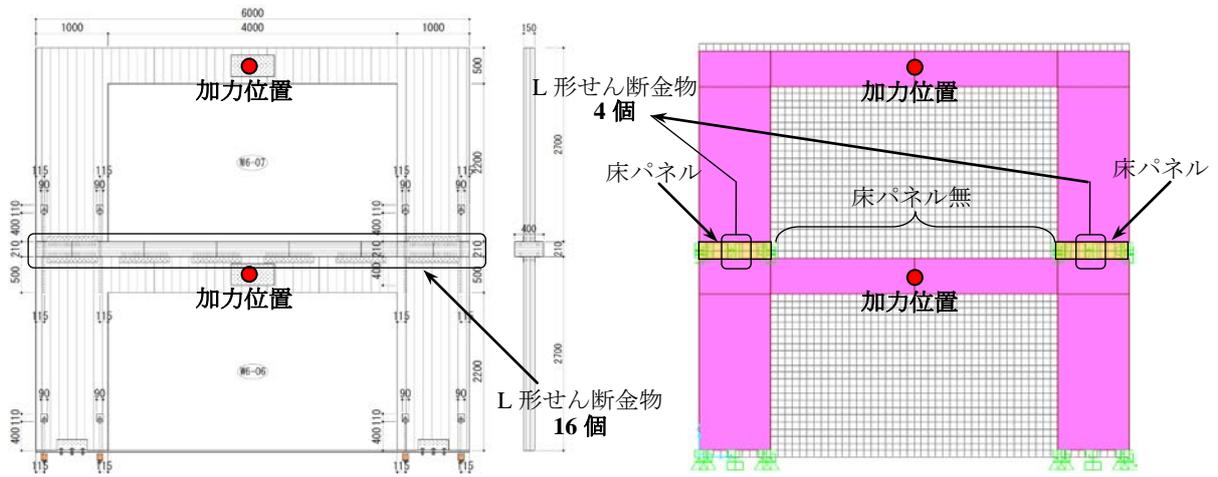
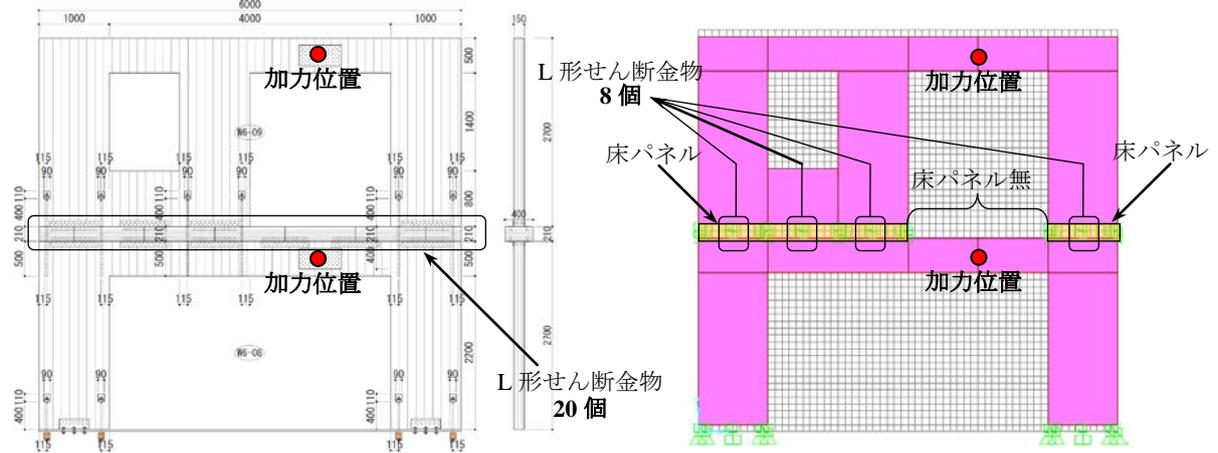


図 6.3.3-7 1S6 シリーズにおける実験と解析の相違点



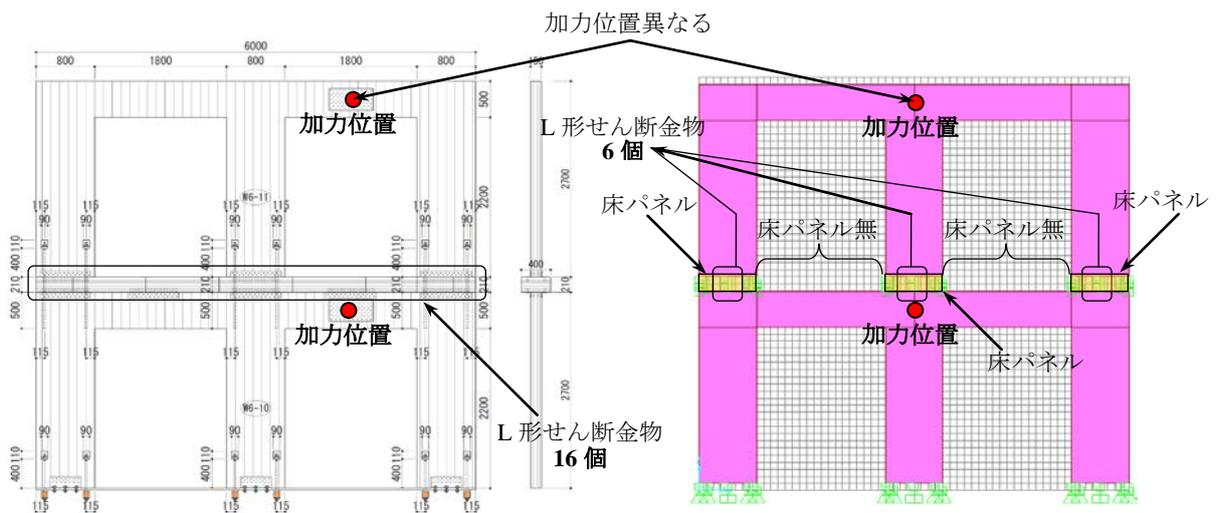
2S6-A 試験体図

2S6-A FEM モデル図



2S6-B 試験体図

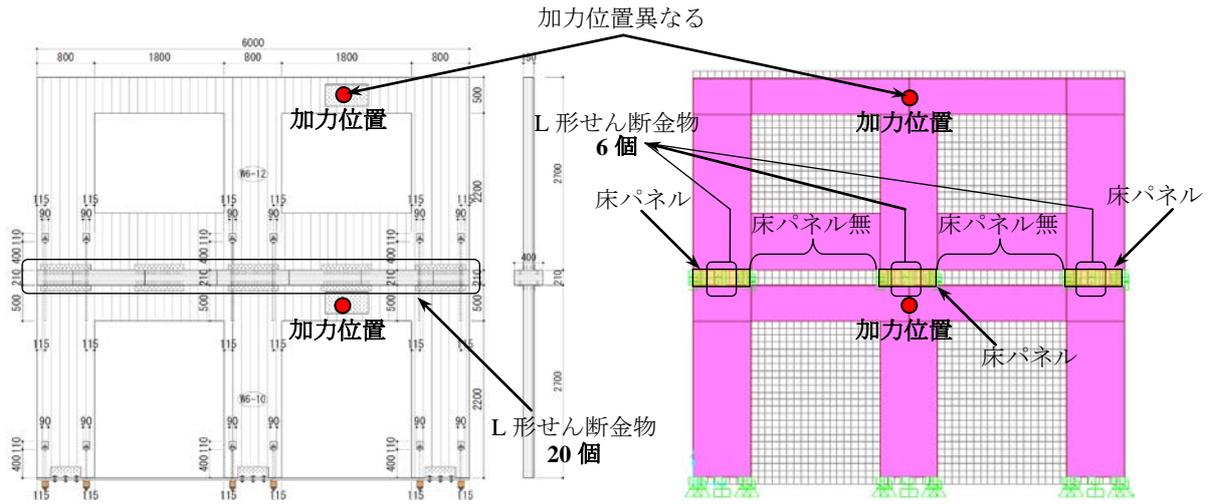
2S6-B FEM モデル図



2S6-C 試験体図

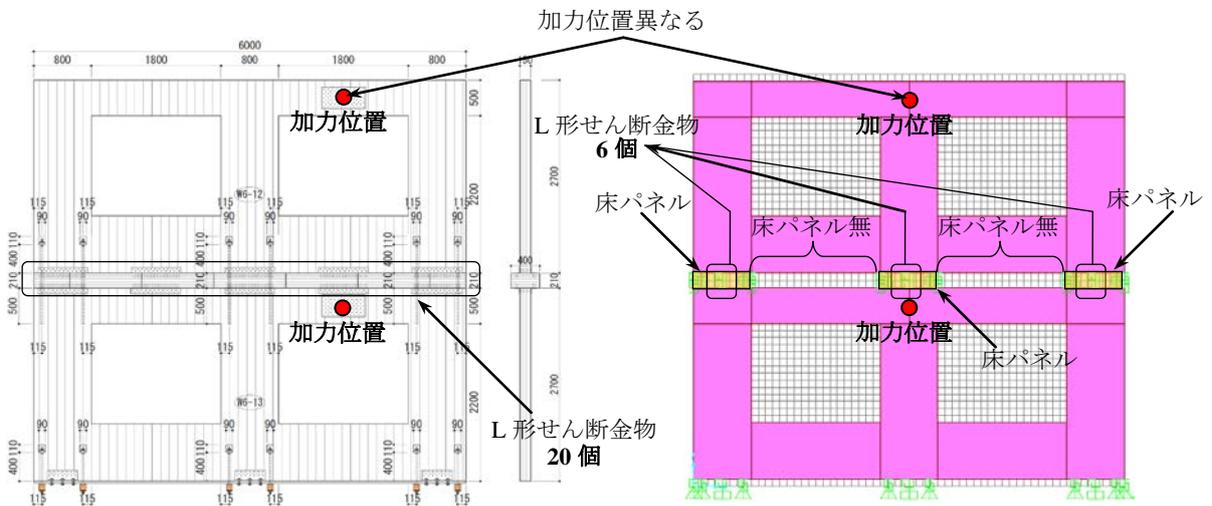
2S6-C FEM モデル図

図 6.3.3-8 2S6 シリーズにおける実験と解析の相違点



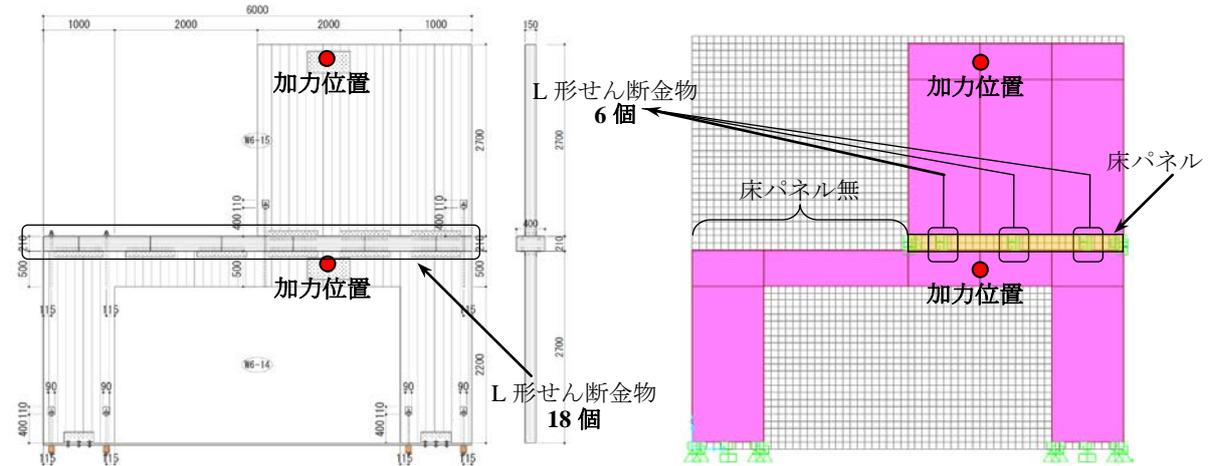
2S6-D 試験体図

2S6-D FEM モデル図



2S6-E 試験体図

2S6-E FEM モデル図



2S6-F 試験体図

2S6-F FEM モデル図

※2S6-FFも同様のモデルとする。

図 6.3.3-9 2S6 シリーズにおける実験と解析の相違点

6.3.4 解析結果

(a) 破壊箇所及び最大耐力

次頁よりに FEM 解析による破壊箇所及び最大耐力の想定を示す。

FEM 解析モデルによる破断箇所及び最大耐力の想定方法は下記の手順による。

- ①：1 階の加力点の水平変位が 1cm になるときの、
まぐさ・腰壁の最大水平方向応力度(S11)
壁柱の最大鉛直方向応力度(S22)
パネルゾーン・まぐさ・壁柱・腰壁の最大せん断応力度(S12)
をコンター図より求める。
- ②：①により求めた応力度は一樣断面における応力度であるため、その応力に応力割増係数を掛ける (→CLT パネルの有効層に作用する応力にする)。
ここで、応力割増係数は S11 で 2.5、S22 で 1.883、S12 で 1.0 とする。
- ③：基準強度を、S11 及び S22 では 25N/mm^2 とし、S12 では 3.0N/mm^2 とする。
- ④：②で求めた割増係数を掛けた応力度 / 基準強度 = 基準強度に達する(破断する)倍率
- ⑤：④の倍率の最小値 × ②で求めた各部応力度 = 最大耐力時の各部の応力度
- ⑥：⑤で求めた各部の応力度 / 基準強度 = 検定比

また、1cm 時の層せん断力 × ④の最小値 = 最大耐力

1cm 時の壁柱脚部の引きボルトの最大軸方向力 × ④の最小値 = 最大耐力時の軸方向力

表中の黄色塗潰し部分が破断箇所、赤字が最大耐力である。

解析名 (まぐさ載荷)	項目	まぐさ		腰壁		壁柱		パネルゾーン	脚部引きボルト[kN]		層せん断力[kN]	
		S11	S12	S11	S12	S22	S12	S12	N:1cm時	N×④min 最大値想定	Q:1cm時	Q×④min 最大値想定
		σ	τ	σ	τ	σ	τ	τ				
1S4-A4	①:FEM応力(1cm時)	4.03	0.45	—	—	1.83	0.33	0.32	51.10	126.80	65.04	161.39
	②:①×割増率	10.08	0.45	—	—	3.45	0.33	0.32				
	③:基準強度	25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.48	6.67	—	—	7.26	9.09	9.38				
	⑤:④min×②	25.00	1.12	—	—	8.55	0.82	0.79				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.37	—	—	0.34	0.27	0.26				
1S4-A2	①:FEM応力(1cm時)	4.13	0.47	—	—	1.93	0.31	0.37	51.85	125.54	54.44	131.82
	②:①×割増率	10.33	0.47	—	—	3.63	0.31	0.37				
	③:基準強度	25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.42	6.38	—	—	6.88	9.68	8.11				
	⑤:④min×②	25.00	1.14	—	—	8.80	0.75	0.90				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.38	—	—	0.35	0.25	0.30				
1S4-B4	①:FEM応力(1cm時)	4.67	0.52	3.07	0.48	2.37	0.52	0.29	50.82	108.82	104.68	224.15
	②:①×割増率	11.68	0.52	7.68	0.48	4.46	0.52	0.29				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.14	5.80	3.26	6.28	5.60	5.80	10.34				
	⑤:④のmin値×②	25.00	1.11	16.43	1.02	9.56	1.11	0.62				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.37	0.66	0.34	0.38	0.37	0.21				
1S4-B2	①:FEM応力(1cm時)	4.43	0.48	2.87	0.47	2.11	0.48	0.28	62.28	140.59	101.26	228.57
	②:①×割増率	11.08	0.48	7.18	0.47	3.97	0.48	0.28				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.26	6.22	3.48	6.44	6.29	6.29	10.83				
	⑤:④のmin値×②	25.00	1.09	16.20	1.05	8.97	1.08	0.63				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.36	0.65	0.35	0.36	0.36	0.21				
1S4-C	①:FEM応力(1cm時)	3.83	0.44	—	—	1.78	0.30	0.33	46.39	121.12	57.47	150.05
	②:①×割増率	9.58	0.44	—	—	3.35	0.30	0.33				
	③:基準強度	25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.61	6.90	—	—	7.46	10.00	9.09				
	⑤:④のmin値×②	25.00	1.14	—	—	8.75	0.78	0.86				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.38	—	—	0.35	0.26	0.29				

注、割増率: S11=2.5,S22=1.883,S12=1.0

表中の黄色塗潰し部分が破断箇所、赤字が最大耐力である。

■解析結果(4mパネル・2層モデル)

解析名 (まぐさ載荷)	項目	層	まぐさ		腰壁		壁柱		パネルゾーン	脚部引きボルト[kN]		層せん断力[kN]	
			S11	S12	S11	S12	S22	S12	S12	N:1cm時	N×④min 最大値想定	Q:1cm時	Q×④min 最大値想定
			σ	τ	σ	τ	σ	τ	τ				
2S4-A	①:FEM応力 (1層変位:1cm時)	1層	4.00	0.45	—	—	1.85	0.35	0.32	55.93	139.83	61.55	153.88
		2層	2.22	0.27	—	—	1.18	0.15	0.24	8.92	22.30	17.69	44.23
	②:①max×割増率		10.00	0.45	—	—	3.48	0.35	0.32				
	③:基準強度		25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②		2.50	6.62	—	—	7.18	8.57	9.52				
	⑤:④min×②		25.00	1.13	—	—	8.71	0.88	0.79				
⑥:⑤/③ 検定		1.00	0.38	—	—	0.35	0.29	0.26					
2S4-B	①:FEM応力 (1層変位:1cm時)	1層	3.26	0.50	—	—	2.23	0.36	0.28	62.85	192.79	65.38	200.55
		2層	2.02	0.22	1.94	0.32	0.88	0.18	0.16	25.36	77.79	35.70	109.51
	②:①max×割増率		8.15	0.50	4.85	0.32	4.20	0.36	0.28				
	③:基準強度		25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②		3.07	6.00	5.15	9.52	5.95	8.33	10.91				
	⑤:④min×②		25.00	1.53	14.88	0.97	12.88	1.10	0.84				
⑥:⑤/③ 検定		1.00	0.51	0.60	0.32	0.52	0.37	0.28					

注、割増率: S11=2.5,S22=1.883,S12=1.0

表中の黄色塗潰し部分が破断箇所、赤字が最大耐力である。

解析名	項目	まぐさ		腰壁		壁柱		パネルゾーン	脚部引きボルト[kN]		層せん断力[kN]	
		S11	S12	S11	S12	S22	S12	S12	N:1cm時	N×④min 最大値想定	Q:1cm時	Q×④min 最大値想定
		σ	τ	σ	τ	σ	τ	τ				
1S6-A	①:FEM応力(1cm時)	3.78	0.27	—	—	1.28	0.28	0.27	45.86	121.32	56.49	149.44
	②:①×割増率	9.45	0.27	—	—	2.41	0.28	0.27				
	③:基準強度	25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.65	11.03	—	—	10.37	10.91	10.99				
	⑤:④min×②	25.00	0.72	—	—	6.38	0.73	0.72				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.24	—	—	0.26	0.24	0.24				
1S6-B 正	①:FEM応力(1cm時)	5.06	0.52	2.51	0.50	2.10	0.61	0.43	59.87	118.32	144.29	285.15
	②:①×割増率	12.65	0.52	6.28	0.50	3.95	0.61	0.43				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	1.98	5.80	3.98	5.99	6.32	4.92	7.03				
	⑤:④min×②	25.00	1.02	12.40	0.99	7.81	1.21	0.84				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.34	0.50	0.33	0.31	0.40	0.28				
1S6-B 負	①:FEM応力(1cm時)	4.95	0.53	2.77	0.66	2.11	0.56	0.44	51.01	103.05	143.43	289.76
	②:①×割増率	12.38	0.53	6.93	0.66	3.97	0.56	0.44				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.02	5.64	3.61	4.56	6.29	5.33	6.79				
	⑤:④min×②	25.00	1.07	13.99	1.33	8.03	1.14	0.89				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.36	0.56	0.44	0.32	0.38	0.30				
1S6-BF 正 (加力桁付加) 圧縮パネの 引張側剛性無	①:FEM応力(1cm時)	3.68	0.58	2.56	0.66	2.33	0.65	0.29	69.28	188.26	153.14	416.14
	②:①×割増率	9.20	0.58	6.40	0.66	4.39	0.65	0.29				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.72	5.17	3.91	4.55	5.70	4.62	10.34				
	⑤:④min×②	25.00	1.58	17.39	1.79	11.92	1.77	0.79				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.53	0.70	0.60	0.48	0.59	0.26				
1S6-BF 負 (加力桁付加) 圧縮パネの 引張側剛性無	①:FEM応力(1cm時)	3.50	0.62	2.83	0.68	2.35	0.59	0.32	56.07	160.20	152.88	436.80
	②:①×割増率	8.75	0.62	7.08	0.68	4.43	0.59	0.32				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.86	4.84	3.53	4.41	5.65	5.08	9.38				
	⑤:④min×②	25.00	1.77	20.21	1.94	12.64	1.69	0.91				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.59	0.81	0.65	0.51	0.56	0.30				
1S6-BF 正 (加力桁付加) 圧縮パネの 引張側剛性有 (せん断の半分)	①:FEM応力(1cm時)	3.68	0.58	2.56	0.66	2.33	0.65	0.29	69.29	188.29	153.16	416.20
	②:①×割増率	9.20	0.58	6.40	0.66	4.39	0.65	0.29				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.72	5.17	3.91	4.55	5.70	4.62	10.34				
	⑤:④min×②	25.00	1.58	17.39	1.79	11.92	1.77	0.79				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.53	0.70	0.60	0.48	0.59	0.26				
1S6-BF 負 (加力桁付加) 圧縮パネの 引張側剛性有 (せん断の半分)	①:FEM応力(1cm時)	3.50	0.62	2.83	0.68	2.35	0.59	0.32	56.08	160.23	152.90	436.86
	②:①×割増率	8.75	0.62	7.08	0.68	4.43	0.59	0.32				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.86	4.84	3.53	4.41	5.65	5.08	9.38				
	⑤:④min×②	25.00	1.77	20.21	1.94	12.64	1.69	0.91				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.59	0.81	0.65	0.51	0.56	0.30				

注、割増率:S11=2.5,S22=1.883,S12=1.0

表中の黄色塗潰し部分が破断箇所、赤字が最大耐力である。

■解析結果(6mパネル・1層モデル)

1S6-C	①:FEM応力(1cm時)	3.34	0.38	—	—	2.17	0.34	0.56	43.82	131.20	70.32	210.54
	②:①×割増率	8.35	0.38	—	—	4.09	0.34	0.56				
	③:基準強度	25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.99	7.94	—	—	6.12	8.82	5.33				
	⑤:④min×②	25.00	1.13	—	—	12.23	1.02	1.69				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.38	—	—	0.49	0.34	0.56				
1S6-D	①:FEM応力(1cm時)	4.34	0.48	2.78	0.43	2.89	0.73	0.69	42.33	97.53	141.02	324.93
	②:①×割増率	10.85	0.48	6.95	0.43	5.44	0.73	0.69				
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④:③/②	2.30	6.25	3.60	6.98	4.59	4.09	4.37				
	⑤:④min×②	25.00	1.11	16.01	0.99	12.54	1.69	1.58				
	⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.37	0.64	0.33	0.50	0.56	0.53				

注、割増率:S11=2.5,S22=1.883,S12=1.0

■解析結果(6mパネル・2層モデル)

解析名 (まぐさ載荷)	項目	層	まぐさ		腰壁		壁柱		パネルゾーン	脚部引きボルト[kN]		層せん断力[kN]	
			S11	S12	S11	S12	S22	S12	S12	N:1cm時	N×④min 最大値想定	Q:1cm時	Q×④min 最大値想定
			σ	τ	σ	τ	σ	τ	τ				
2S6-A	①:FEM応力 (1層変位:1cm時)	1層	3.76	0.27	—	—	1.30	0.28	0.25	48.45	128.86	54.94	146.12
		2層	2.41	0.18	—	—	0.98	0.06	0.25	4.03	10.72	13.70	36.44
	②:①max×割増率	9.40	0.27	—	—	2.45	0.28	0.25					
	③:基準強度	25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00					
	④:③/②	2.66	10.99	—	—	10.21	10.71	12.05					
	⑤:④min×②	25.00	0.73	—	—	6.51	0.74	0.66					
2S6-B 正方向→	①:FEM応力 (1層変位:1cm時)	1層	4.74	0.46	—	—	2.02	0.35	0.35	57.51	121.33	59.04	124.56
		2層	3.93	0.40	0.95	0.23	1.69	0.29	0.35	18.20	38.39	54.13	114.20
	②:①max×割増率	11.85	0.46	2.38	0.23	3.80	0.35	0.35					
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00					
	④:③/②	2.11	6.49	10.53	12.88	6.57	8.57	8.57					
	⑤:④min×②	25.00	0.97	5.01	0.49	8.02	0.74	0.74					
2S6-B 負方向←	①:FEM応力 (1層変位:1cm時)	1層	4.44	0.44	—	—	2.00	0.34	0.37	57.91	130.43	60.92	137.21
		2層	4.10	0.43	1.03	0.29	1.78	0.29	0.37	11.35	25.56	51.63	116.28
	②:①max×割増率	11.10	0.44	2.58	0.29	3.77	0.34	0.37					
	③:基準強度	25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00					
	④:③/②	2.25	6.82	9.71	10.34	6.64	8.82	8.11					
	⑤:④min×②	25.00	0.99	5.80	0.65	8.48	0.77	0.83					
⑥:⑤/③ 検定	1.00	0.33	0.23	0.22	0.34	0.26	0.28						

注、割増率:S11=2.5,S22=1.883,S12=1.0

表中の黄色塗潰し部分が破断箇所、赤字が最大耐力である。

■解析結果(6mパネル・2層モデル)

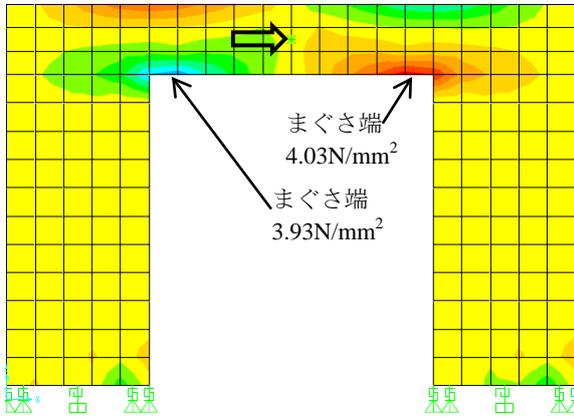
2S6-C	①: FEM応力 (1層変位: 1cm時)	1層	3.55	0.41	—	—	1.89	0.31	0.62	48.47	136.54	65.71	185.10
		2層	2.02	0.24	—	—	1.50	0.16	0.37	12.28	34.59	28.37	79.92
	②: ①max × 割増率		8.88	0.41	—	—	3.56	0.31	0.62				
	③: 基準強度		25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④: ③/②		2.82	7.35	—	—	7.02	9.68	4.87				
	⑤: ④min × ②		25.00	1.15	—	—	10.02	0.87	1.74				
⑥: ⑤/③ 検定		1.00	0.38	—	—	0.40	0.29	0.58					
2S6-D	①: FEM応力 (1層変位: 1cm時)	1層	2.85	0.42	—	—	2.23	0.32	0.50	55.68	195.37	69.56	244.07
		2層	2.00	0.26	1.93	0.30	1.45	0.37	0.35	12.81	44.95	64.20	225.26
	②: ①max × 割増率		7.13	0.42	4.83	0.30	4.20	0.37	0.50				
	③: 基準強度		25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④: ③/②		3.51	7.14	5.18	10.12	5.95	8.11	5.95				
	⑤: ④min × ②		25.00	1.47	16.93	1.04	14.73	1.30	1.77				
⑥: ⑤/③ 検定		1.00	0.49	0.68	0.35	0.59	0.43	0.59					
2S6-E	①: FEM応力 (1層変位: 1cm時)	1層	3.75	0.57	2.72	0.42	2.86	0.69	0.53	56.74	151.31	139.19	371.17
		2層	1.97	0.25	2.00	0.31	1.35	0.35	0.33	23.84	63.57	60.34	160.91
	②: ①max × 割増率		9.38	0.57	6.80	0.42	5.39	0.69	0.53				
	③: 基準強度		25.00	3.00	25.00	3.00	25.00	3.00	3.00				
	④: ③/②		2.67	5.26	3.68	7.14	4.64	4.34	5.66				
	⑤: ④min × ②		25.00	1.52	18.13	1.12	14.36	1.85	1.41				
⑥: ⑤/③ 検定		1.00	0.51	0.73	0.37	0.57	0.62	0.47					
2S6-F,FF 正方向→	①: FEM応力 (1層変位: 1cm時)	1層	5.00	0.49	—	—	2.15	0.32	0.43	50.97	101.94	54.58	109.16
		2層	—	—	—	—	—	—	0.16	21.36	42.72	24.03	48.06
	②: ①max × 割増率		12.50	0.49	—	—	4.05	0.32	0.43				
	③: 基準強度		25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④: ③/②		2.00	6.12	—	—	6.18	9.38	6.98				
	⑤: ④min × ②		25.00	0.98	—	—	8.10	0.64	0.86				
⑥: ⑤/③ 検定		1.00	0.33	—	—	0.32	0.21	0.29					
2S6-F,FF 負方向←	①: FEM応力 (1層変位: 1cm時)	1層	5.18	0.51	—	—	2.21	0.38	0.43	49.96	96.45	54.95	106.08
		2層	—	—	—	—	—	—	0.16	22.37	43.19	25.90	50.00
	②: ①max × 割増率		12.95	0.51	—	—	4.16	0.38	0.43				
	③: 基準強度		25.00	3.00	—	—	25.00	3.00	3.00				
	④: ③/②		1.93	5.88	—	—	6.01	7.89	6.98				
	⑤: ④min × ②		25.00	0.98	—	—	8.03	0.73	0.83				
⑥: ⑤/③ 検定		1.00	0.33	—	—	0.32	0.24	0.28					

注、割増率: S11=2.5, S22=1.883, S12=1.0

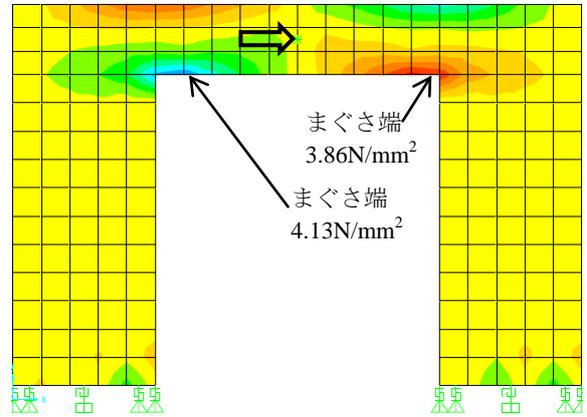
(b) 応力コンター図(加力点変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-1 に 1S4-A4 及び 1S4-A2 の応力コンター図を示す。

水平方向応力 S11

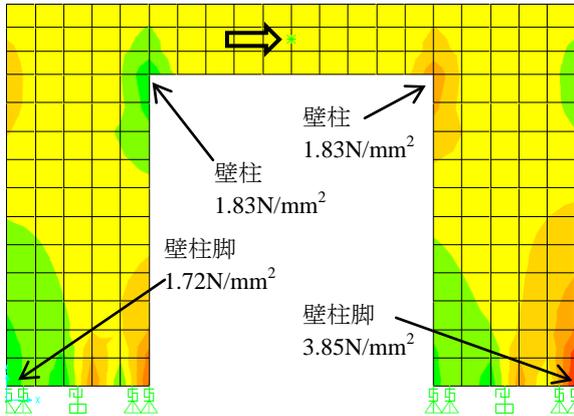


1S4-A4

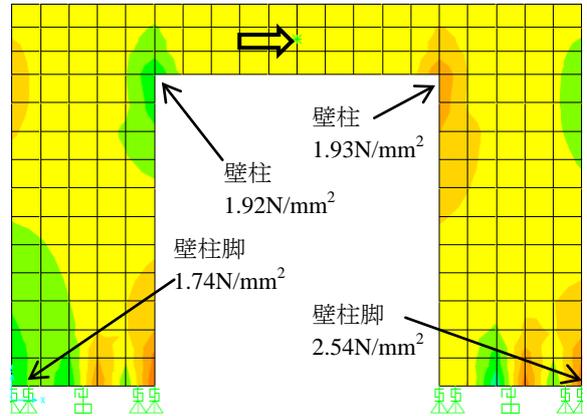


1S4-A2

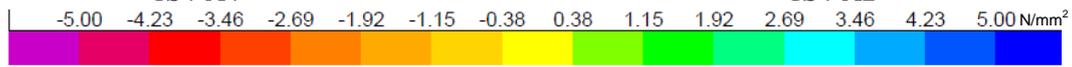
鉛直方向応力 S22



1S4-A4

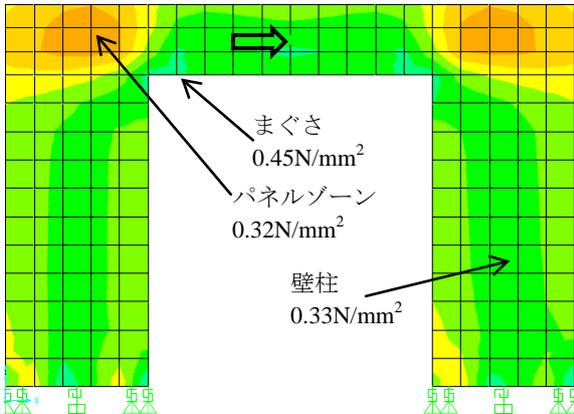


1S4-A2

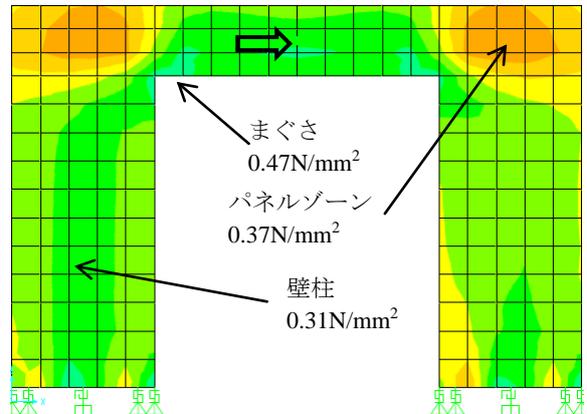


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

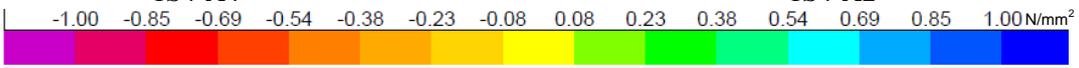
せん断応力 S12



1S4-A4



1S4-A2

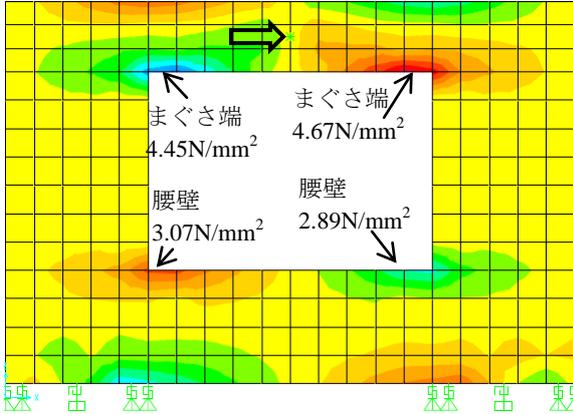


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

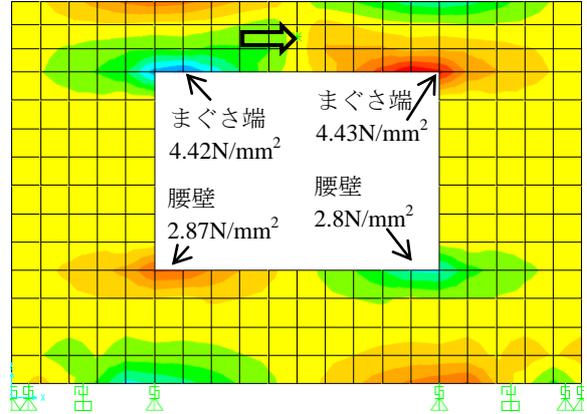
図 6.3.4-1 1S4-A4 及び 1S4-A2 のコンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-2 に 1S4-B4 及び 1S4-B2 の応力コンター図を示す。

水平方向応力 S11

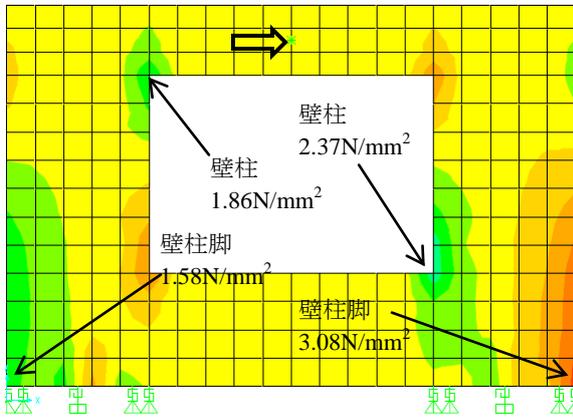


1S4-B4

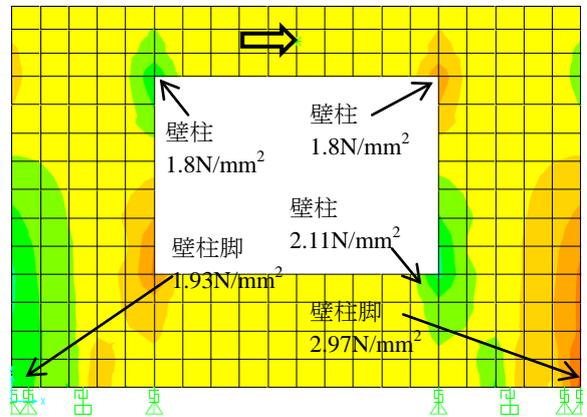


1S4-B2

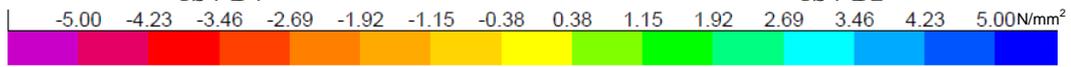
鉛直方向応力 S22



1S4-B4

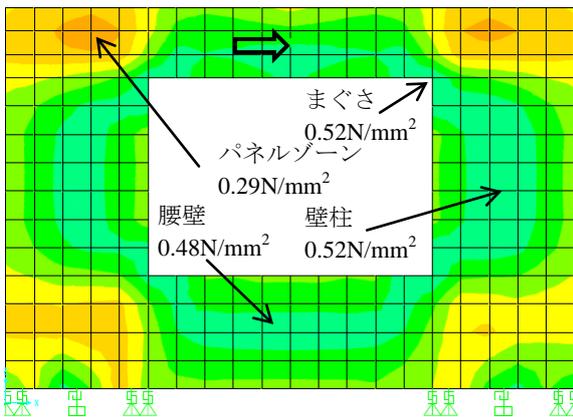


1S4-B2

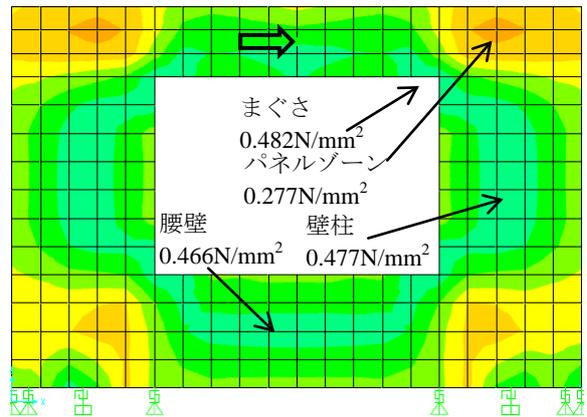


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

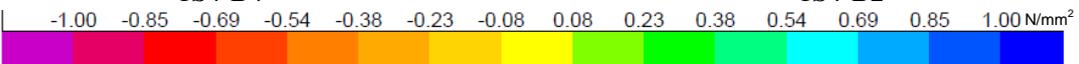
せん断応力 S12



1S4-B4



1S4-B2

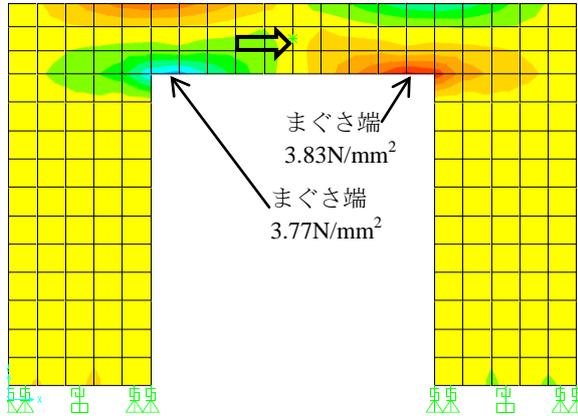


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

図 6.3.4-2 1S4-B4 及び 1S4-B2 のコンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

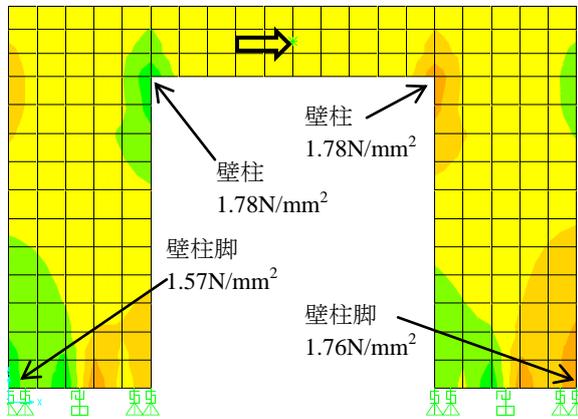
図 6.3.4-3 に 1S4-C の応力コンター図を示す。

水平方向応力 S11

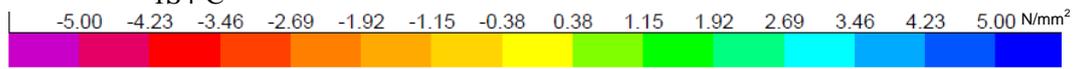


1S4-C

鉛直方向応力 S22

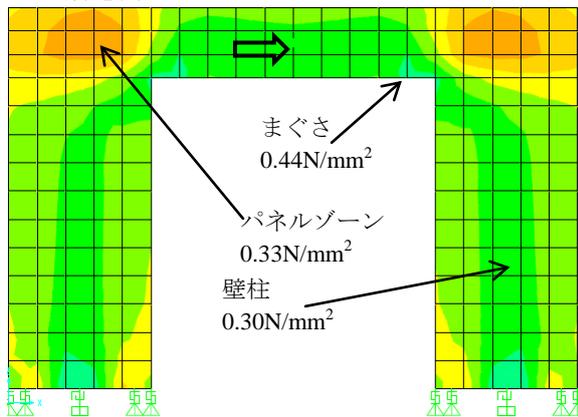


1S4-C

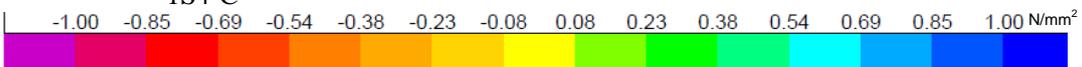


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

せん断応力 S12



1S4-C

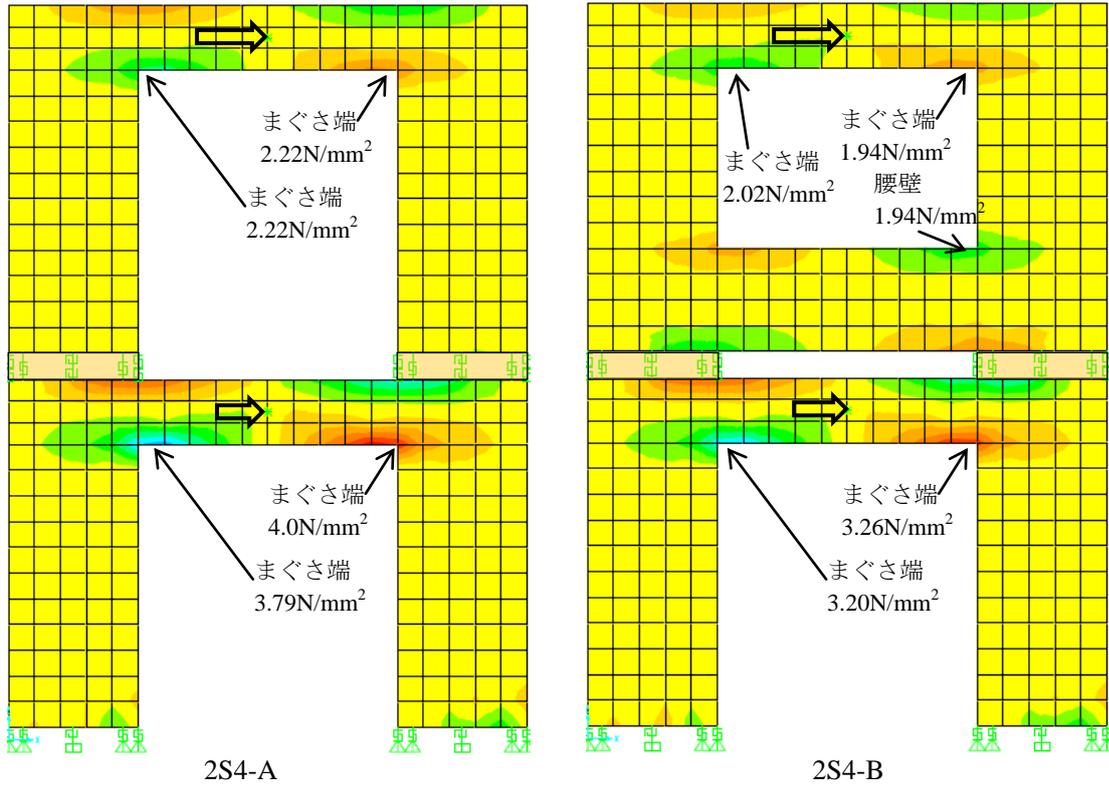


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

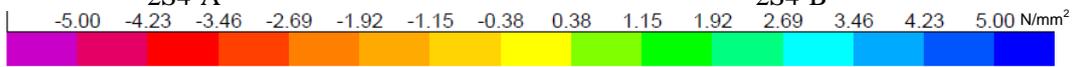
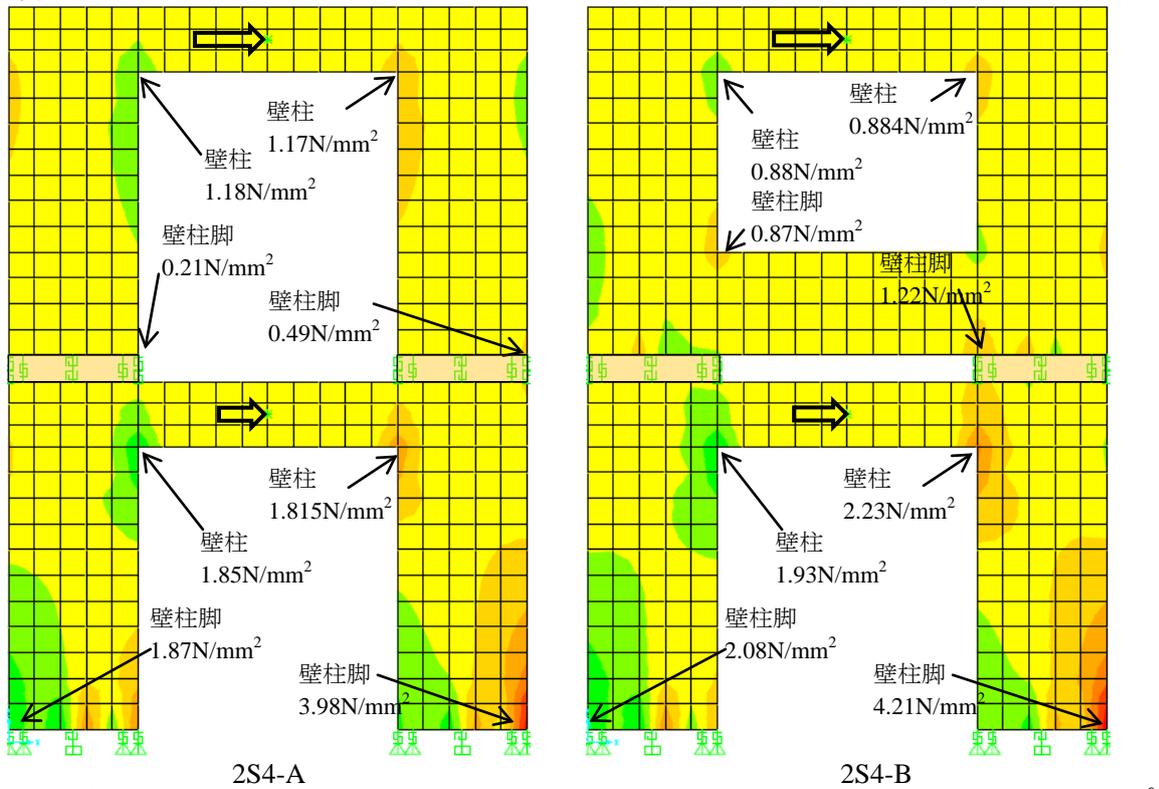
図 6.3.4-3 1S4-C のコンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-4 に 2S4-A 及び 2S4-B の応力コンター図(S11 及び S22)を示す。

水平方向応力 S11



鉛直方向応力 S22

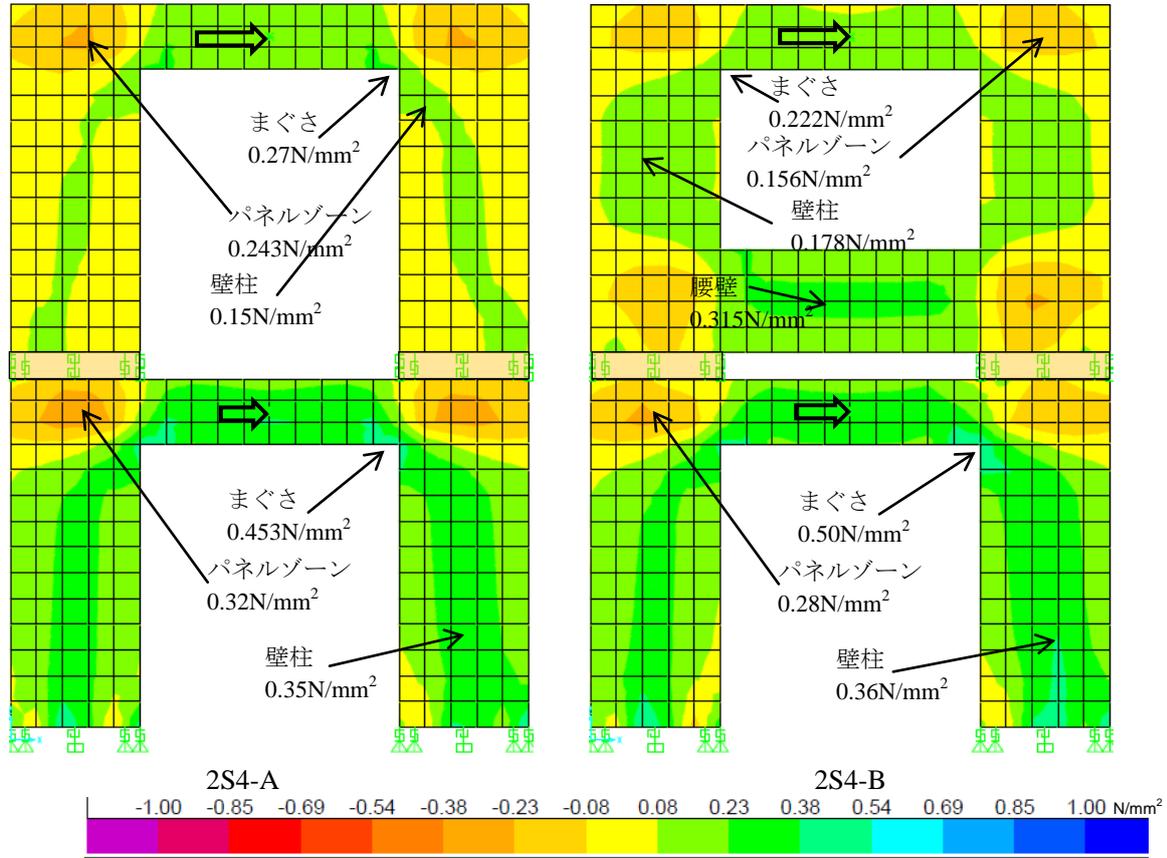


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

図 6.3.4-4 2S4-A 及び 2S4-B の S11・S22 コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-5 に 2S4-A 及び 2S4-B の応力コンター図(S12)を示す。

せん断応力 S12

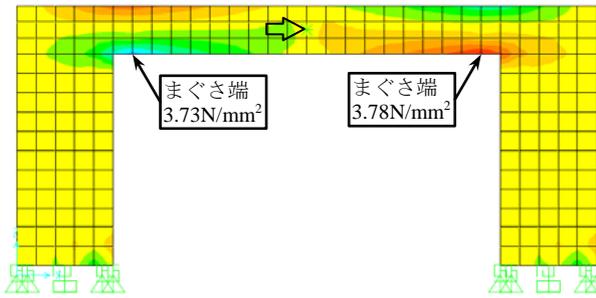


SAP2000 v15.0.1 - File:1F4P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

図 6.3.4-5 2S4-A 及び 2S4-B の S12 コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

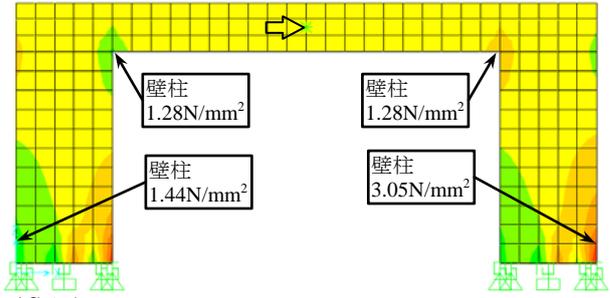
図 6.3.4-6 に 1S6-A のコンター図を示す。

水平方向応力 S11



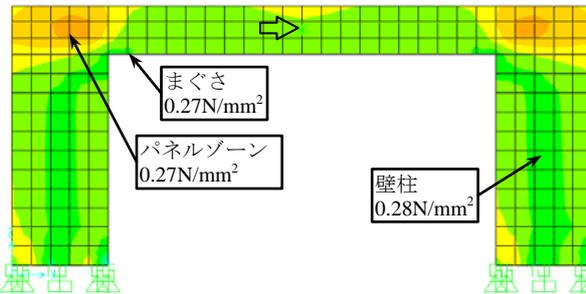
1S6-A

鉛直方向応力 S22



1S6-A

せん断応力 S12



1S6-A

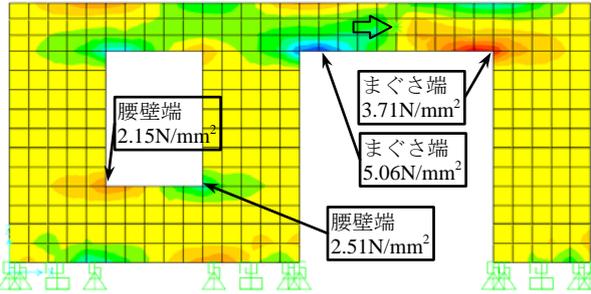
SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

図 6.3.4-6 1S6-A コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

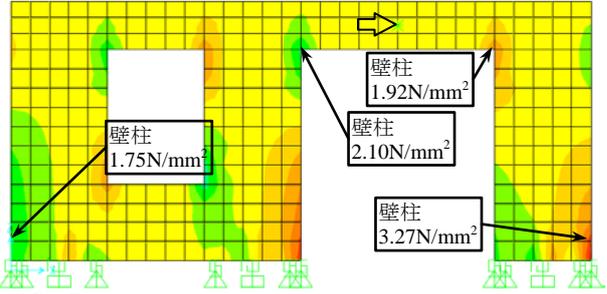
図 6.3.4-7 に 1S6-B のコンター図(正方向加力時)を、図 6.3.4-8 に 1S6-B のコンター図(負方向加力時)を示す。

水平方向応力 S11



1S6-B

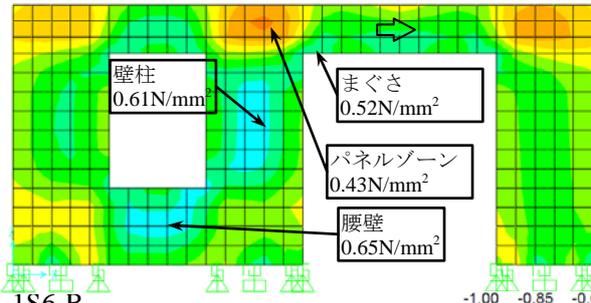
鉛直方向応力 S22



1S6-B

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

せん断応力 S12

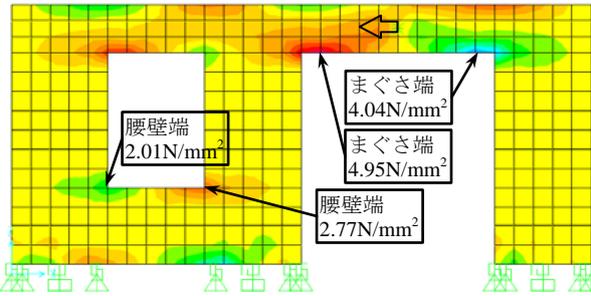


1S6-B

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

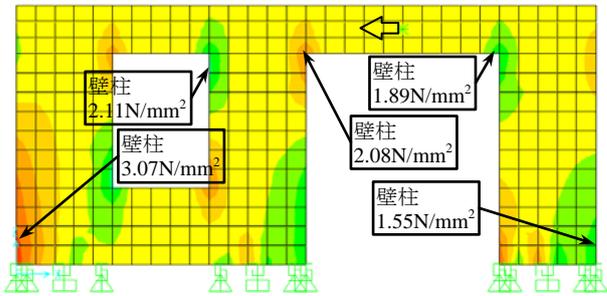
図 6.3.4-7 1S6-B 正方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

水平方向応力 S11



1S6-B

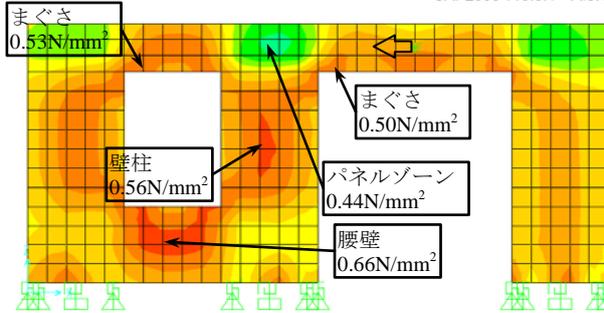
鉛直方向応力 S22



1S6-B

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

せん断応力 S12



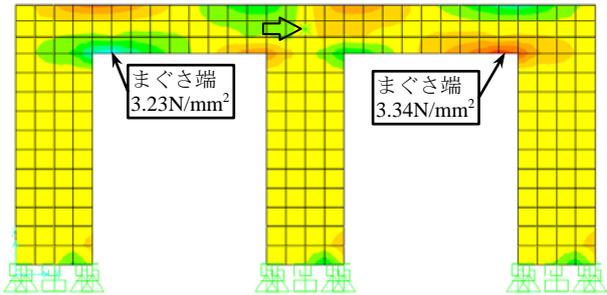
1S6-B

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

図 6.3.4-8 1S6-B 負方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

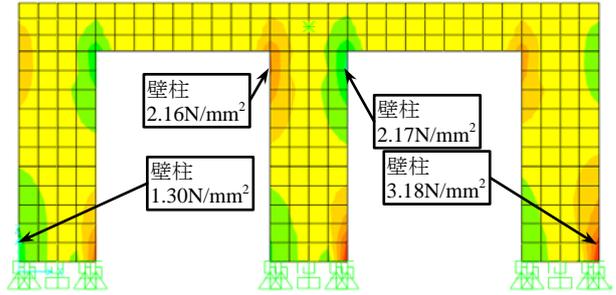
図 6.3.4-9 に 1S6-C のコンター図を、図 6.3.4-10 に 1S6-D のコンター図を示す。

水平方向応力 S11



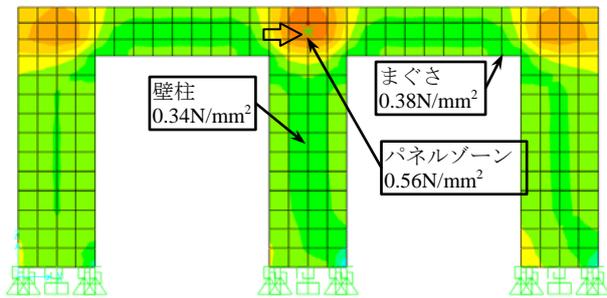
1S6-C

鉛直方向応力 S22



1S6-C

せん断応力 S12



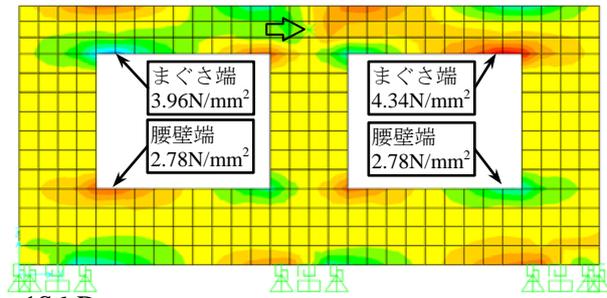
1S6-C

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

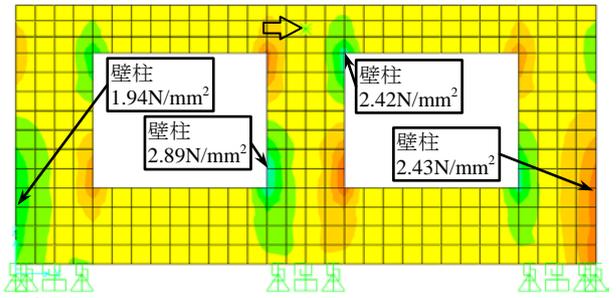
図 6.3.4-9 1S6-C コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

水平方向応力 S11



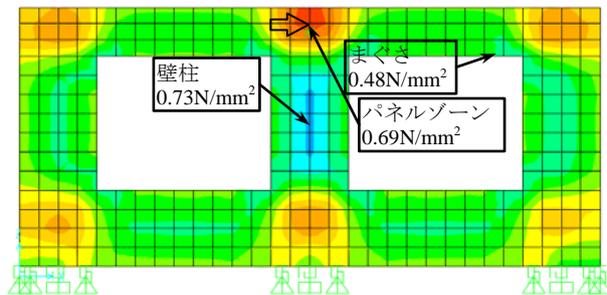
1S6-D

鉛直方向応力 S22



1S6-D

せん断応力 S12



1S6-D

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

図 6.3.4-10 1S6-D コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-11 に 1S6-BF のコンター図(正方向加力時)を、図 6.3.4-12 に 1S6-BF のコンター図(負方向加力時)を示す。

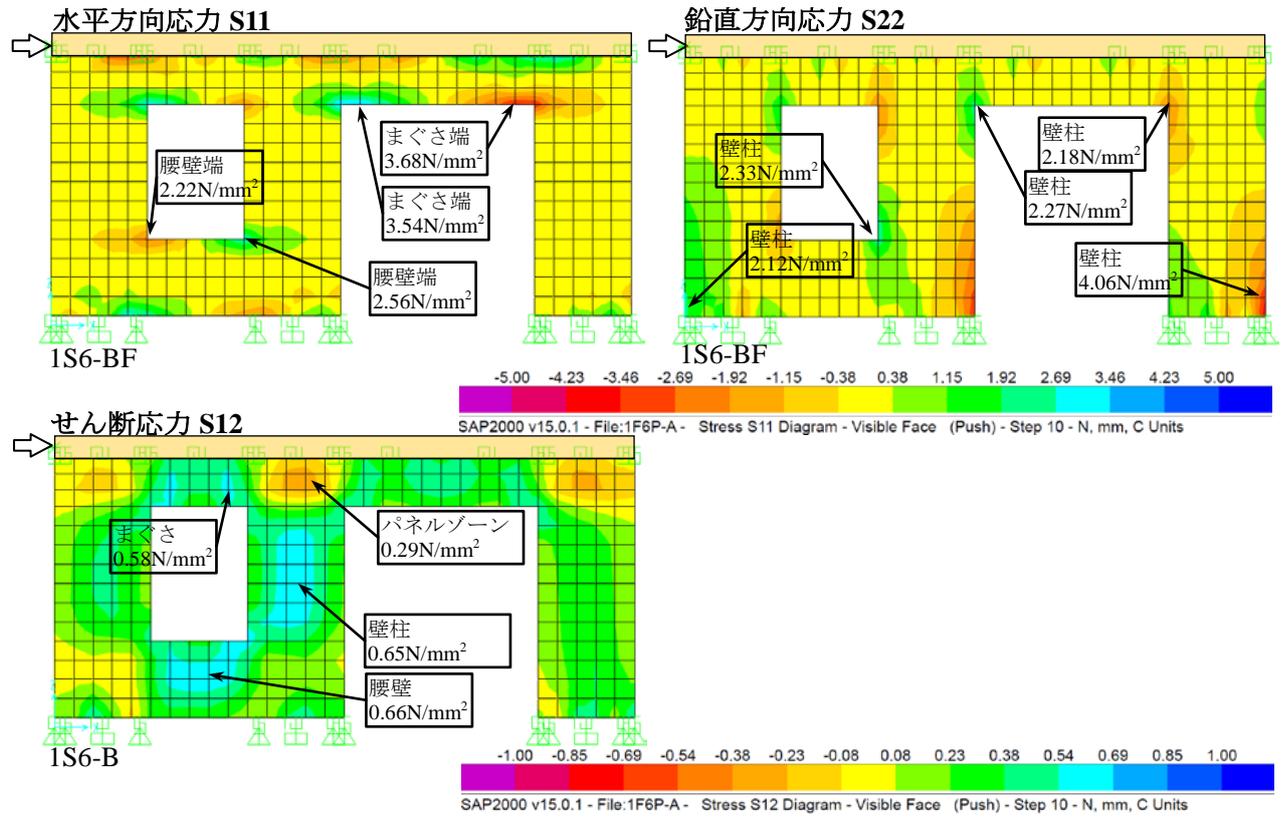


図 6.3.4-11 1S6-BF 正方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

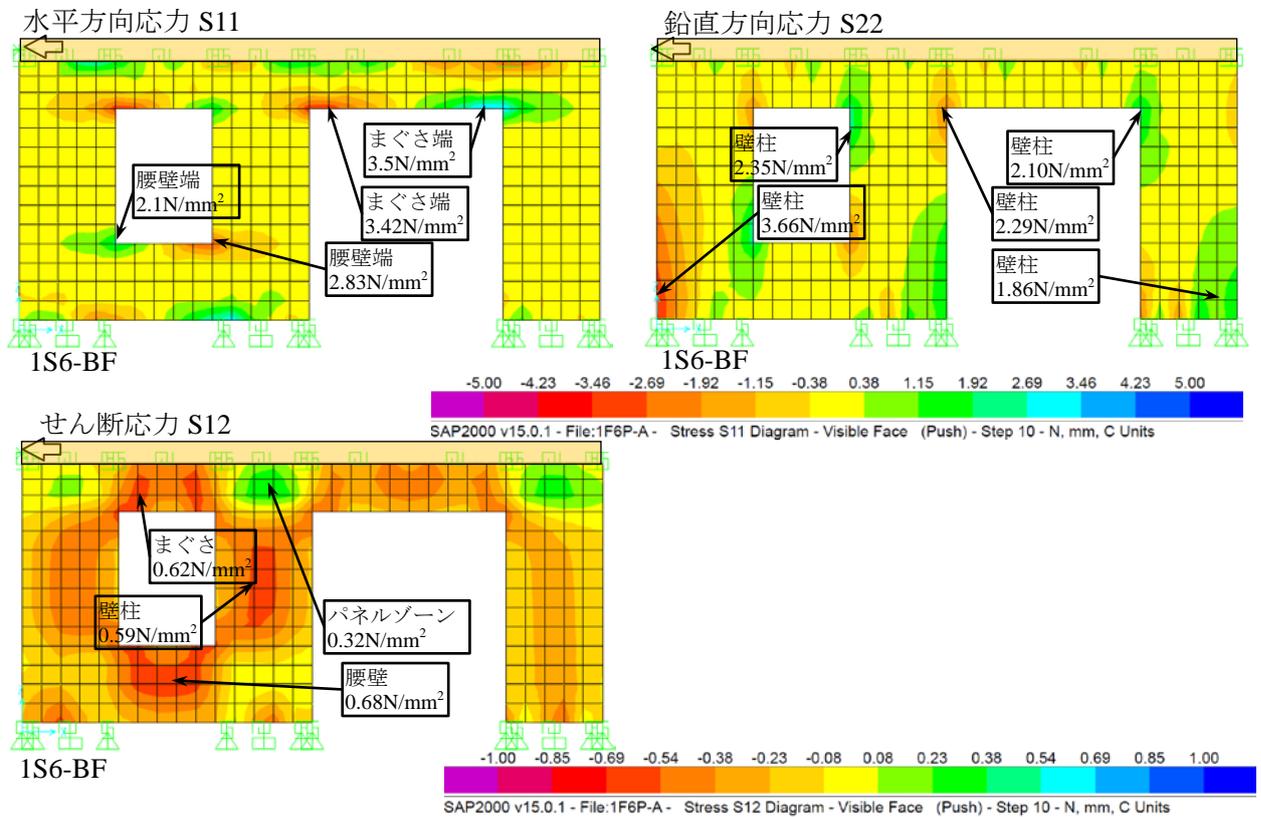


図 6.3.4-12 1S6-BF 負方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-13 に 2S6-A のコンター図を示す。

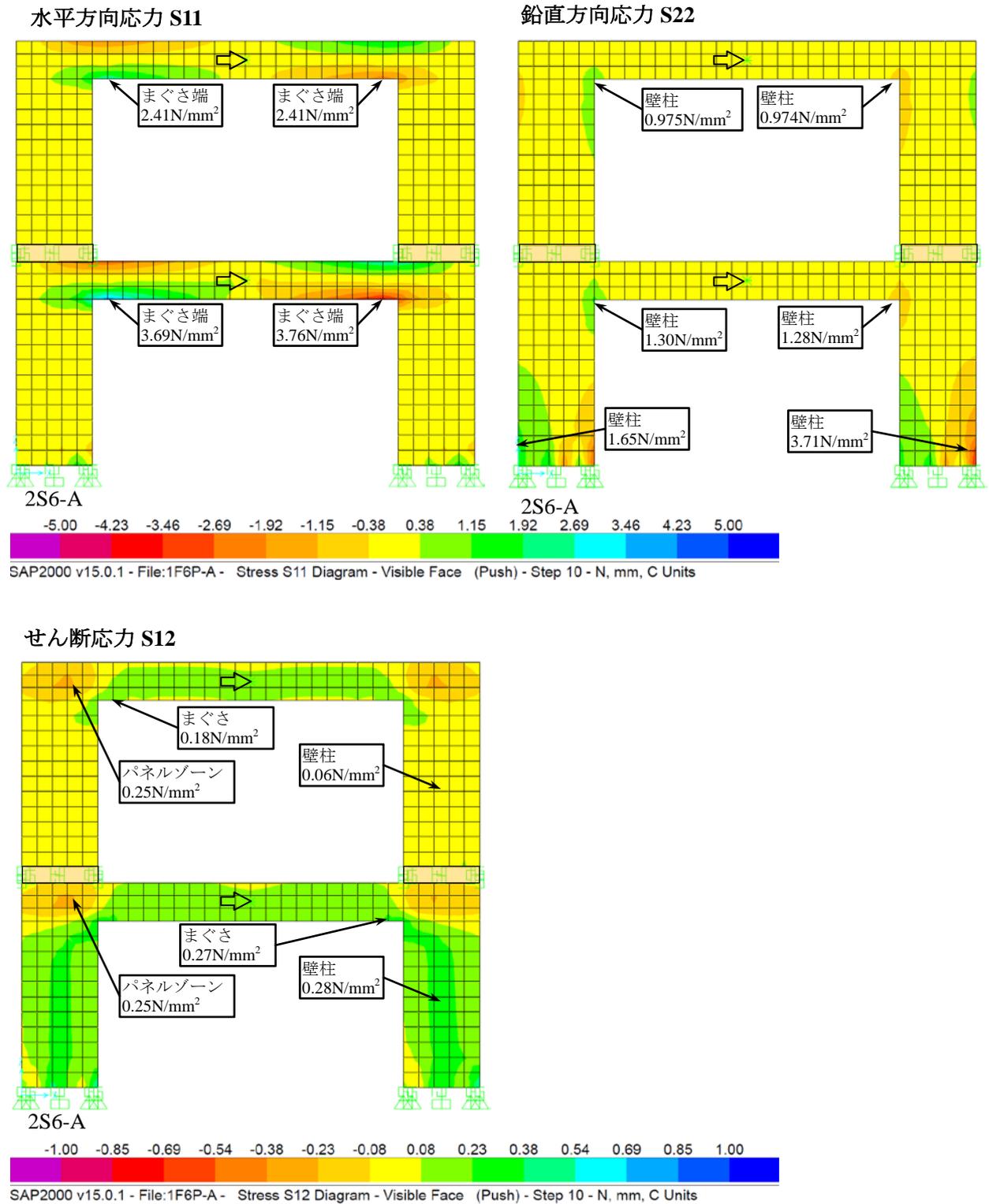
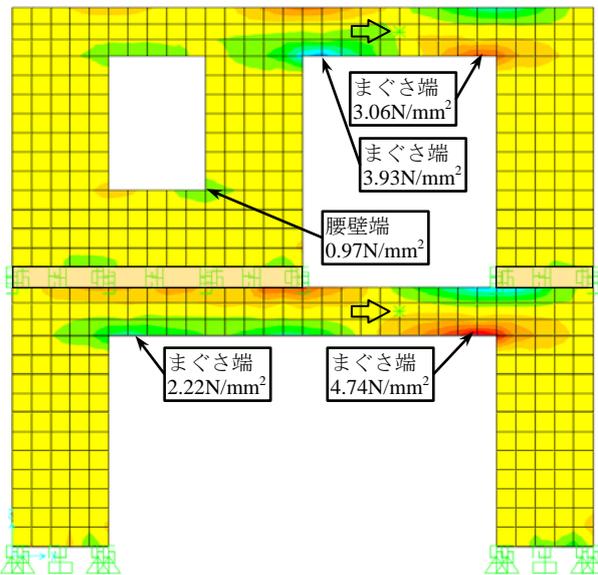


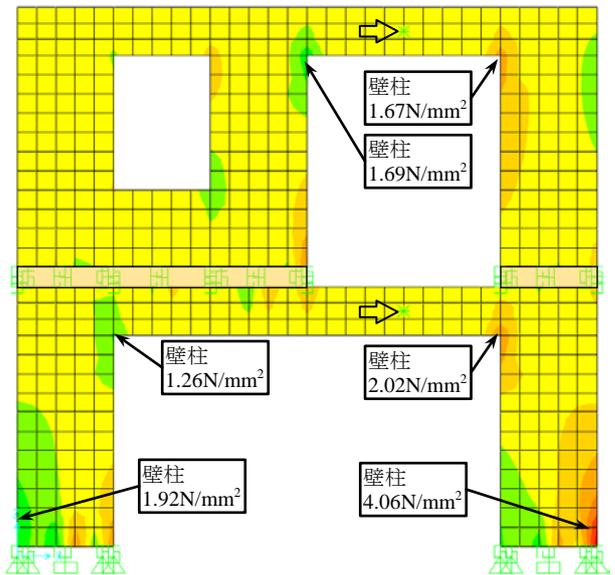
図 6.3.4-13 2S6-A コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-14 に 2S6-B(正方向加力時)のコンター図を示す。

水平方向応力 S11



鉛直方向応力 S22



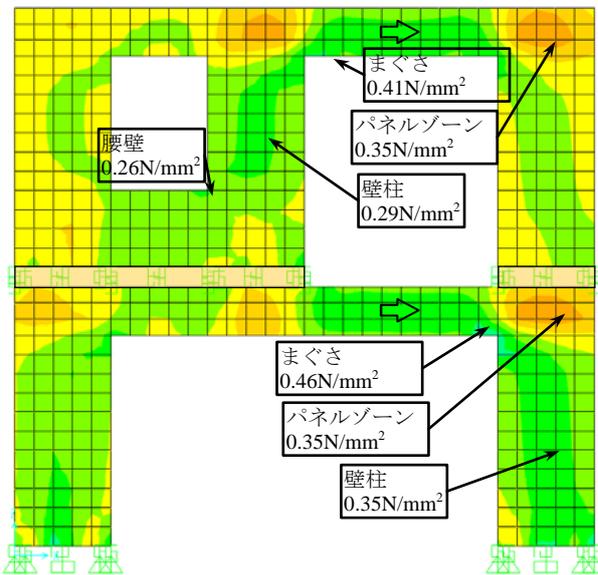
2S6-B

2S6-B

-5.00 -4.23 -3.46 -2.69 -1.92 -1.15 -0.38 0.38 1.15 1.92 2.69 3.46 4.23 5.00

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

せん断応力 S12



2S6-B

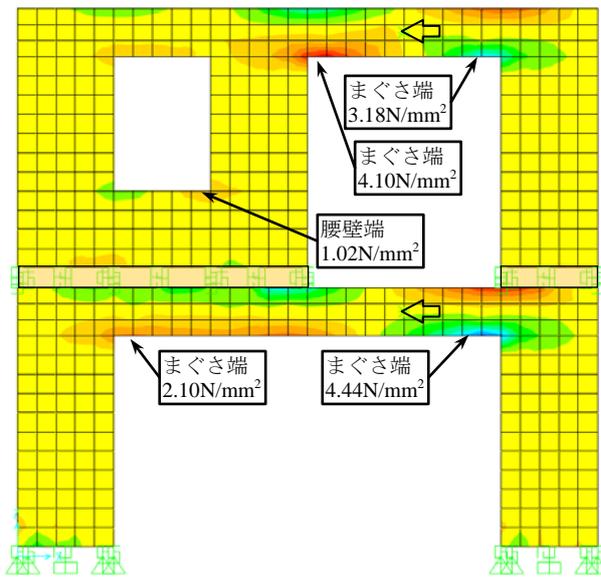
-1.00 -0.85 -0.69 -0.54 -0.38 -0.23 -0.08 0.08 0.23 0.38 0.54 0.69 0.85 1.00

SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

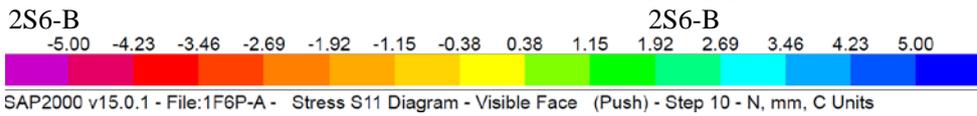
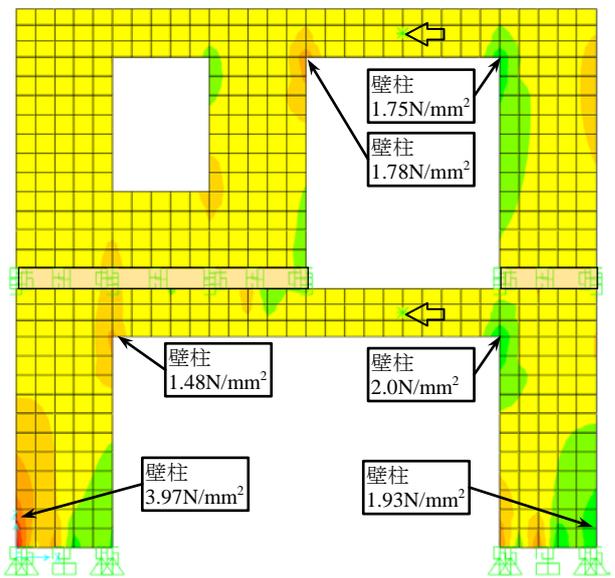
図 6.3.4-14 2S6-B 正方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-15 に 2S6-B(負方向加力時)のコンター図を示す。

水平方向応力 S11

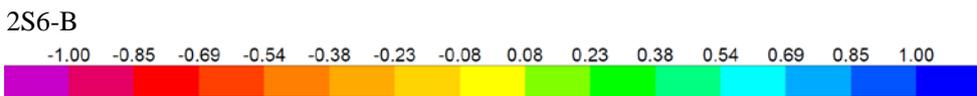
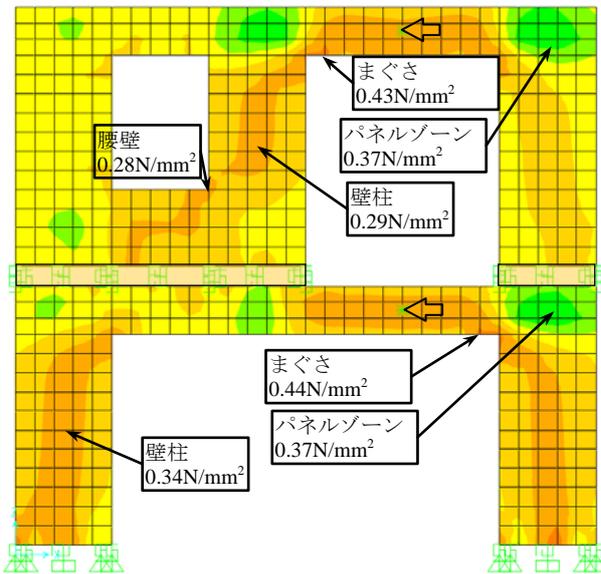


鉛直方向応力 S22



SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S11 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

せん断応力 S12

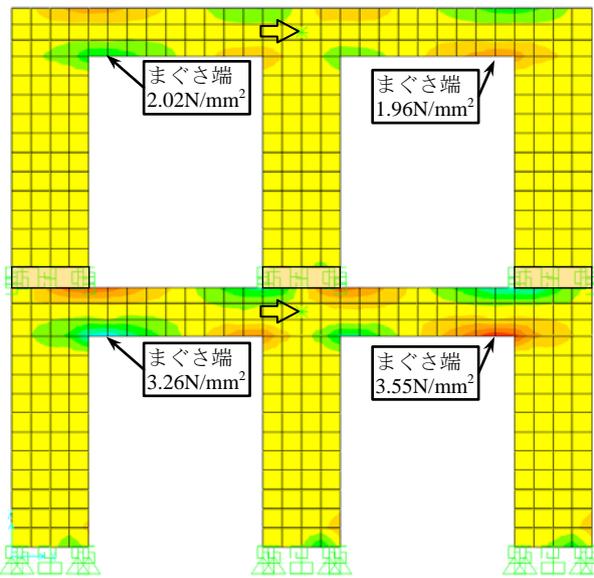


SAP2000 v15.0.1 - File:1F6P-A - Stress S12 Diagram - Visible Face (Push) - Step 10 - N, mm, C Units

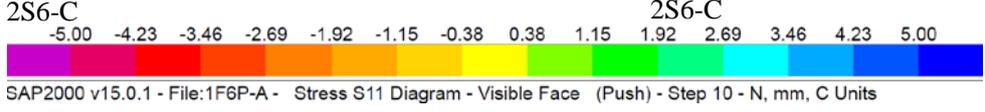
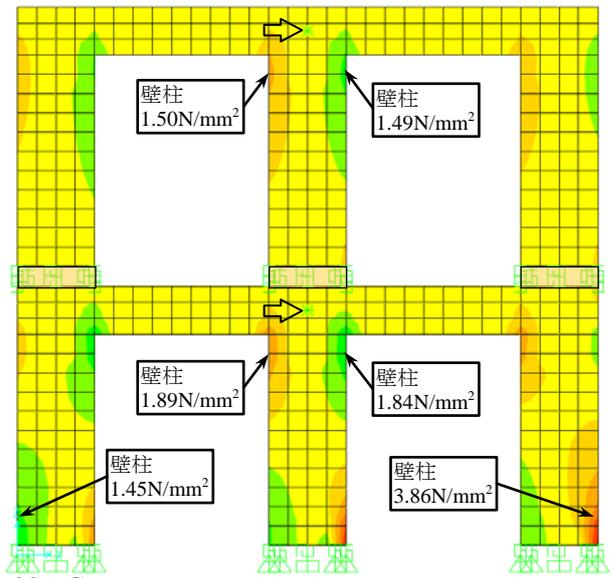
図 6.3.4-15 2S6-B 負方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-16 に 2S6-C のコンター図を示す。

水平方向応力 S11



鉛直方向応力 S22



せん断応力 S12

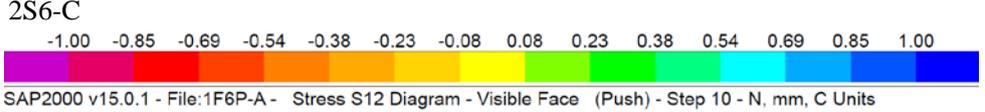
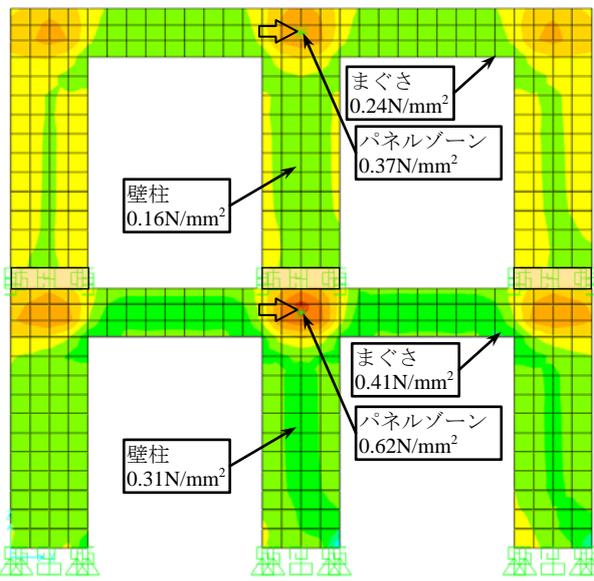
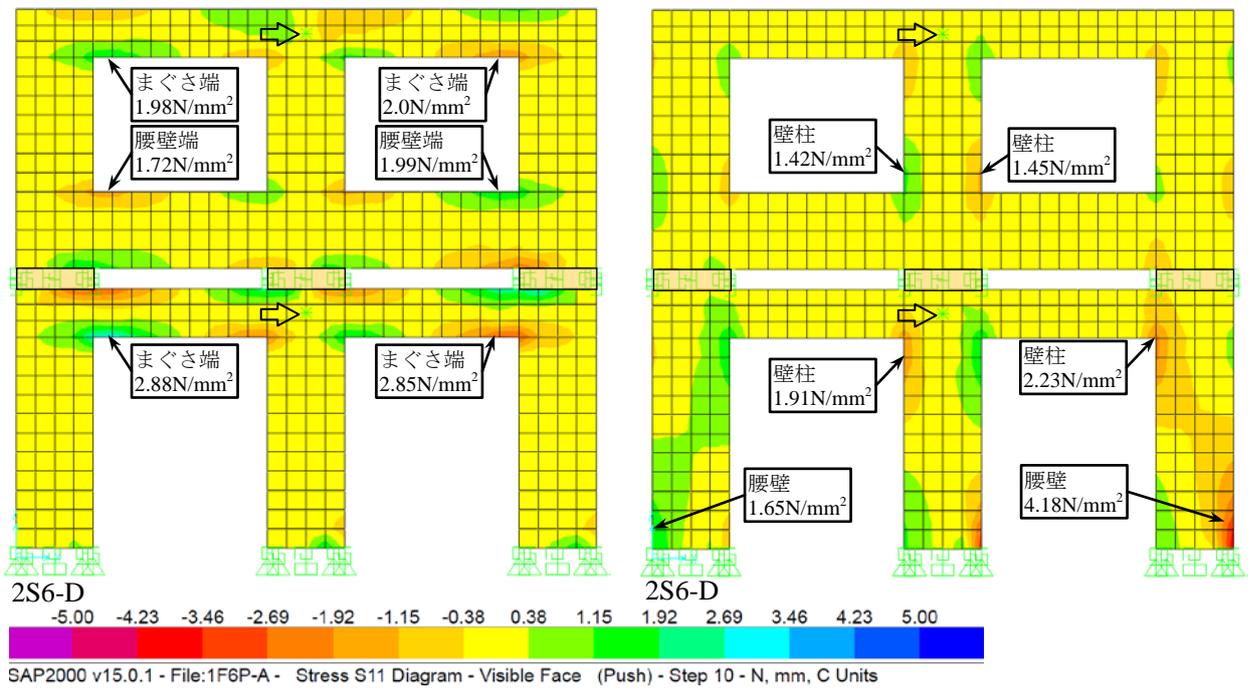


図 6.3.4-16 2S6-C コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-17 に 2S6-D のコンター図を示す。

水平方向応力 S11

鉛直方向応力 S22



せん断応力 S12

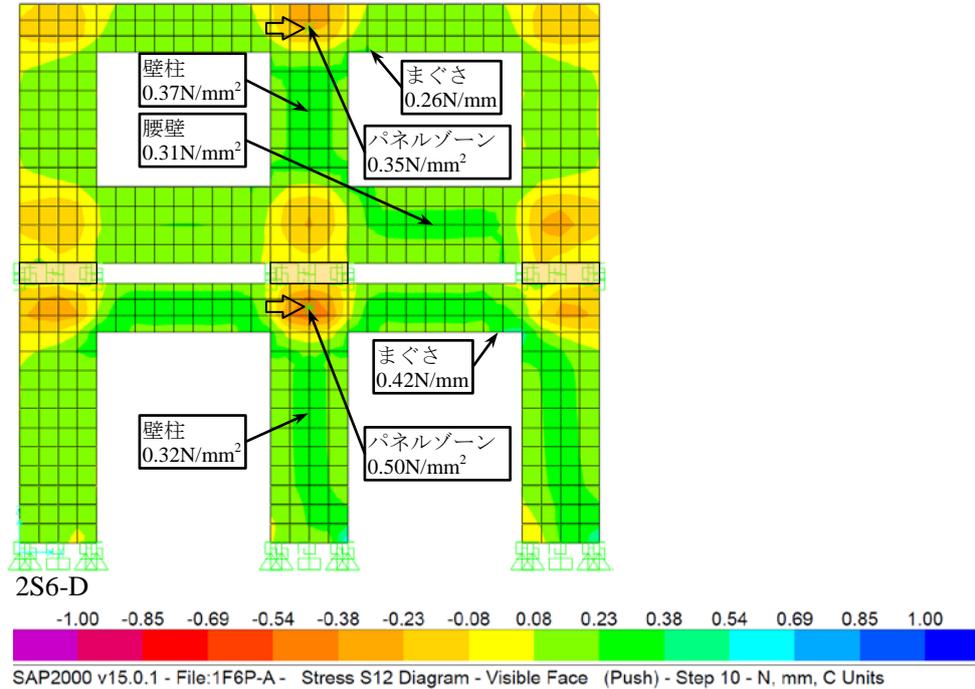
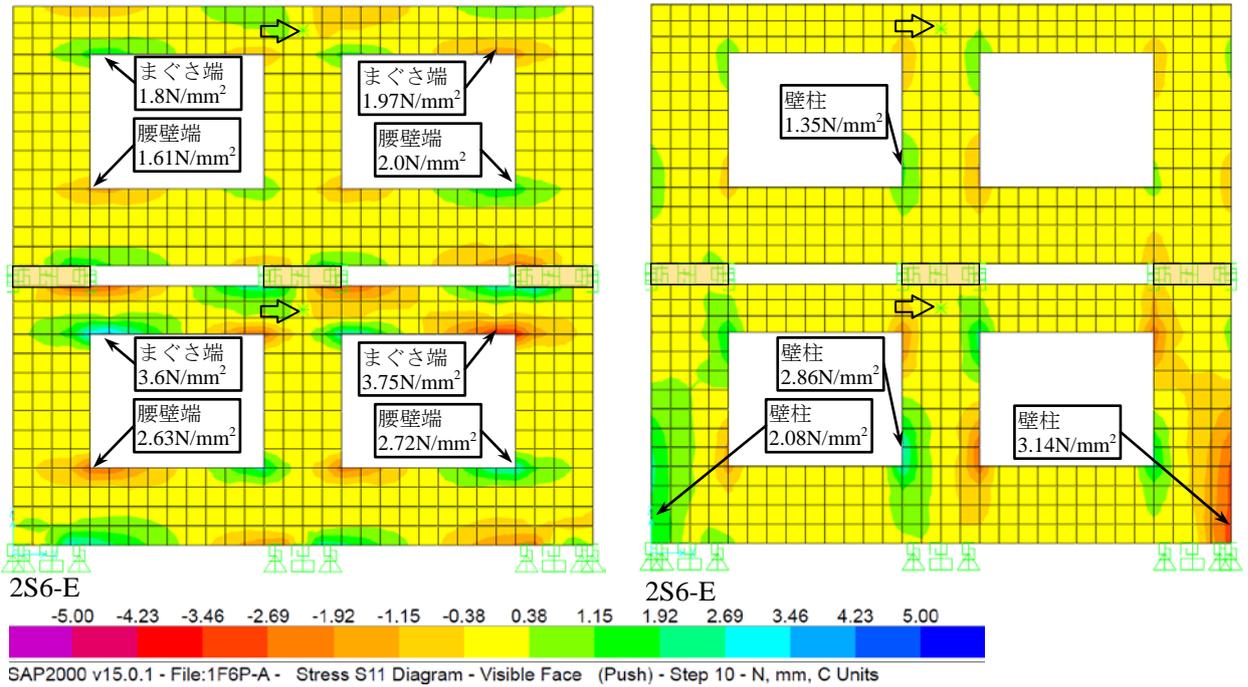


図 6.3.4-17 2S6-D コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-18 に 2S6-E のコンター図を示す。

水平方向応力 S11

鉛直方向応力 S22



せん断応力 S12

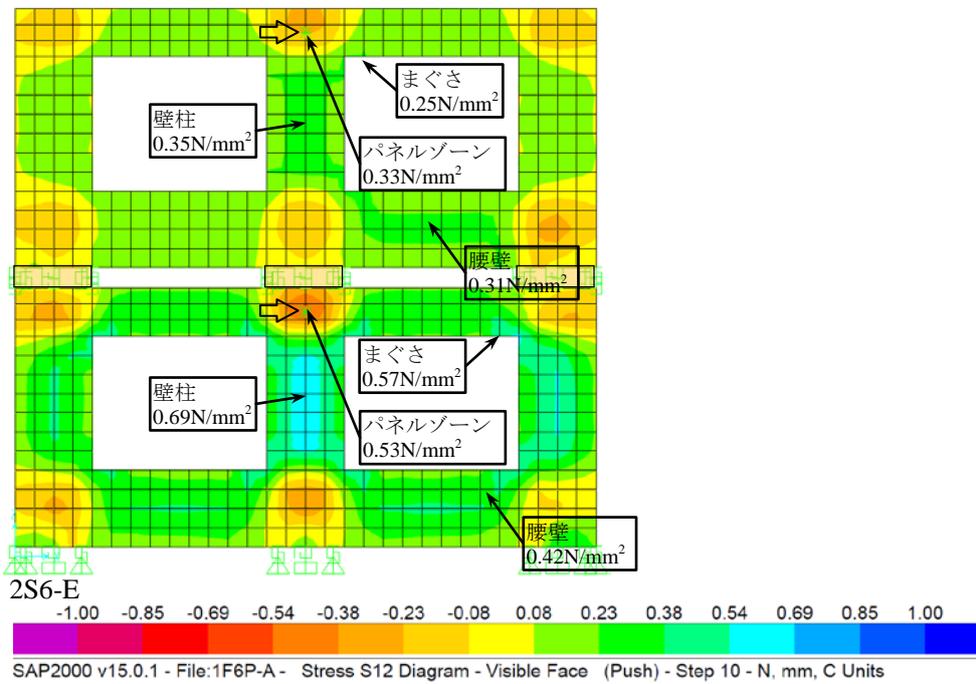
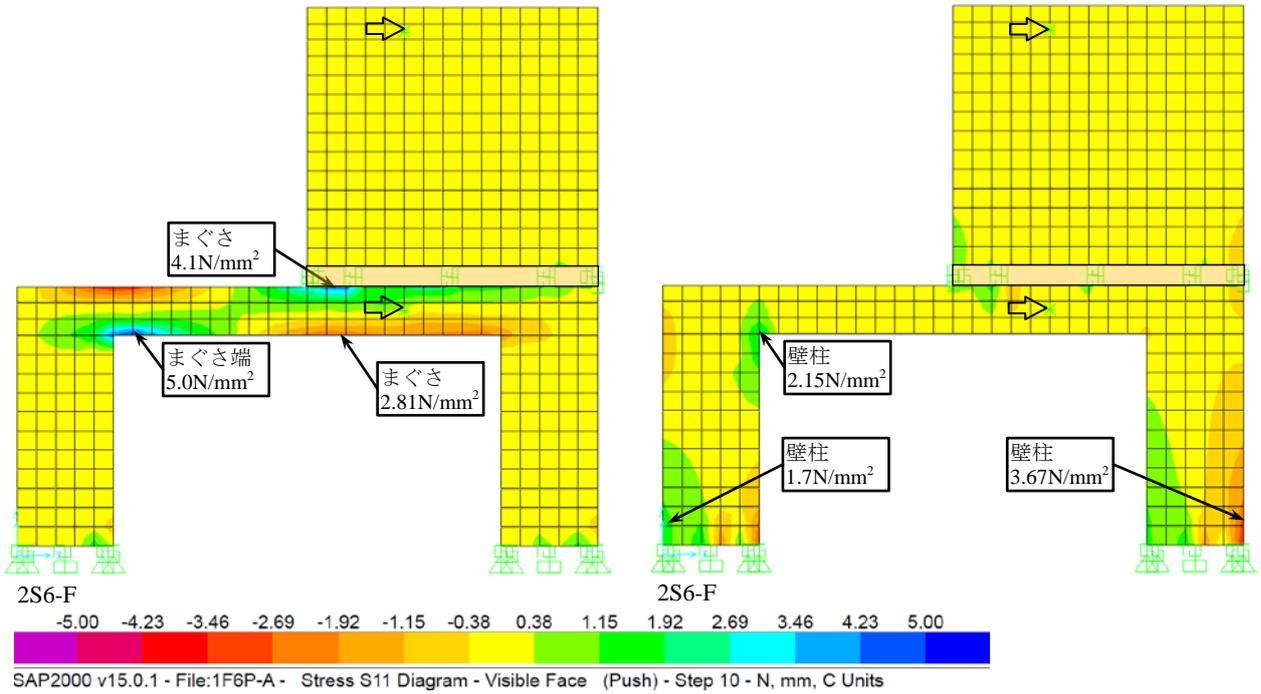


図 6.3.4-18 2S6-E コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-19 に 2S6-F(正方向加力時)のコンター図を示す。

水平方向応力 S11

鉛直方向応力 S22



せん断応力 S12

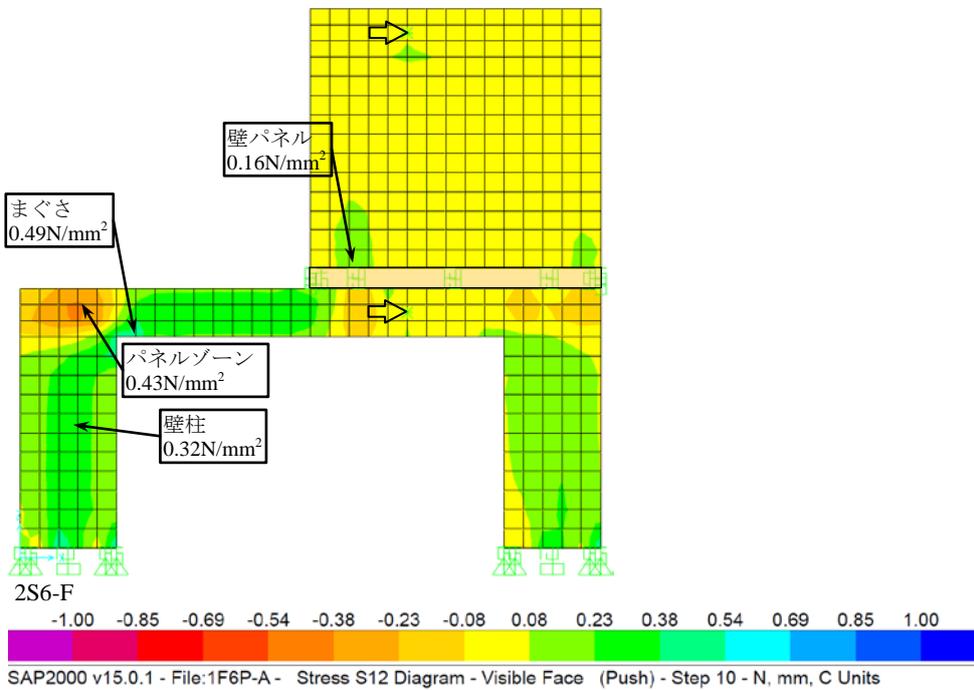
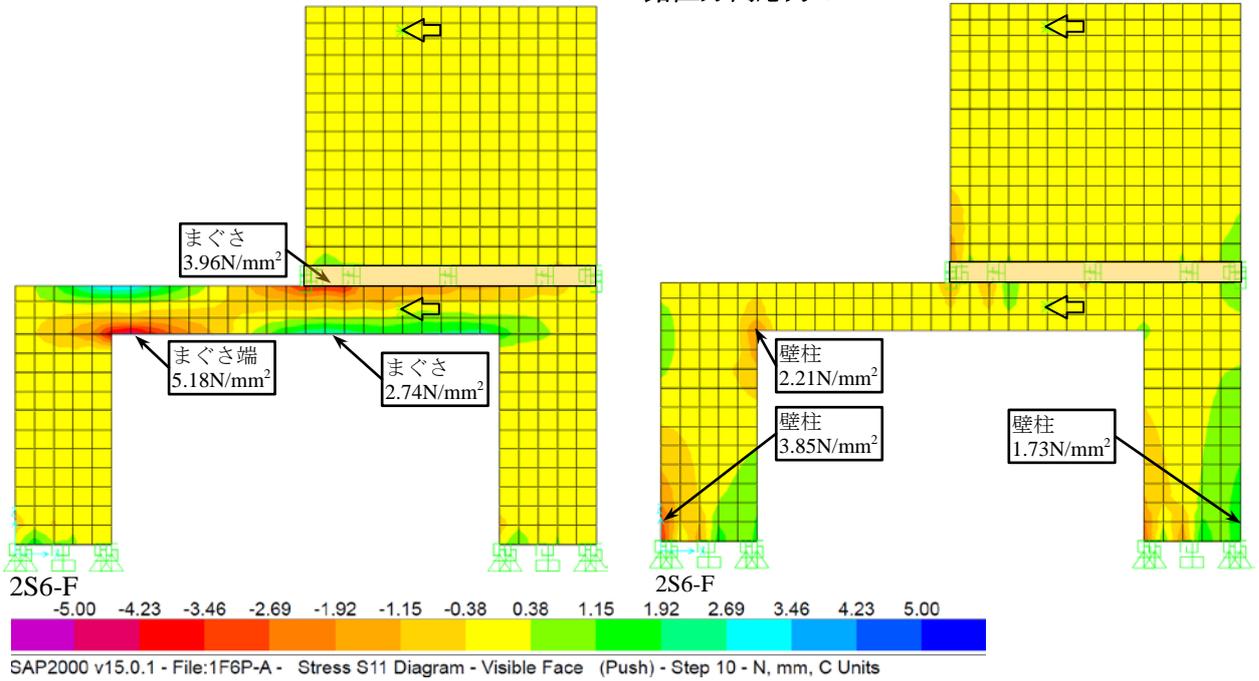


図 6.3.4-19 2S6-F 正方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

図 6.3.4-20 に 2S6-F(負方向加力時)のコンター図を示す。

水平方向応力 S11

鉛直方向応力 S22



せん断応力 S12

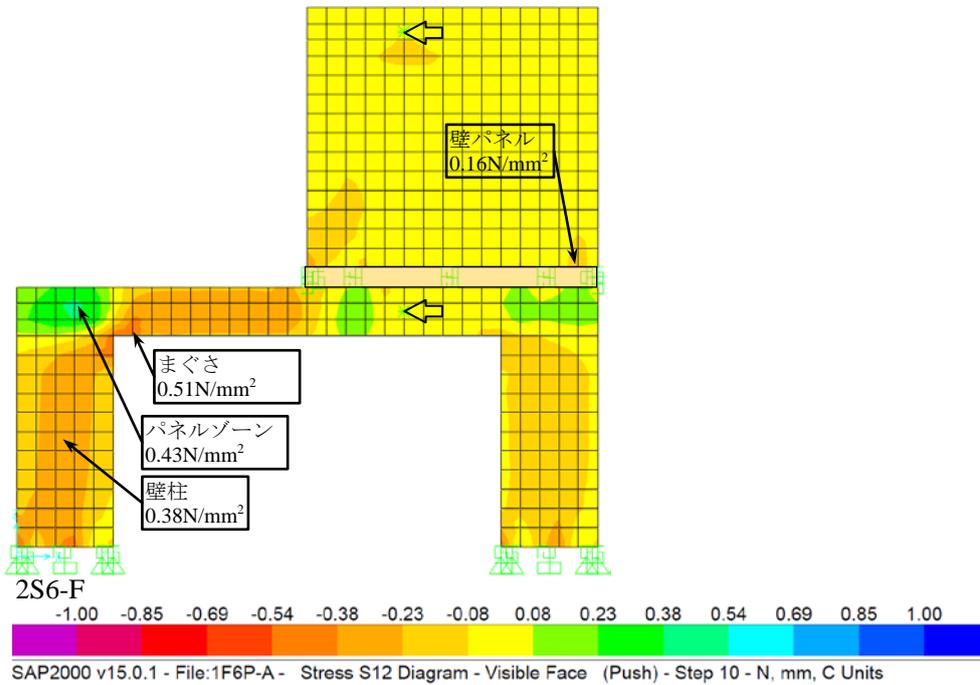


図 6.3.4-20 2S6-F 負方向加力時コンター図(加力点水平変位=1.0cm 時)

6.3.5 実験とFEM 事前解析の比較

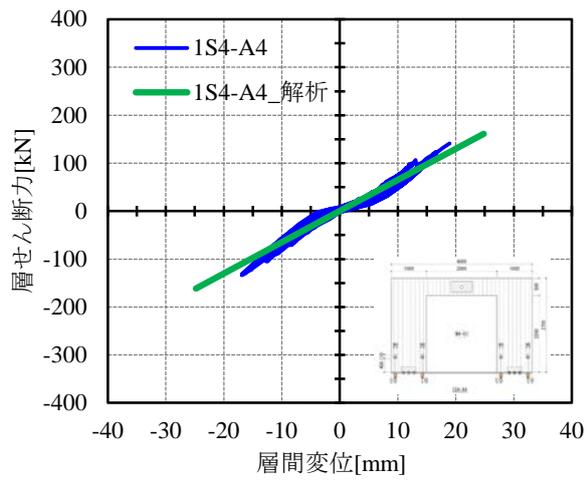
ここでは、「第5章 大型有開口パネル実大構面水平加力実験」の実験結果と事前解析結果を比較する。以下に、実大構面水平加力実験の各試験体の荷重変位関係と解析値の比較を示す。

表 6.3.5-1 に実験と FEM 解析の最大耐力の比較表を示す。

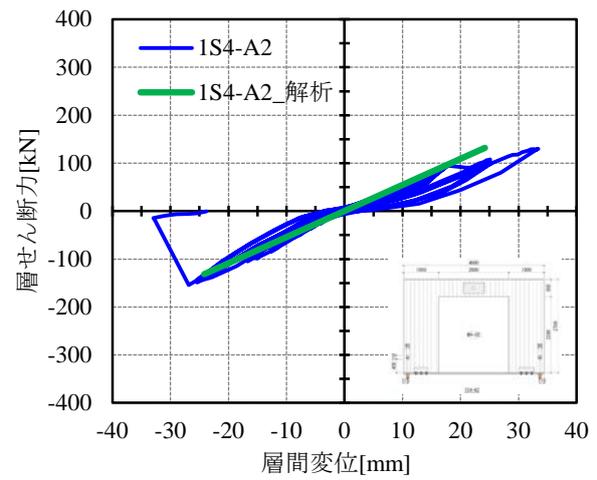
※以下に示す実験結果は速報時のものである。

表 6.3.5-1 実験と FEM 事前解析の最大耐力の比較表

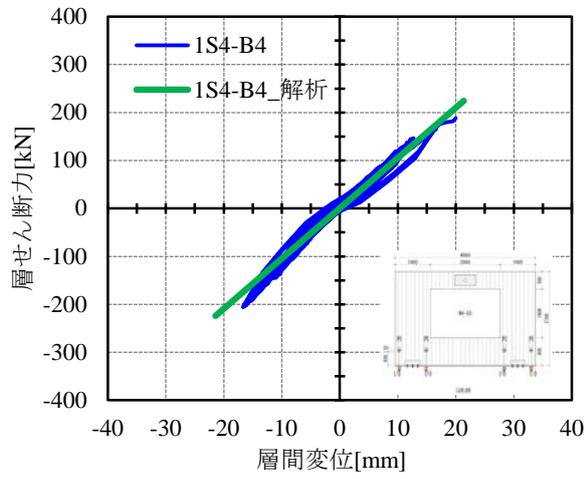
試験体名	実験	解析	eQ_{\max}/aQ_{\max} [—]
	eQ_{\max} [kN]	aQ_{\max} [kN]	
1S4-A4	141.12	161.39	0.87
1S4-A2	129.94	131.82	0.99
1S4-B4	188.39	224.15	0.84
1S4-B2	196.62	228.57	0.86
1S4-C	140.14	161.39	0.87
1S6-A	180.34	149.44	1.21
1S6-B	263.90	285.15	0.93
1S6-C	200.84	210.54	0.95
1S6-D	283.41	324.93	0.87
1S6-BF	477.68	416.2	1.15
2S4-A_1F	205.25	153.88	1.33
2S4-A_2F	49.72	44.23	1.12
2S4-B_1F	214.96	200.55	1.07
2S4-B_2F	165.34	109.51	1.51
2S6-A_1F	194.76	146.12	1.33
2S6-A_2F	56.98	36.44	1.56
2S6-B_1F	242.13	124.56	1.94
2S6-B_2F	100.52	114.2	0.88
2S6-C_1F	179.36	185.1	0.97
2S6-C_2F	101.79	79.92	1.27
2S6-D_1F	332.54	244.07	1.36
2S6-D_2F	234.87	225.26	1.04
2S6-E_1F	345.49	371.17	0.93
2S6-E_2F	243.60	160.91	1.51
2S6-F_1F	155.14	109.16	1.42
2S6-F_2F	45.60	48.06	0.95
2S6-FF_1F	236.64	109.16	2.17
2S6-FF_2F	149.65	48.06	3.11



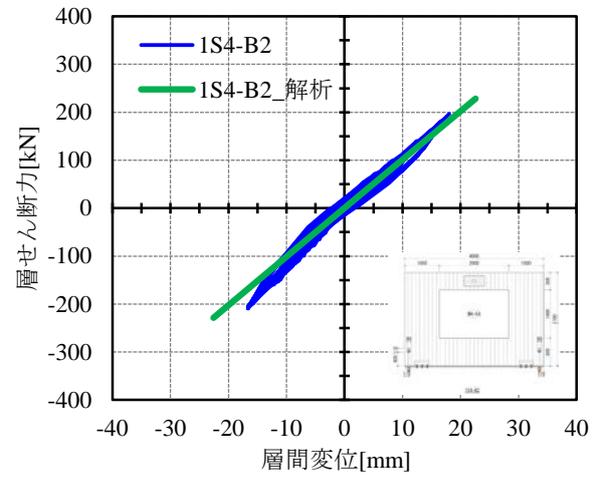
a) 1S4-A4



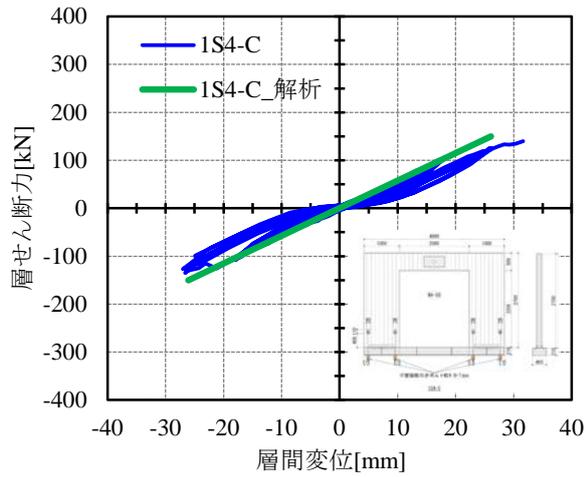
b) 1S4-A2



c) 1S4-B4



d) 1S4-B2



e) 1S4-C

図 6.3.5-1 1S4 シリーズの実験と FEM 解析の比較

図 6.3.5-2 に 2S4 シリーズの実験と FEM 解析の比較を示す。

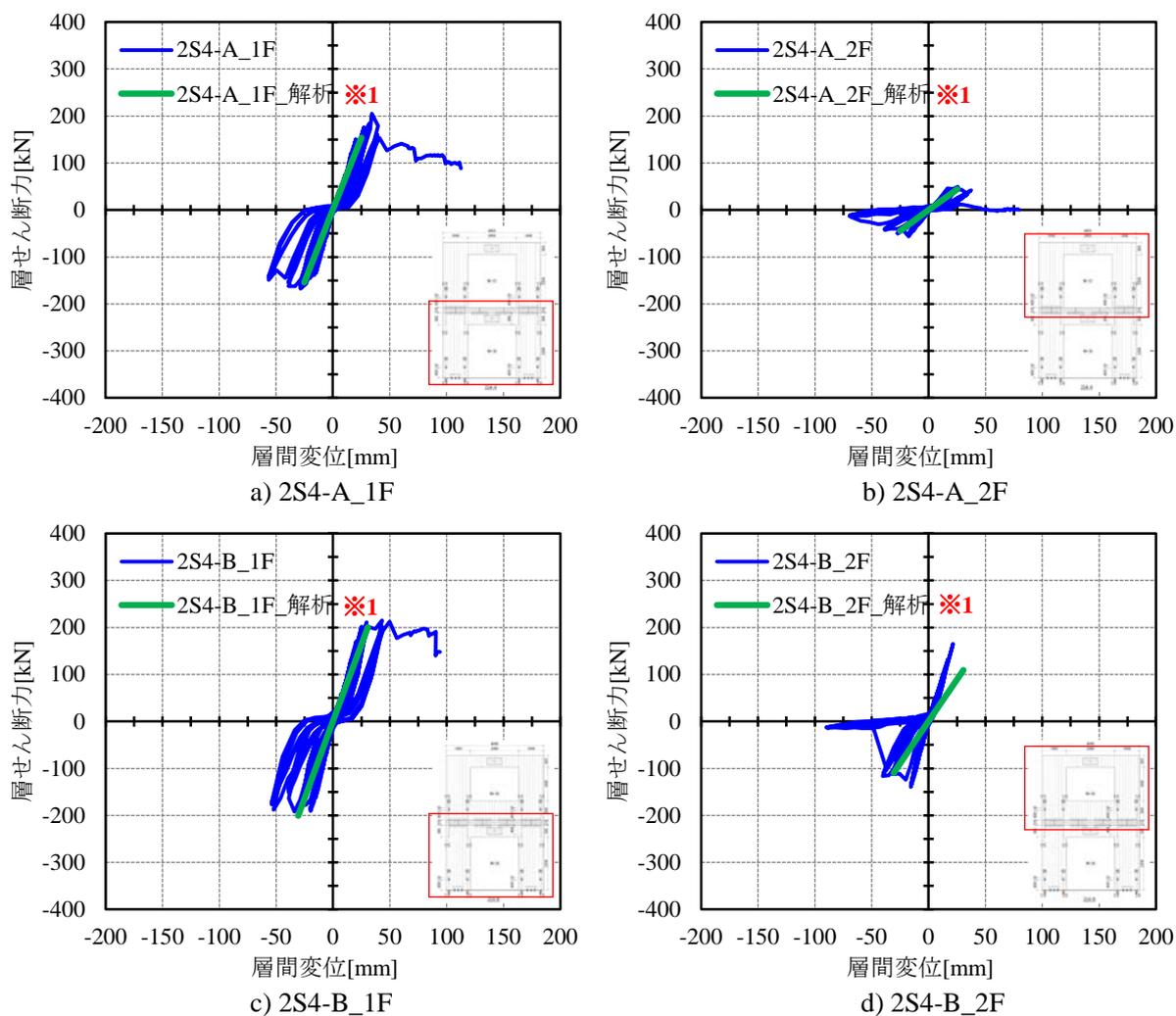


図 6.3.5-2 2S4 シリーズの実験と FEM 解析の比較

※1：試験体と FEM 解析で 1F・2F の壁柱と 2F 床を接合する L 形金物の個数が異なる。
 また、FEM 解析では、2F 床パネルは 2F の壁柱の脚部しかモデル化していない。
 「6.3.3 項(b)解析モデルと試験体の相違点」を参照。

図 6.3.5-3 に 1S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較を示す。

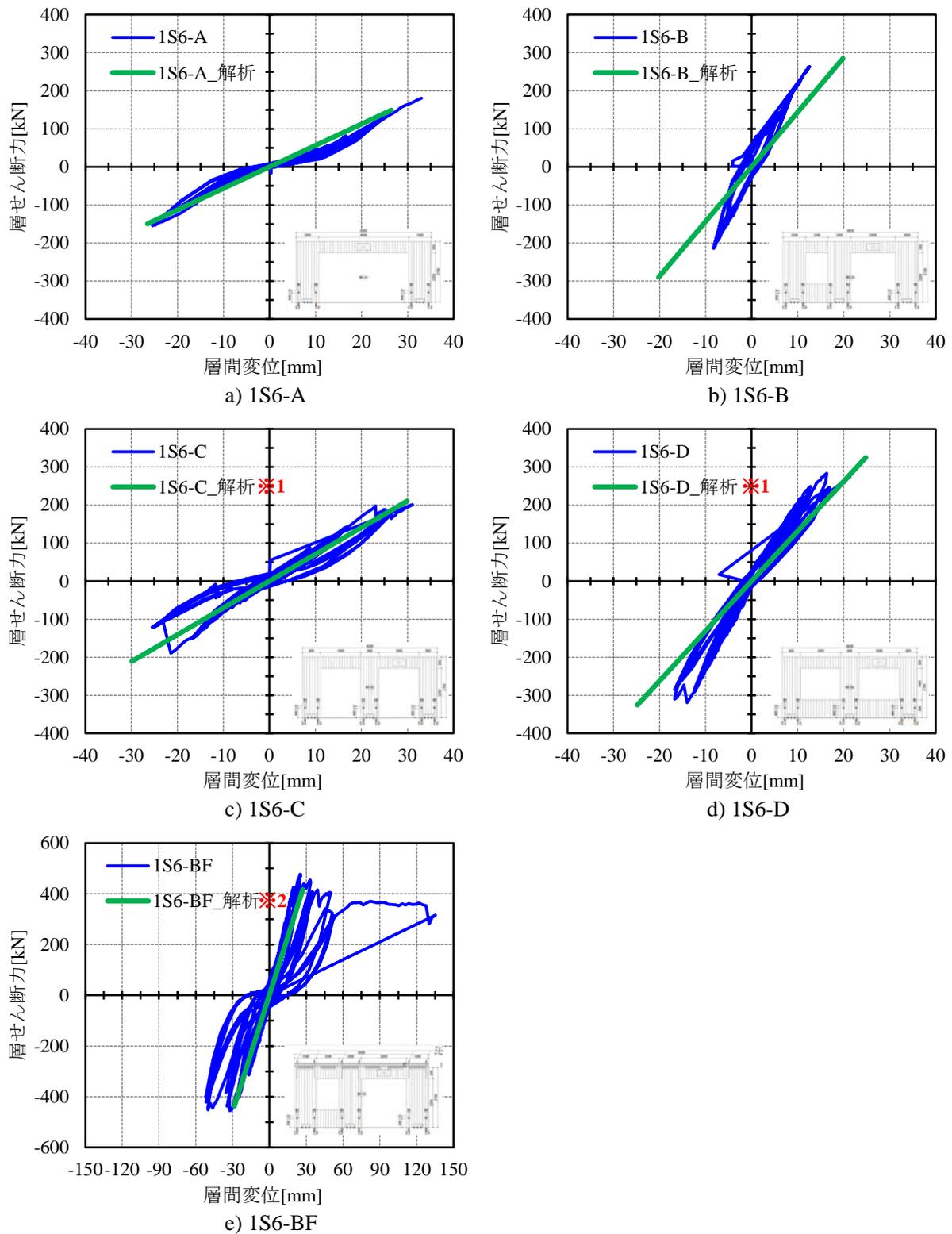


図 6.3.5-3 1S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較

- ※1：試験体と FEM 解析で加力位置が異なる。
 - ※2：試験体と FEM 解析で加力位置が異なる。また、2F 床と 1F 壁を接合する L 形せん断金物の個数が異なる。
- 「6.3.3 項(b)解析モデルと試験体の相違点」を参照。

図 6.3.5-4 に 2S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較を示す。

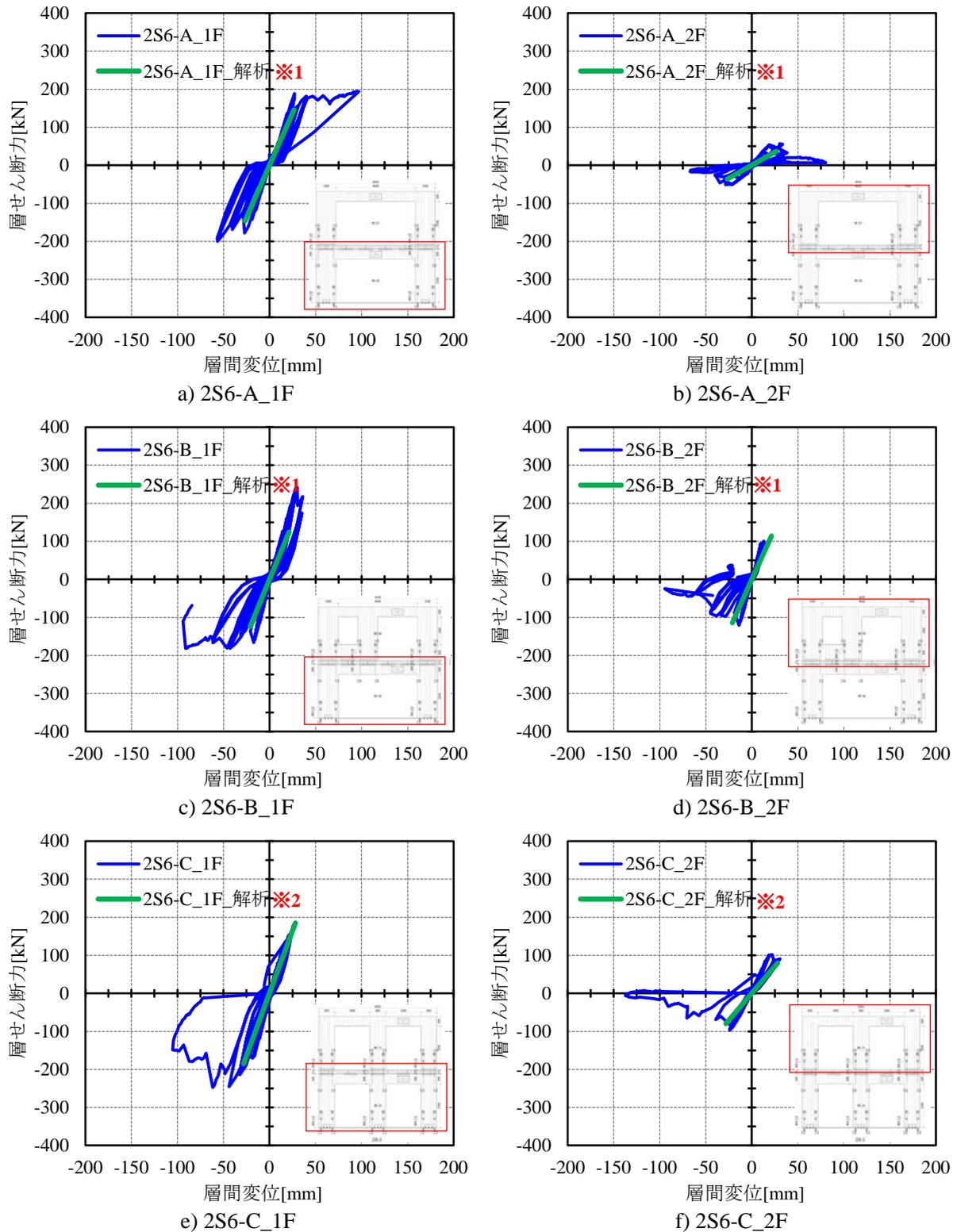


図 6.3.5-4 2S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較

- ※1: 試験体と FEM 解析で 1F・2F の壁柱と 2F 床を接合する L 形金物の個数が異なる。
FEM 解析では、2F 床パネルは 2F の壁柱の脚部しかモデル化していない。
- ※2: 試験体と FEM 解析で 1F・2F の壁柱と 2F 床を接合する L 形金物の個数が異なる。
FEM 解析では、2F 床パネルは 2F の壁柱の脚部しかモデル化していない。
試験体と FEM 解析で加力位置が異なる。
「6.3.3 項(b)解析モデルと試験体の相違点」を参照。

図 6.3.5-5 に 2S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較を示す。

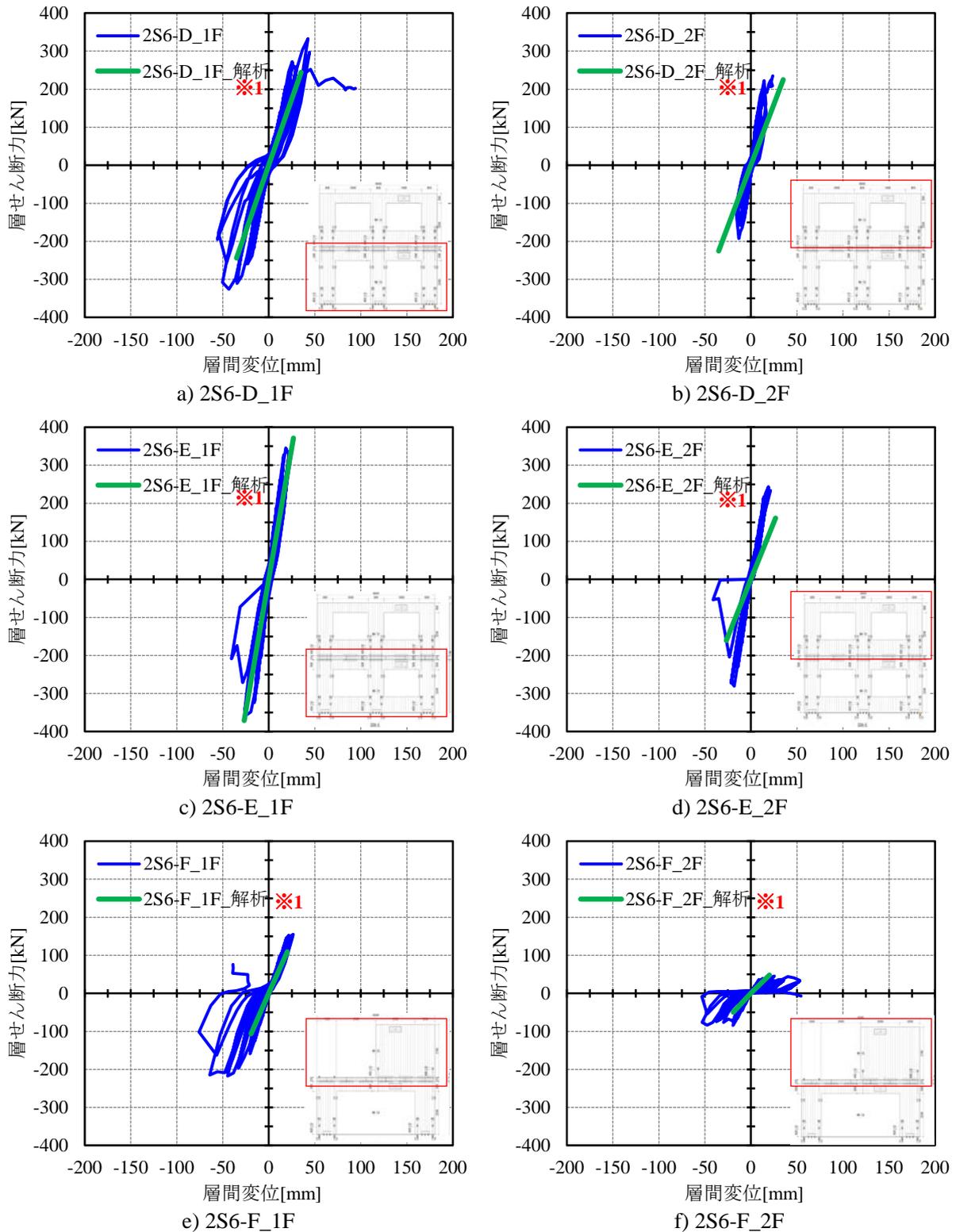


図 6.3.5-5 2S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較

- ※1: 試験体と FEM 解析で 1F・2F の壁柱と 2F 床を接合する L 形金物の個数が異なる。
FEM 解析では、2F 床パネルは 2F の壁柱の脚部しかモデル化していない。
試験体と FEM 解析で加力位置が異なる。
- ※2: 試験体と FEM 解析で 1F・2F の壁柱と 2F 床を接合する L 形金物の個数が異なる。
FEM 解析では、2F 床パネルは 2F の壁柱の脚部しかモデル化していない。
「6.3.3 項(b)解析モデルと試験体の相違点」を参照。

図 6.3.5-6 に 2S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較を示す。

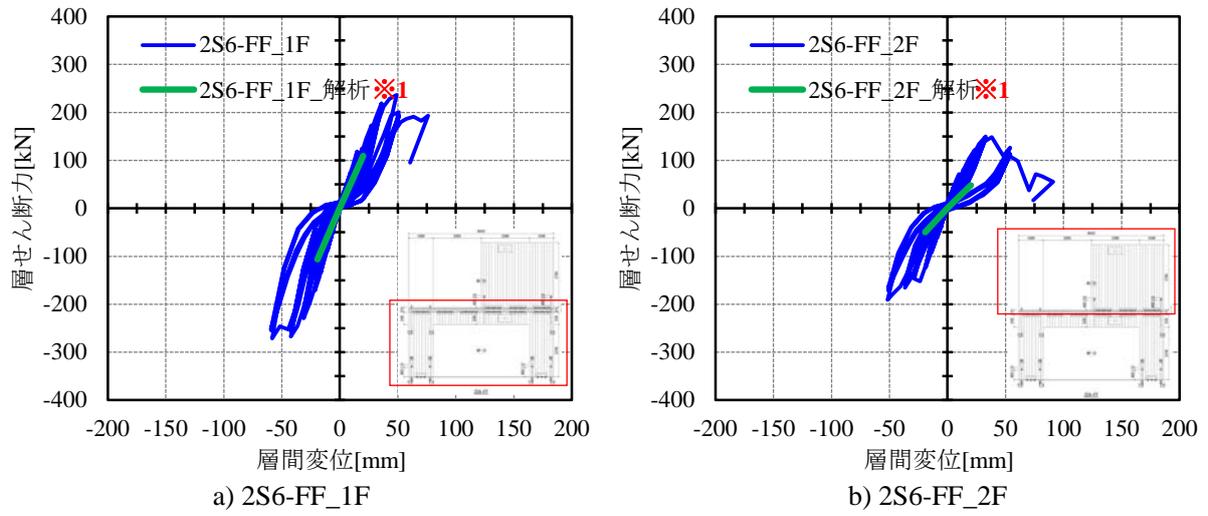


図 6.3.5-6 2S6 シリーズの実験と FEM 解析の比較

※1：試験体と FEM 解析で 1F・2F の壁柱と 2F 床を接合する L 形金物の個数が異なる。
 FEM 解析では、2F 床パネルは 2F の壁柱の脚部しかモデル化していない。
 「6.3.3 項(b)解析モデルと試験体の相違点」を参照。

6.3.6 考察

- ・ FEM 事前解析では、すべての試験体で、まぐさの曲げ破壊が先行する結果となる。
- ・ FEM 事前解析について、各試験体の CLT 壁 1P(=1m)あたりの最大せん断力 Q_p を算出し、比較する。ここでは、代表として図 6.3.6-1 に示す試験体について比較する。
 - 1S4-A4(壁 2P)では $Q_p=80.7$ [kN/P]に対して、1S6-A(壁 2P)では $Q_p=74.7$ [kN/P]となり 1S4-A の Q_p の 0.93 倍であった。
 - 1S6-C(壁 2.4P)は $Q_p=87.7$ [kN/P]となり、1S6-A の Q_p の 1.17 倍であった。
 - 2S6-A(壁 2P)では $Q_p=73.1$ [kN/P]に対して、2S6-B(壁 2.4P)では $Q_p=77.1$ [kN/P]であり 2S6-A の Q_p の 1.05 倍であった。

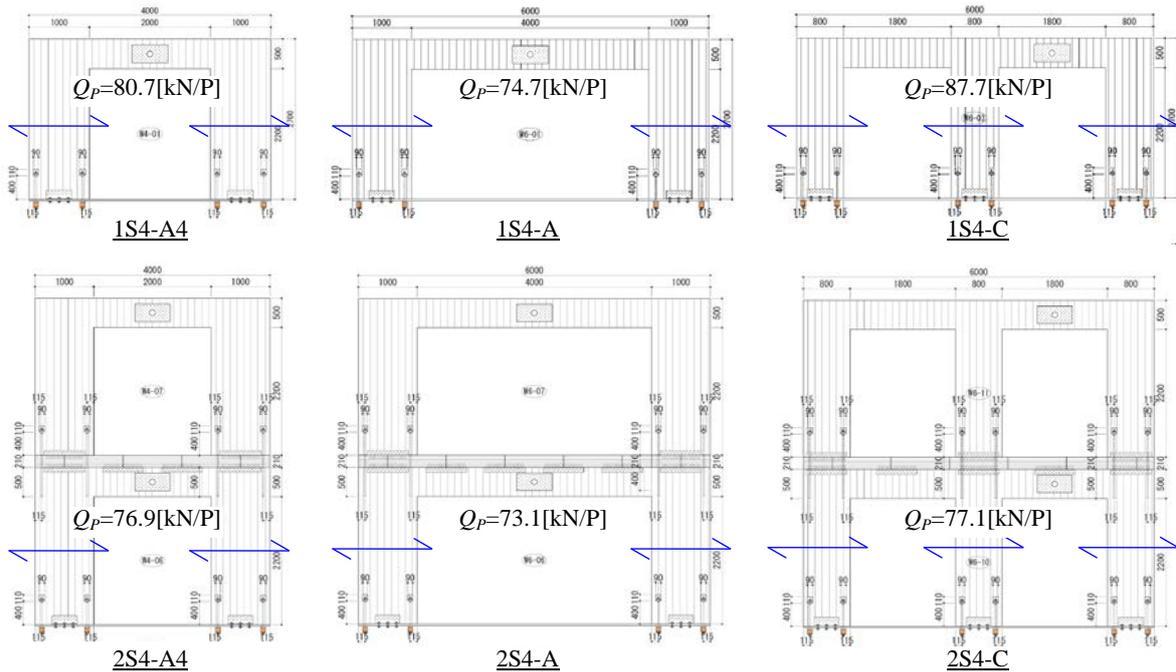


図 6.3.6-1 各試験体の 1P あたりの最大せん断耐力 Q_p

表 6.3.6-1 FEM 事前解析の各試験体の 1P あたりの最大せん断耐力 Q_p

試験体名	解析	パネル幅 [P]	Q_p [kN/P]	試験体名	解析	パネル幅 [P]	Q_p [kN/P]
	αQ_{max} [kN]				αQ_{max} [kN]		
1S4-A4	161.39	2.0	80.7	2S6-A_1F	146.12	2.0	73.1
1S4-A2	131.82	2.0	65.9	2S6-A_2F	36.44	2.0	18.2
1S4-B4	224.15	2.0	112.1	2S6-B_1F	124.56	2.0	62.3
1S4-B2	228.57	2.0	114.3	2S6-B_2F	114.2	3.0	38.1
1S4-C	150.05	2.0	75.0	2S6-C_1F	185.1	2.4	77.1
1S6-A	149.44	2.0	74.7	2S6-C_2F	79.92	2.4	33.3
1S6-B	285.15	3.0	95.1	2S6-D_1F	244.07	2.4	101.7
1S6-C	210.54	2.4	87.7	2S6-D_2F	225.26	2.4	93.9
1S6-D	324.93	2.4	135.4	2S6-E_1F	371.17	2.4	154.7
1S6-BF	416.2	3.0	138.7	2S6-E_2F	160.91	2.4	67.0
2S4-A_1F	153.88	2.0	76.9	2S6-F_1F	109.16	2.0	54.6
2S4-A_2F	44.23	2.0	22.1	2S6-F_2F	48.06	3.0	16.0
2S4-B_1F	200.55	2.0	100.3	2S6-FF_1F	109.16	2.0	54.6
2S4-B_2F	109.51	2.0	54.8	2S6-FF_2F	48.06	3.0	16.0

- ・1S4 シリーズ(1 層 4m 幅パネル)については、耐力・剛性ともに実験と FEM 事前解析は、概ね良い対応を示した。
- ・1S6 シリーズ(1 層 6m 幅パネル)、2S4 シリーズ(2 層 4m 幅パネル)、2S6 シリーズ(2 層 6m 幅パネル)については、試験体と FEM 事前解析モデルで相違点(加力点の位置・L 形せん断金物の個数等)があったため、実験を再現できていなかったモデルがあった。今後は、FEM 解析モデルを試験体と同じ仕様にして解析を実施し、実験値との対応を再度確認する必要がある。

参考文献

- 1) 株式会社日本システム設計：クロス・ラミネイティド・ティンバー構法の損傷限界・安全限界に関する検討(木造長期優良住宅の総合的検証事業)，平成 24 年度報告書，平成 25 年 3 月
- 2) 松本和行、三宅辰哉、植本敬大、五十田博、河合直人、安村基：クロス・ラミネイティド・ティンバーによる構造の耐震性能に関する研究 その 16 3 層実大モデル静的加力実験事後解析，日本建築学会大会梗概集（北海道）pp565~566，2013 年 8 月
- 3) 木構造振興株式会社：CLT パネルを用いた中高層建築物の構造計画と接合部性能の検証事業報告書，平成 23 年度報告書，平成 24 年 3 月

