

## 第6章 中層建築物の部材・接合部仕様の検討



## 6.1 第6章の概要

中層建築物(4,5,6層)の部材・接合部仕様を設定するために、ケーススタディを行う。ここでは「小幅パネル架構」のみを対象とする。直交壁を考慮した平面解析モデルによる荷重増分解析を行い、表 6.1.1 に示す仕様における構造性能を把握する。解析プログラムは SNAPver.8(株式会社構造システム)を用いる。

表 6.1.1 解析モデル仕様

層数	4,5,6 層
壁幅 $L_w$	1.0m、2.0m
開口幅	2.0m
スパン	2 スパン
CLT パネル	S90-5-5( $t=150$ )
アンカーボルト	M24 <sup>※1</sup> (ABR490) 非線形 ボルト剛性+ビス 39 本分の剛性を考慮
壁-壁引張接合部 壁-屋根引張接合部	M27(ABR490) 非線形 ボルト剛性+ビス 50 本分の剛性を考慮
壁-基礎せん断接合部 壁-床せん断接合部	弾性(剛性は剛相当)
床-垂れ壁せん断接合部	非線形( $\chi$ マーク LST) 1m 当り LST×4 を配置 (4~6 層モデルで同様)
壁-垂れ壁せん断接合部	弾性( $\chi$ マーク SP の剛性)
床パネル面外剛性	未考慮 (協力幅 1000mm とした強軸 CLT パネルの軸剛性のみを設定する)
床-床引張接合部	非線形(剛性は $\chi$ マーク STF×2)
総重量 $\Sigma W$	$\Sigma W = \frac{10+1.5n}{0.2} \cdot 2L_w$ <sup>※2</sup> ( $\Sigma W$ 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、 $n$ は垂れ壁数、 $L_w$ 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
腰壁	なし、1F なし(CLT 腰壁)、1F なし(合板張り腰壁) <sup>※3</sup>

※1：6層でのみ M27 のケースも検討する。

※2：現行ルート 1 の階数の適用範囲は 3 階以下であるが、本検討では当該式を用いて総重量を算出する。また、本検討では、腰壁数による $n$ の増加分は考慮しない。

※3：6層でのみ検討する。

以下に、検討ケースを示す。

### ・4 層

壁幅 $L_w = 1.0$  or  $2.0$ m、開口幅 $L_o = 2.0$ m、腰壁なし or 1F なし(CLT 腰壁) 計 4 ケース

### ・5 層

壁幅 $L_w = 1.0$  or  $2.0$ m、開口幅 $L_o = 2.0$ m、腰壁なし or 1F なし(CLT 腰壁) 計 4 ケース

### ・6 層

壁幅 $L_w = 1.0$  or  $2.0$ m、開口幅 $L_o = 2.0$ m、アンカーボルト M24 or アンカーボルト M27  
腰壁なし or 1F なし(CLT 腰壁) or 1F なし(合板張り腰壁) 計 8 ケース

図 6.1.1 に解析モデル例(5層、壁幅 1m、開口幅 2m、2層以上 CLT 腰壁有り)を示す。面材張り腰壁の場合は、CLT パネルにパネルゾーンを設け、腰壁部分は壁倍率が 5 倍となるようにブレース置換を行う。

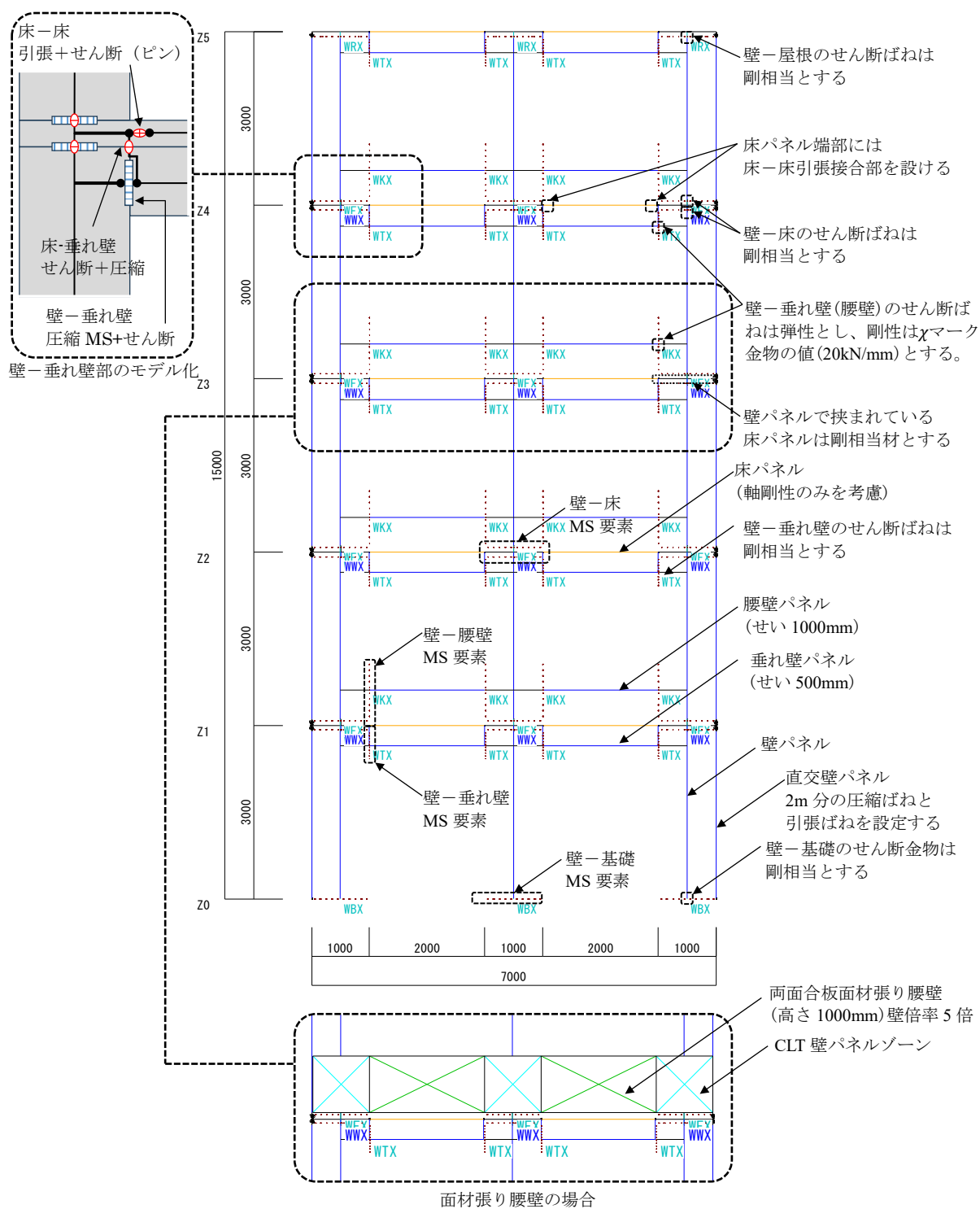


図 6.1.1 解析モデル例(5層、壁幅 1m、開口幅 2m、1F 腰壁なし[CLT 腰壁])

図 6.1.2 に接合部ばねを示す。

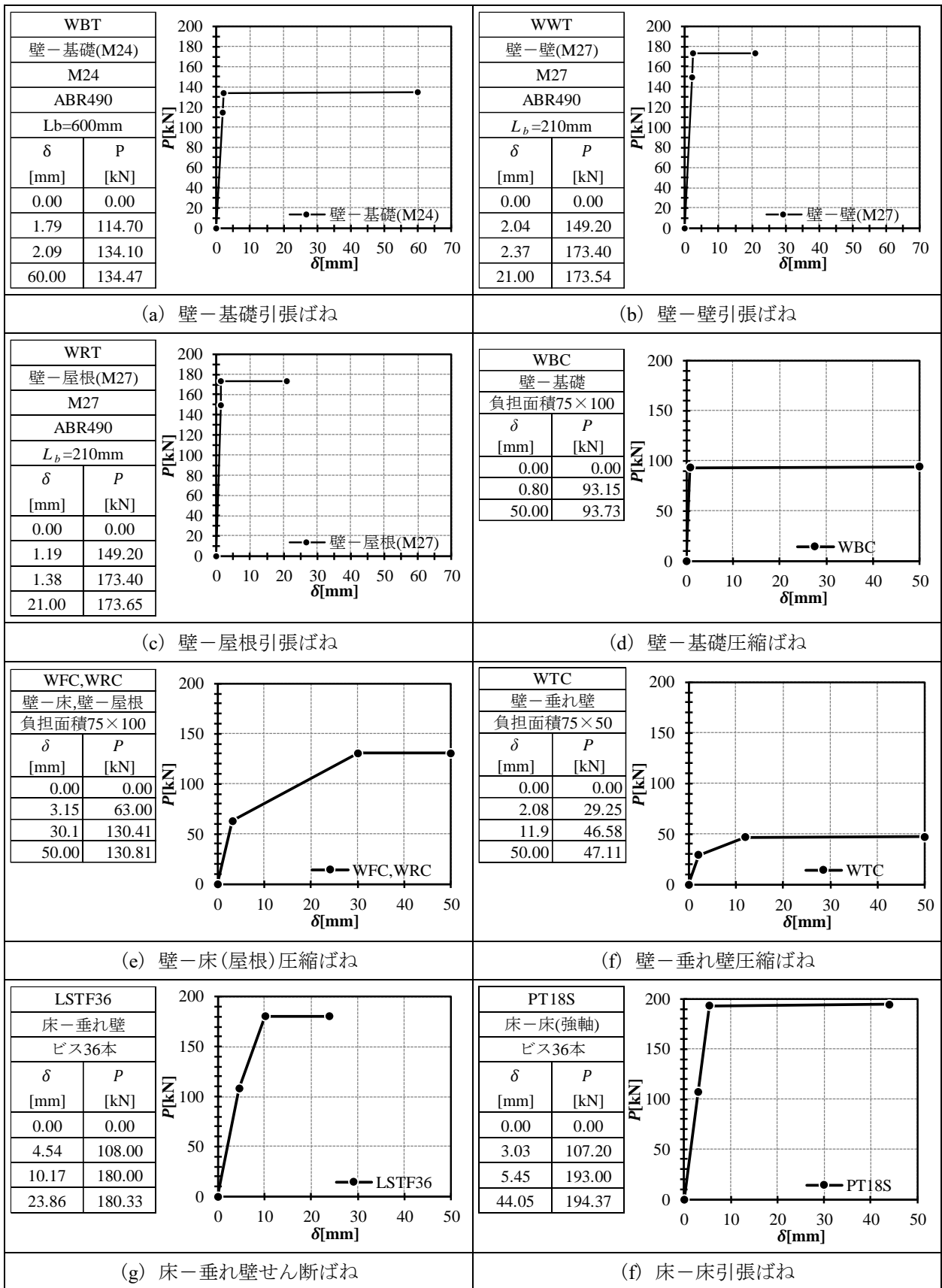


図 6.1.2 接合部ばね

図 6.1.3 に示すように、合板張り腰壁の性能は、「一般財団法人日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法 例題編・資料編，2012」に準拠して設定する。解析モデルに入力する際は、ブレース置換する。

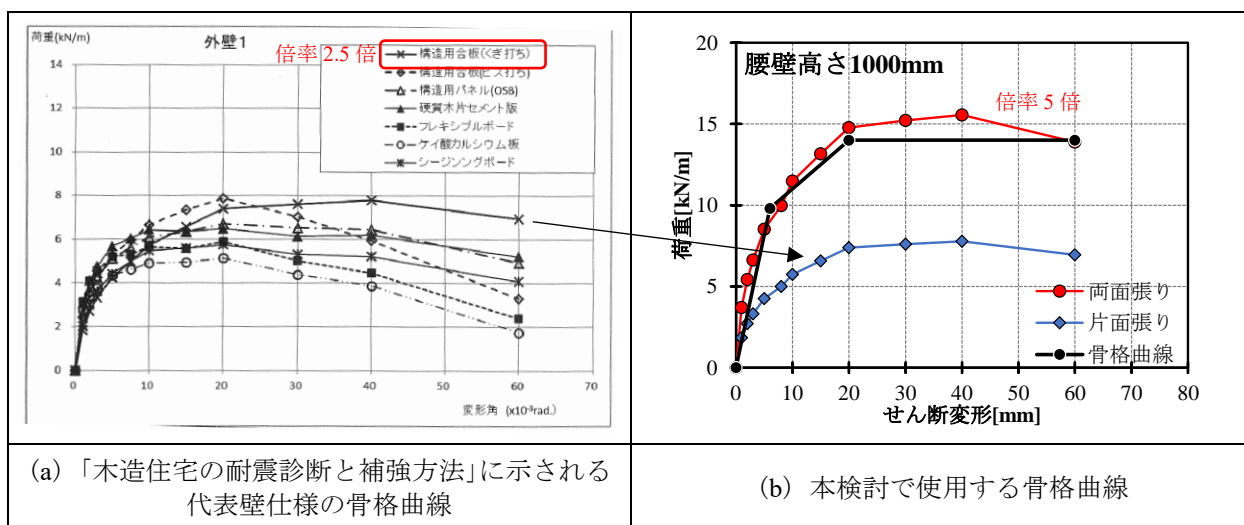


図 6.1.3 合板張り腰壁の性能

以降に本検討における許容耐力 $Q_a$ 、終局耐力 $Q_u$ 及び換算壁倍率の算出方法を示す。

許容耐力 $Q_a$ は、荷重増分解析における以下の条件となるステップの最小ステップ時の 1 層層せん断力である。

- ・以下の 3 条件の最大ステップ
  - ✓等価 1 自由度系の加速度が $A_y^{*1}$ に達するステップ
  - ✓接合部の応力が短期許容耐力に達するステップ
  - ✓面材張り腰壁の応力が短期許容耐力に達するステップ $^{*2}$
- ・CLT パネルの応力度が短期許容耐力に達するステップ
- ・層間変形角が  $1/150\text{rad}$  に達するステップ

※1:  $A_y$ については、等価 1 自由度系の加速度 $A$ —代表変位 $\Delta$ 関係に木造耐力壁の許容水平耐力評価を適用して降伏耐力 $P_y$ に相当する $A$ を $A_y$ とする。

※2: 面材張り腰壁を設けた 6 層モデルのみ考慮

終局耐力 $Q_u$ は、荷重増分解析における以下の条件となるステップの最小ステップ時の 1 層層せん断力である。

- ・CLT パネルの応力度が基準強度に達するステップ
- ・接合部の変形が終局変形 $\delta_u$ に達するステップ

換算壁倍率は下式により算出する。 $\Sigma L_w$ は 1 階の壁パネルの総長さである。

$$\text{換算壁倍率} = \min(Q_a, Q_u/D_s \cdot 0.2) / \Sigma L_w / 1.96$$

## 6.2 解析結果

以降に解析結果(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。

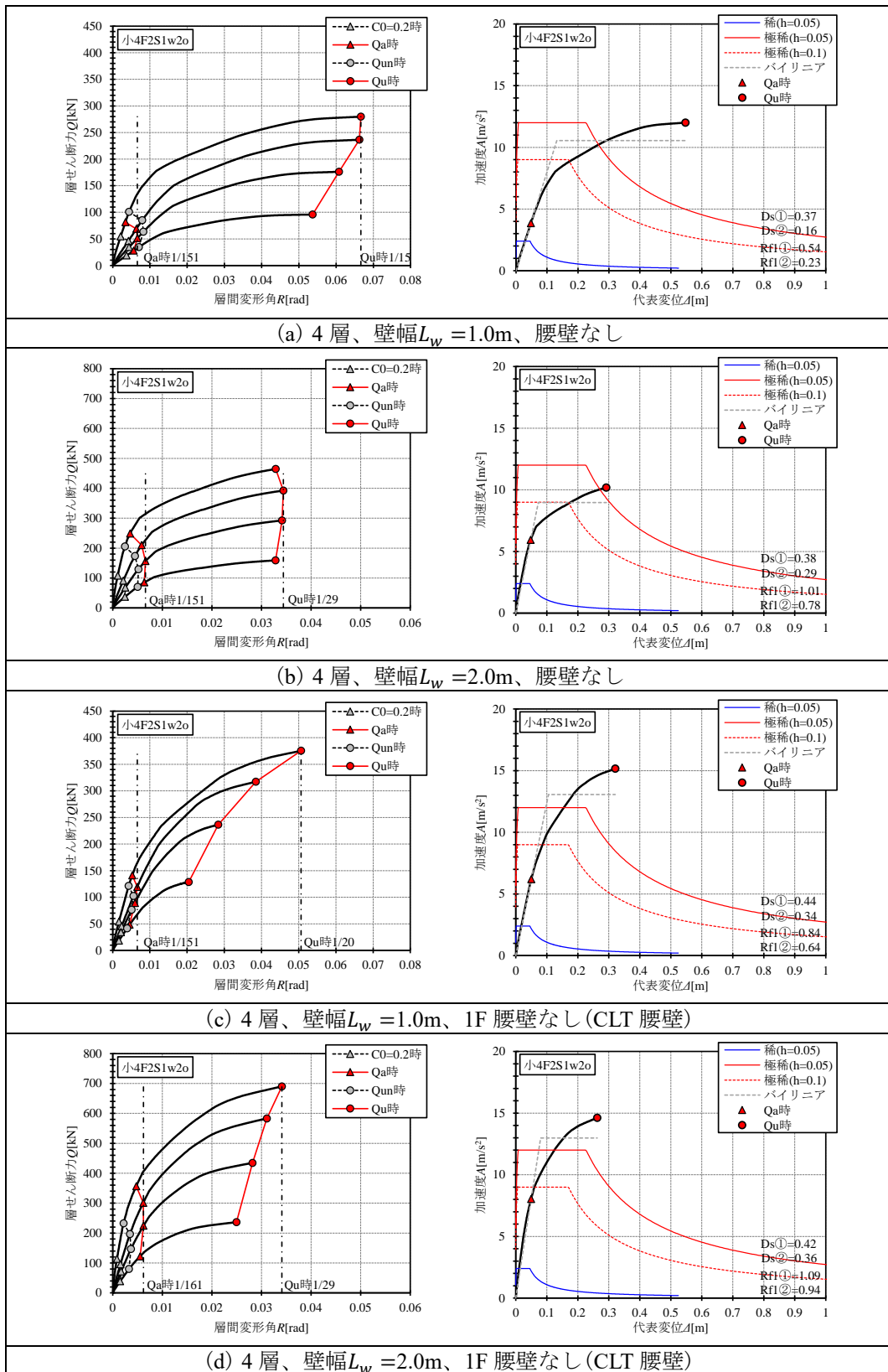


図 6.2.1 4層モデル解析結果

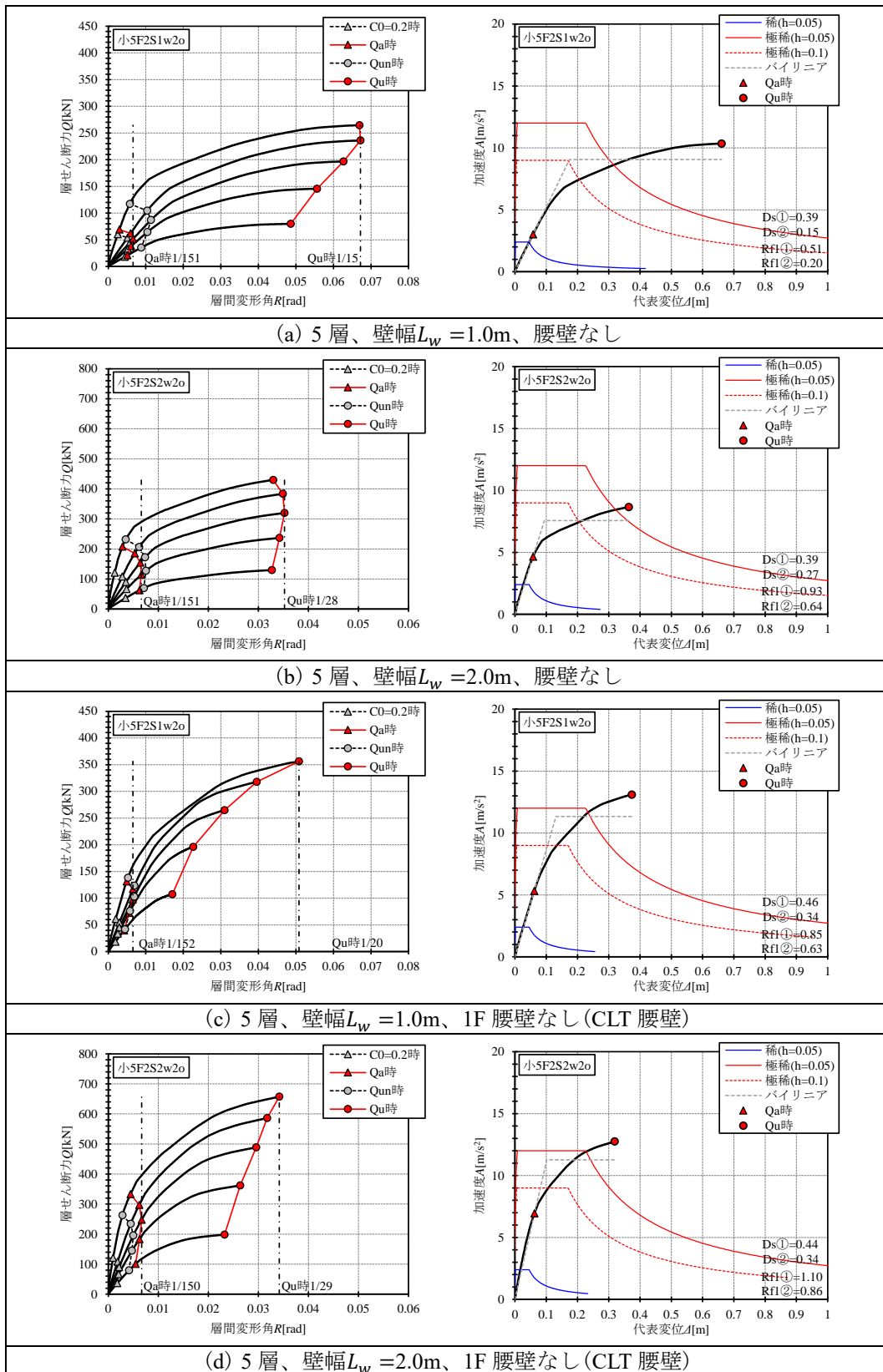


図 6.2.2 5層モデル解析結果



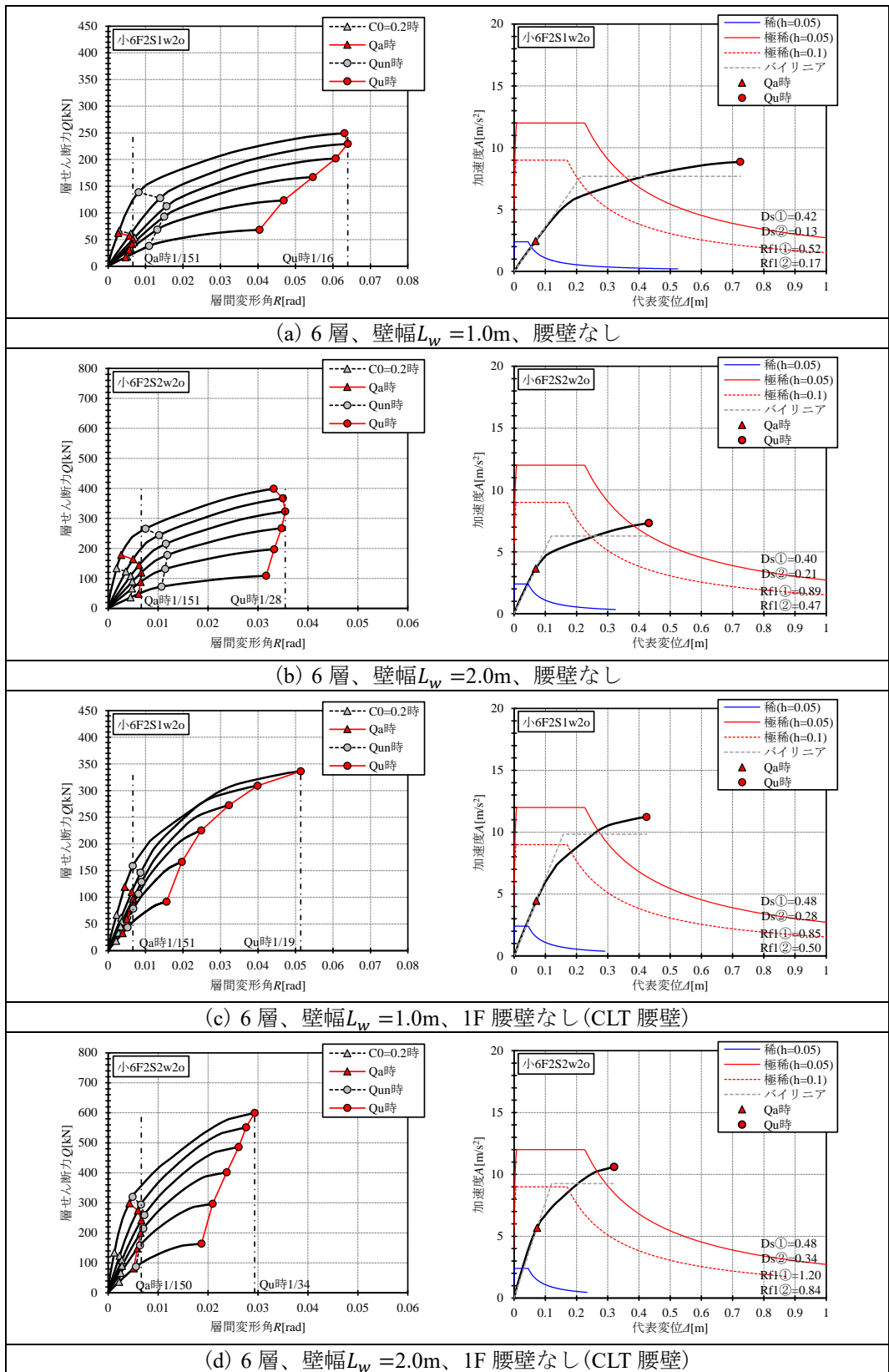


図 6.2.3 6層モデル解析結果

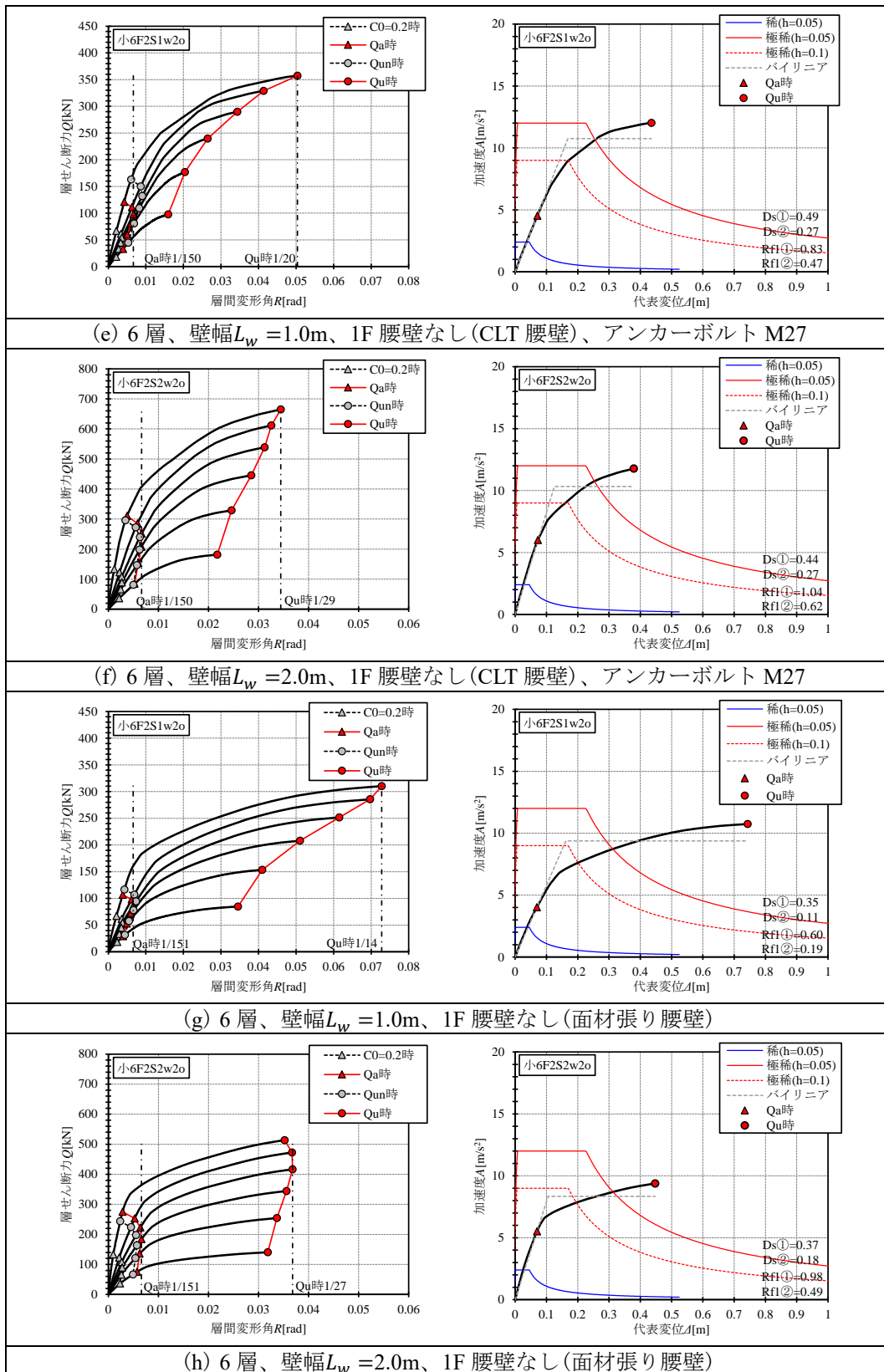


図 6.2.3 6層モデル解析結果(続き)

以下に解析結果一覧を示す。

表 6.2.1 解析結果一覧

層	壁幅 $L_w$	腰壁	アンカー ボルト	$Q_a$ [kN]	$Q_a/\Sigma L_w$ [kN/m]	$Q_a$ 決定要因	$Q_u$ [kN]	$Q_u/\Sigma L_w$ [kN/m]	$Q_u$ 決定要因	$D_s$	換算 壁倍率
4層	1m	無し	M24	81.2	27.1	A	280	93	C	0.37	13.8
	2m		M24	248.7	41.4	A	464	77	D	0.38	21.0
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M24	141.3	47.1	A	375	125	C	0.44	24.0
	2m		M24	356.3	59.4	B	690	115	D	0.42	27.7
5層	1m	無し	M24	69.3	23.1	A	265	88	C	0.39	11.8
	2m		M24	207.8	34.6	A	430	72	D	0.39	17.7
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M24	131.4	43.8	A	356	119	C	0.46	22.3
	2m		M24	332.7	55.5	A	657	110	D	0.44	25.7
6層	1m	無し	M24	62.0	20.7	A	249	83	D	0.42	10.6
	2m		M24	178.1	29.7	A	399	66	D	0.40	15.1
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M24	119.3	39.8	A	336	112	C	0.48	20.3
	2m		M24	298.3	49.7	A	599	100	D	0.48	21.2
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M27	120.9	40.3	A	357	119	C	0.49	20.6
	2m		M27	310.0	51.7	A	665	111	D	0.44	25.4
	1m	1F 腰壁なし(合板張り腰壁)	M24	106.6	35.5	A	310	103	D	0.35	18.1
	2m		M24	274.8	45.8	A	514	86	D	0.37	23.4

決定要因 A : 層間変形角 1/150rad、B :  $A_y$ 、C : 床-垂れ壁せん断ばね  $\delta_u$ 、D : アンカーボルト  $\delta_u$

以下に各モデルの重量倍率  $A_w$  を示す。 $A_w$  は総重量  $\Sigma W$  に対する倍率である。また、 $Q_{c0}$  は  $C_0 = 0.2$  時の 1 階地震力 ( $Q_{c0} = \Sigma W \times C_0$ )、 $Q_{un}$  は 1 階必要保有水平耐力 ( $Q_{un} = \Sigma W \times D_s$ )、 $d_a$  は負担可能幅である。 $d_a$  は下式により求める。色付きの数値 =  $A_w$  である。

$$d_a = \Sigma W \cdot A_w / \Sigma u_w / L_{ana}$$

ここで、 $\Sigma u_w$  : 仮定建物総重量 (4 層 : 22.5kN/m<sup>2</sup>、5 層 : 28.5kN/m<sup>2</sup>、6 層 : 34.5kN/m<sup>2</sup>)

最上層の重量を 4.5kN/m<sup>2</sup>、それ以外の層を 6.0kN/m<sup>2</sup> と仮定。

$L_{ana}$  : 解析モデルの幅 (壁幅  $L_w = 1.0\text{m} : 7\text{m}$ 、壁幅  $L_w = 1.0\text{m} : 10\text{m}$ )

表 6.2.2 重量倍率  $A_w$

層	壁幅 $L_w$	腰壁	アンカー ボルト	$\Sigma W$ [kN]	$Q_{c0}$ [kN]	$Q_a/Q_{c0}$ ①	$Q_{un}$ [kN]	$Q_a/Q_{c0}$ ②	$A_w$ min(①,②)	$d_a$ [m]
4層	1m	無し	M24	270	54	1.50	99.9	2.80	1.50	2.58
	2m		M24	540	108	2.30	203.1	2.29	2.29	5.49
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M24	270	54	2.62	119.8	3.13	2.62	4.48
	2m		M24	540	108	3.30	228.8	3.02	3.02	7.24
5層	1m	無し	M24	300	60	1.16	116.9	2.26	1.16	1.74
	2m		M24	600	120	1.73	231.6	1.86	1.73	3.65
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M24	300	60	2.19	138.5	2.57	2.19	3.29
	2m		M24	600	120	2.77	261.3	2.52	2.52	5.30
6層	1m	無し	M24	330	66	0.94	137.6	1.81	0.94	1.28
	2m		M24	660	132	1.35	264.5	1.51	1.35	2.58
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M24	330	66	1.81	157.3	2.14	1.81	2.47
	2m		M24	660	132	2.26	317.1	1.89	1.89	3.62
	1m	1F 腰壁なし(CLT 腰壁)	M27	330	66	1.83	161.7	2.21	1.83	2.50
	2m		M27	660	132	2.35	293.6	2.26	2.26	4.33
	1m	1F 腰壁なし(合板張り腰壁)	M24	330	66	1.62	115.3	2.69	1.62	2.21
	2m		M24	660	132	2.08	241.5	2.13	2.08	3.98

以下に、換算壁倍率、構造特性係数 $D_s$ 、重量倍率 $A_w$ 及び負担可能幅 $d_a$ の比較を示す。

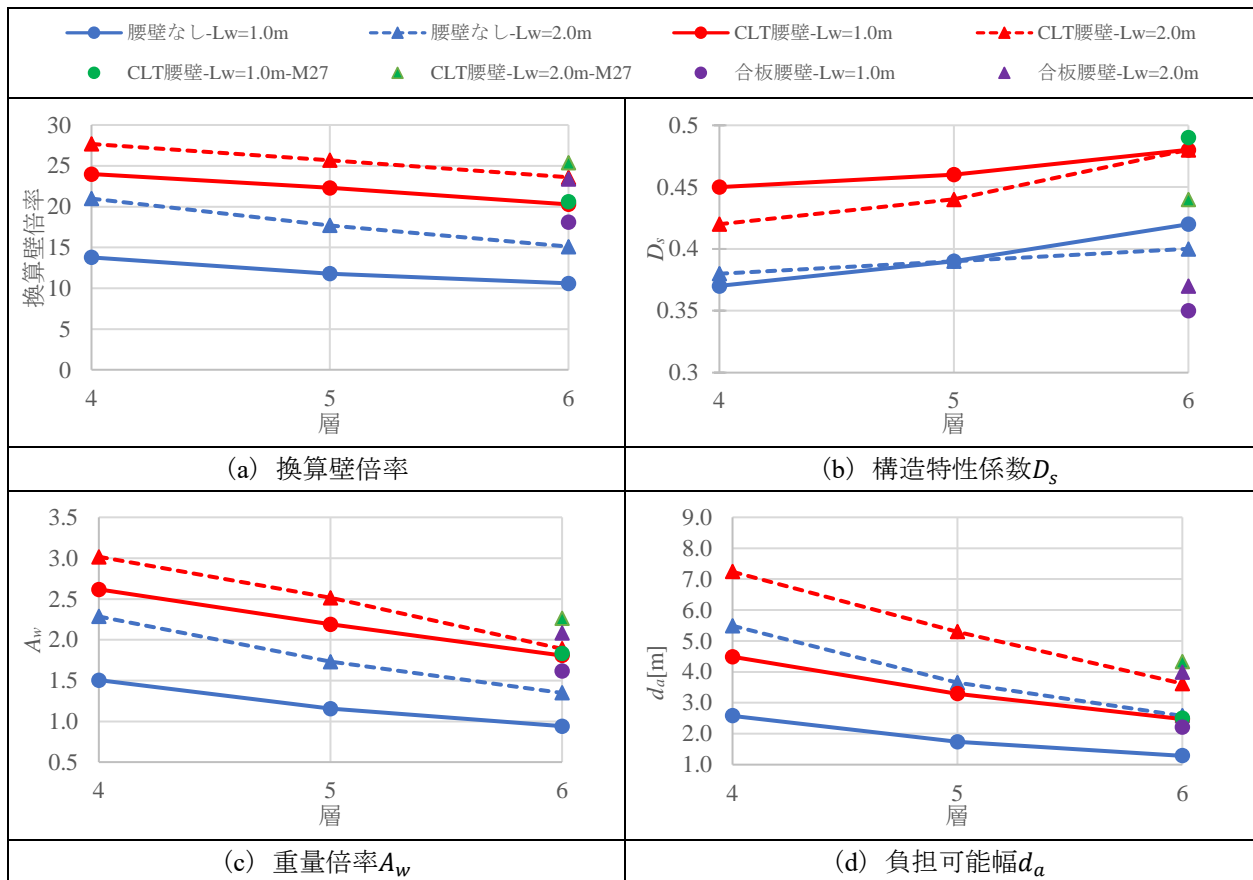


図 6.2.4 換算壁倍率、構造特性係数 $D_s$ 、重量倍率 $A_w$ 及び負担可能幅 $d_a$ の比較

解析により、以下が確認された。

- ・換算壁倍率は、腰壁なしでは10~21倍程度、1F腰壁なしでは18~28倍程度である。2F以上に腰壁を設けることで、換算壁倍率は壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ では1.8倍程度、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ では1.4倍程度大きくなる。
- ・多くのケースで許容耐力 $Q_a$ の決定要因は層間変形角 $1/150\text{rad}$ である。また、特に壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ では、建物の上限重量 $A_w$ は $Q_a$ によって決まる( $Q_a/Q_{c0} = A_w$ )。
- ・ $D_s$ は、腰壁なしでは0.37~0.42、1F腰壁なしでは0.42~0.48である。2F以上に腰壁を設けることで、 $D_s$ は1.1~1.2倍程度大きくなる。
- ・重量倍率 $A_w$ は層数が増えるにつれて小さくなり、6層では1を下回る場合もある。
- ・実建物プランを考えると、構面の平均負担幅は少なくとも3m以上は必要であると考えられるため、壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ で腰壁なしの場合、負担可能幅 $d_a = 1.3\sim 2.6\text{m}$ で採用は難しい。4,5層の場合は、2F以上に腰壁を設けるか、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ とすることで $d_a \geq 3\text{m}$ となるが、6層の場合は、2F以上に腰壁を設け、かつ壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ とすることで $d_a \geq 3\text{m}$ となる。

以降に、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、変形図及びせん断接合部の作用応力を示す。

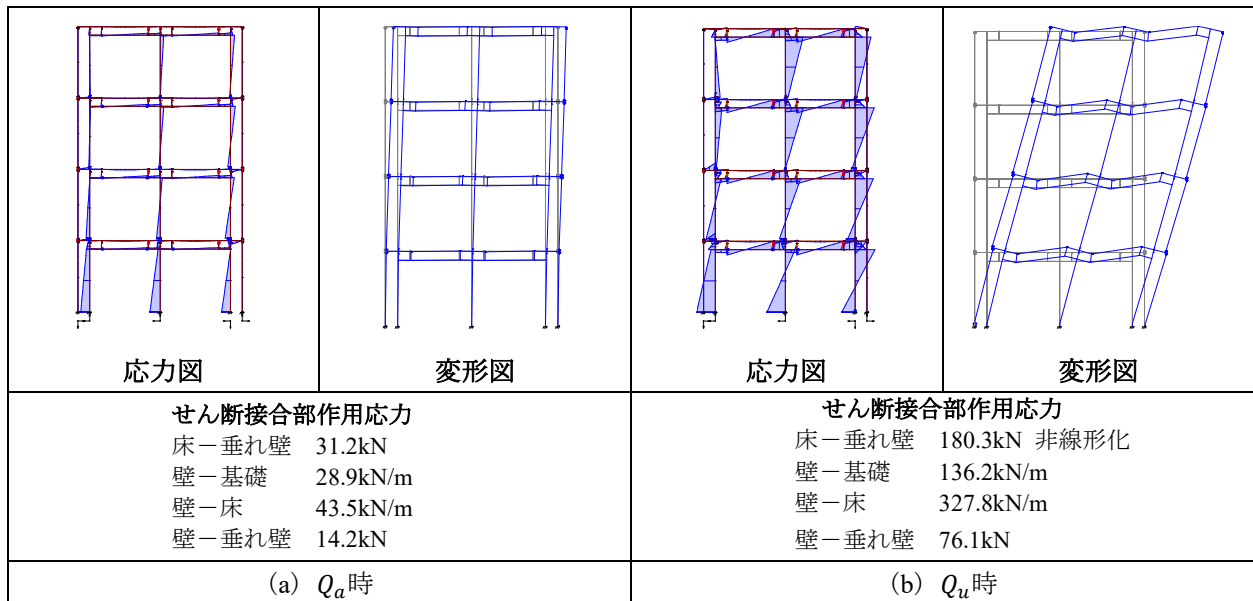


図 6.2.5 4層、壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ 、腰壁なしの応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

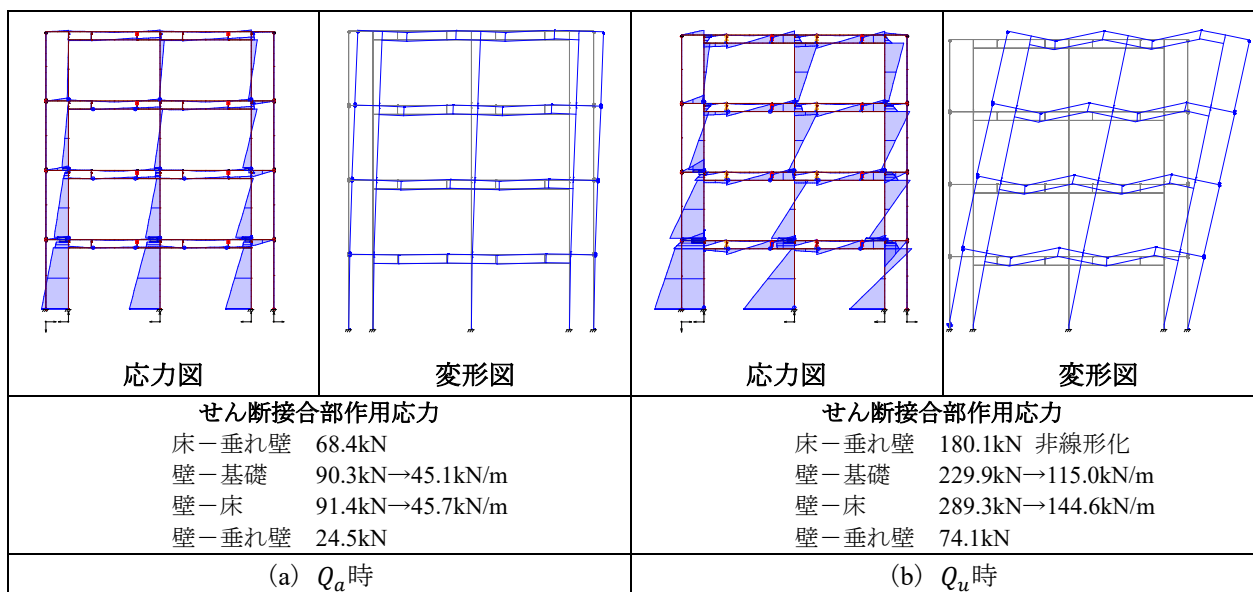


図 6.2.6 4層、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ 、腰壁なしの応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

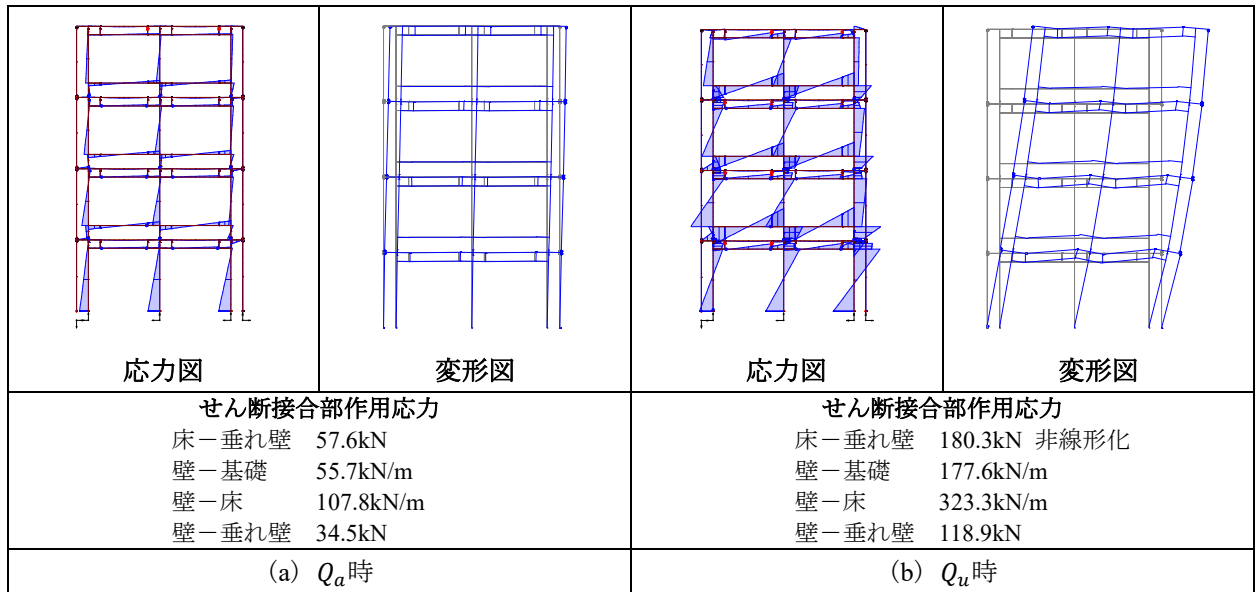


図 6.2.7 4層、壁幅 $L_w=1.0\text{m}$ 、1F 腰壁なし (CLT 腰壁) の応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

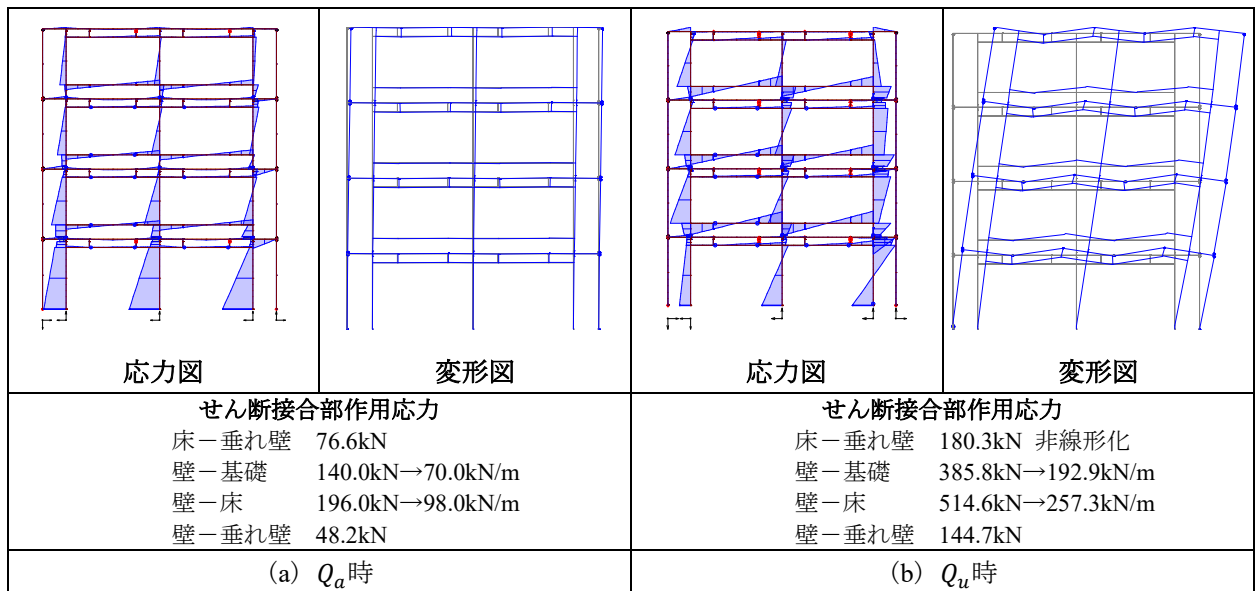


図 6.2.8 4層、壁幅 $L_w=2.0\text{m}$ 、1F 腰壁なし (CLT 腰壁) の応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

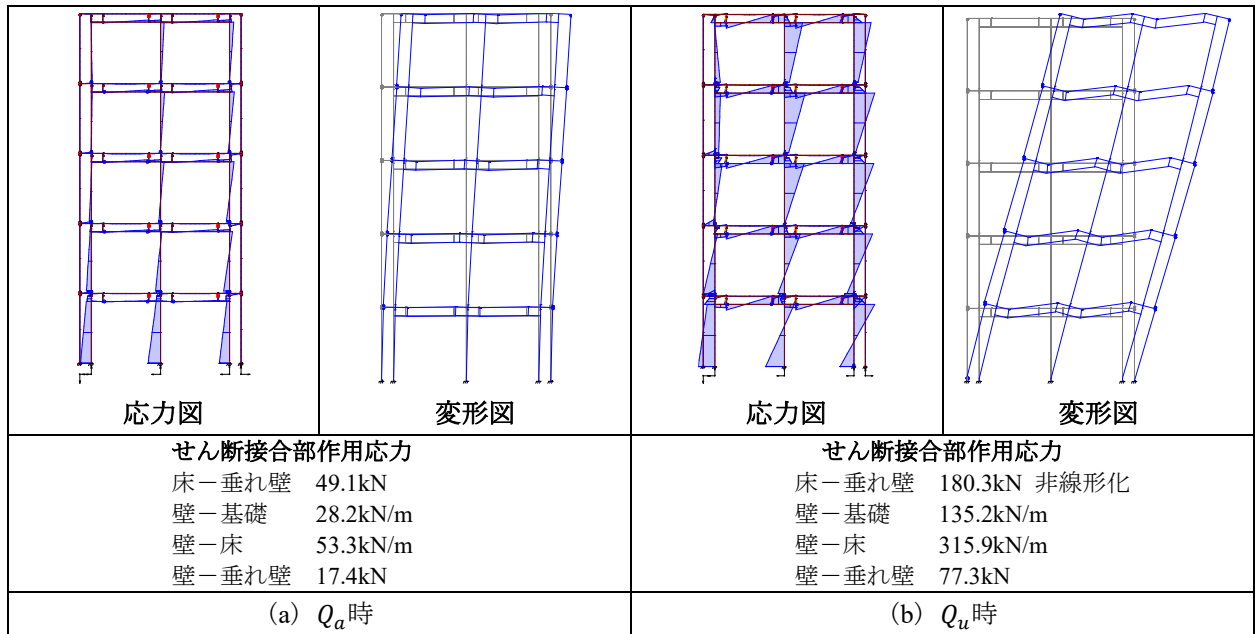


図 6.2.9 5層、壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ 、腰壁なしの応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

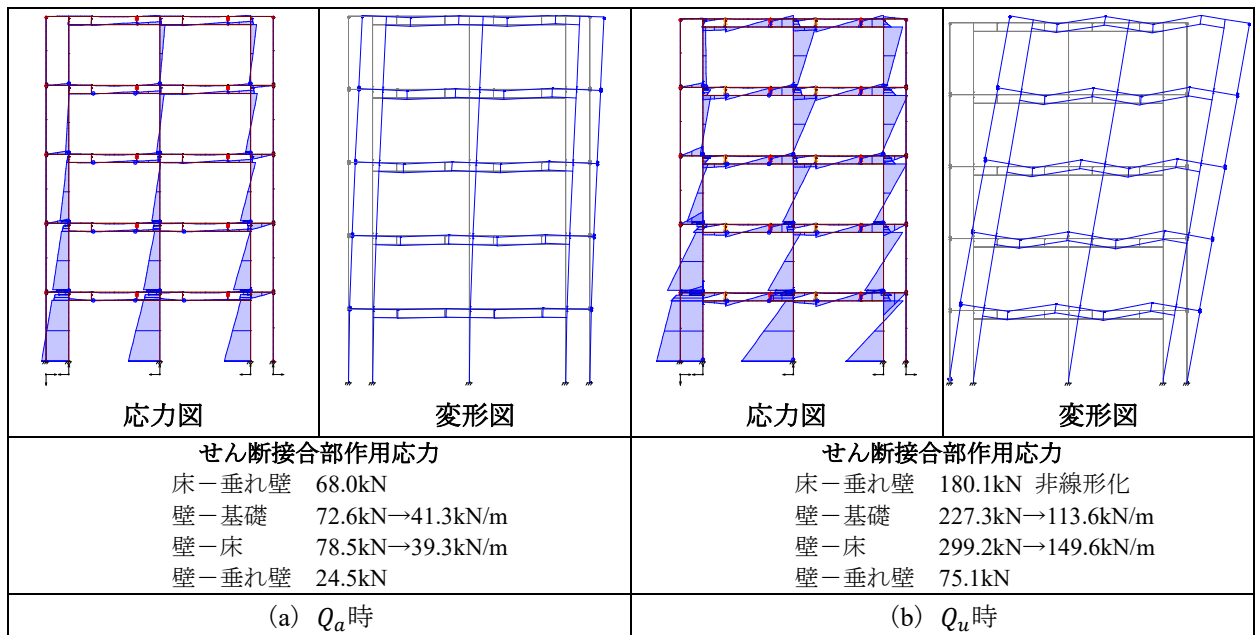


図 6.2.10 5層、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ 、腰壁なしの応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

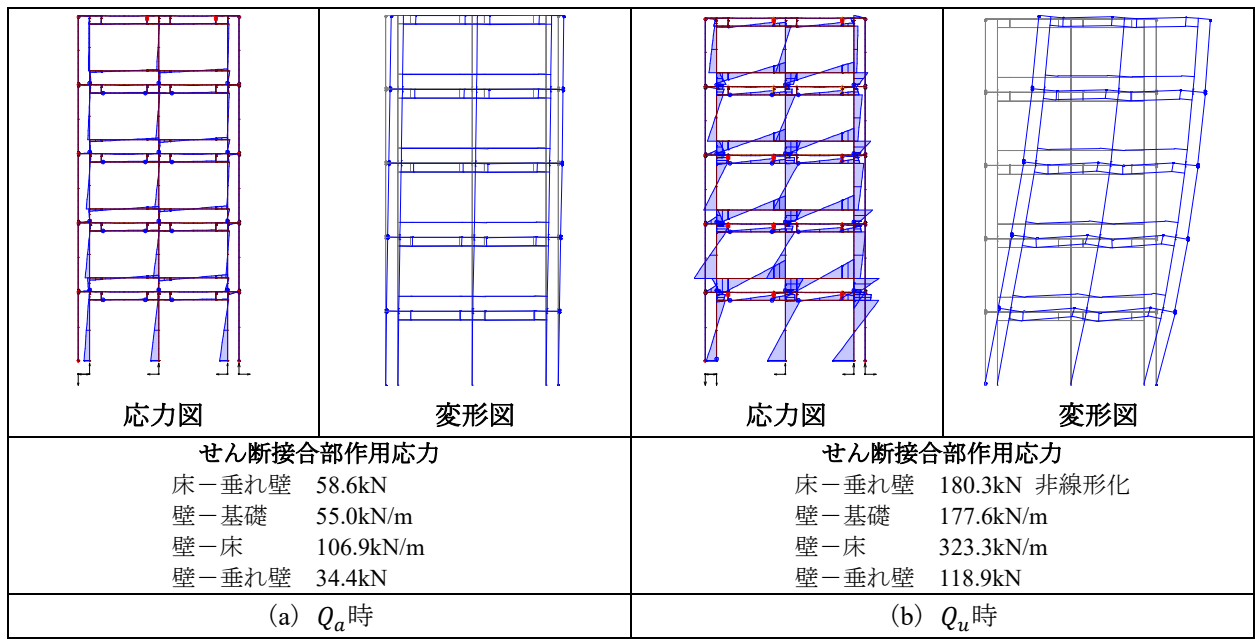


図 6.2.11 5層、壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ 、1F 腰壁なし (CLT 腰壁) の応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

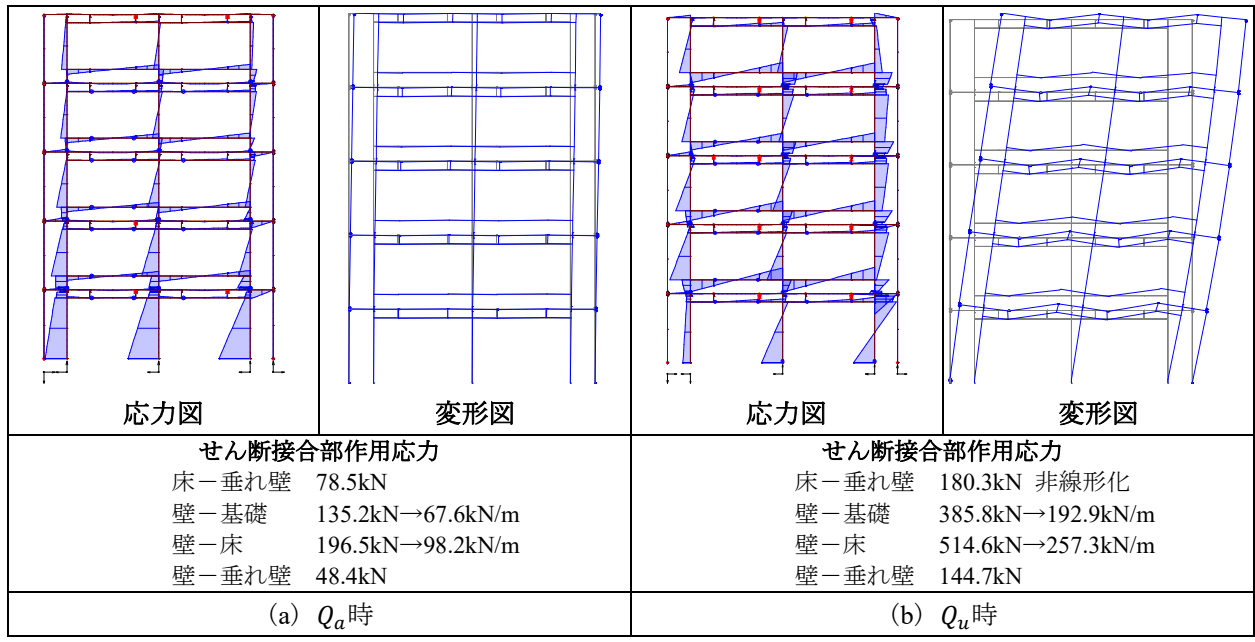


図 6.2.12 5層、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ 、1F 腰壁なし (CLT 腰壁) の応力図、変形図及びせん断接合部作用応力



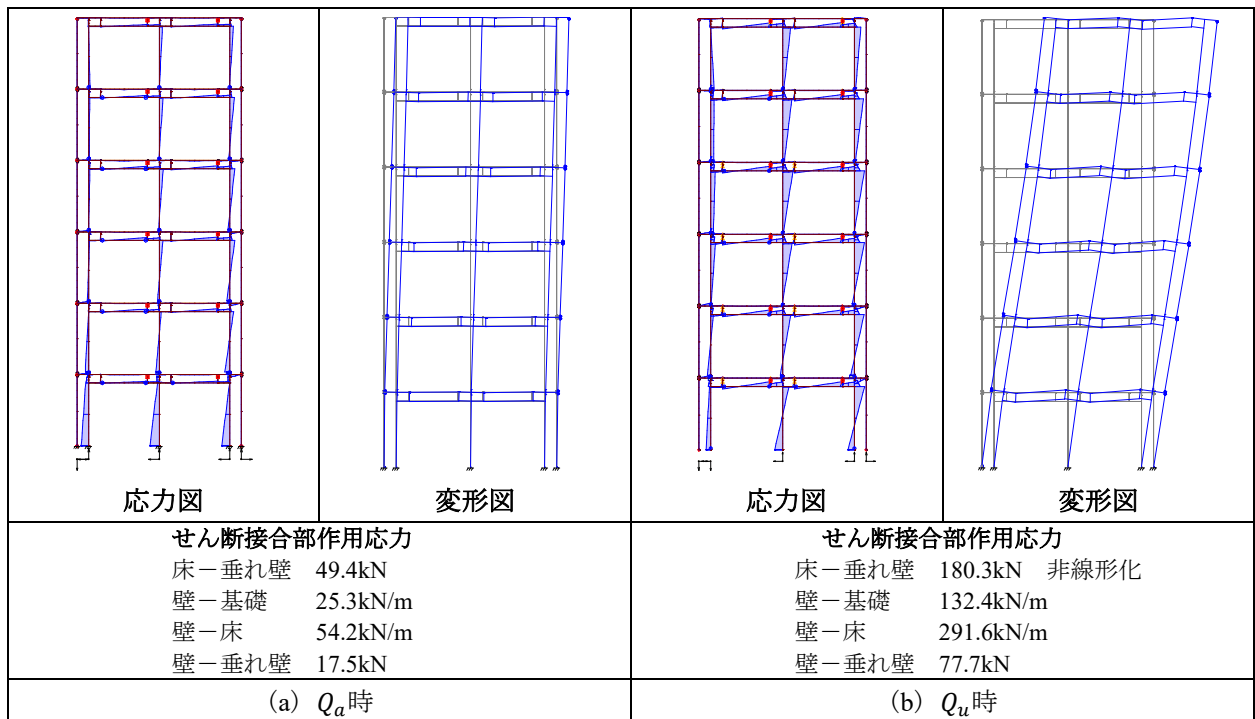


図 6.2.13 6層、壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ 、腰壁なしの応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

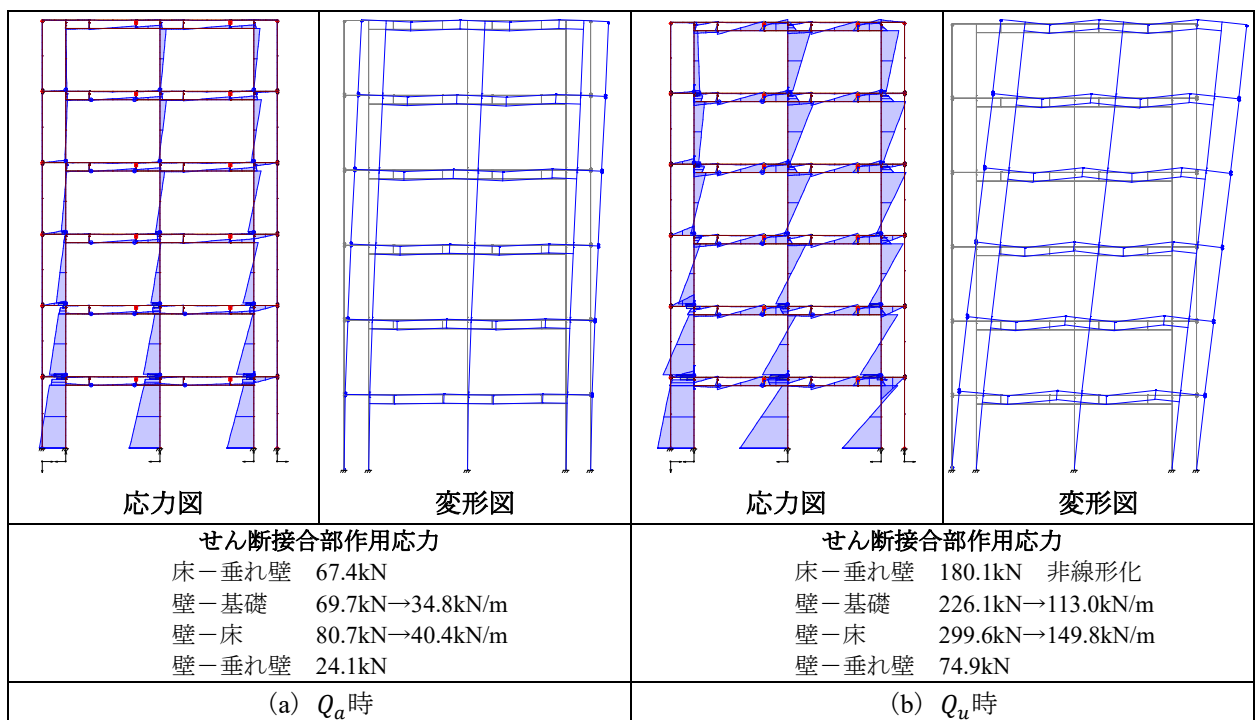


図 6.2.14 6層、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ 、腰壁なしの応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

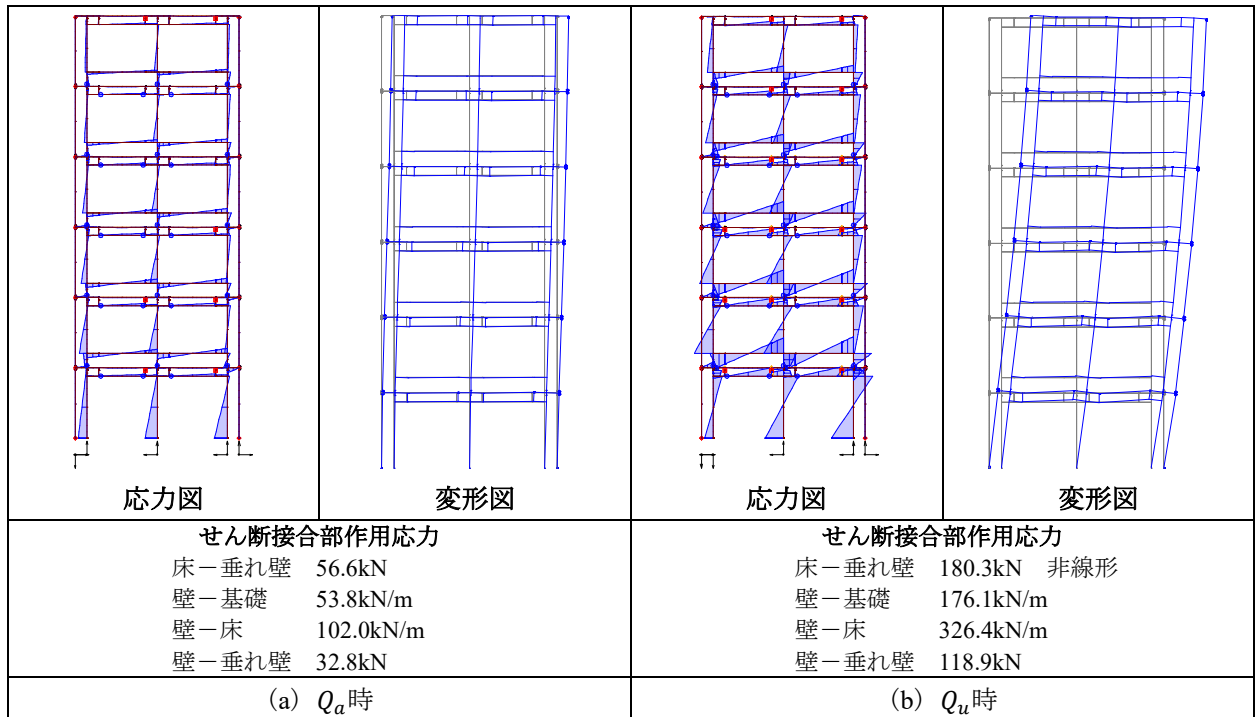


図 6.2.15 6層、壁幅 $L_w = 1.0\text{m}$ 、1F 腰壁なし (CLT 腰壁) の応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

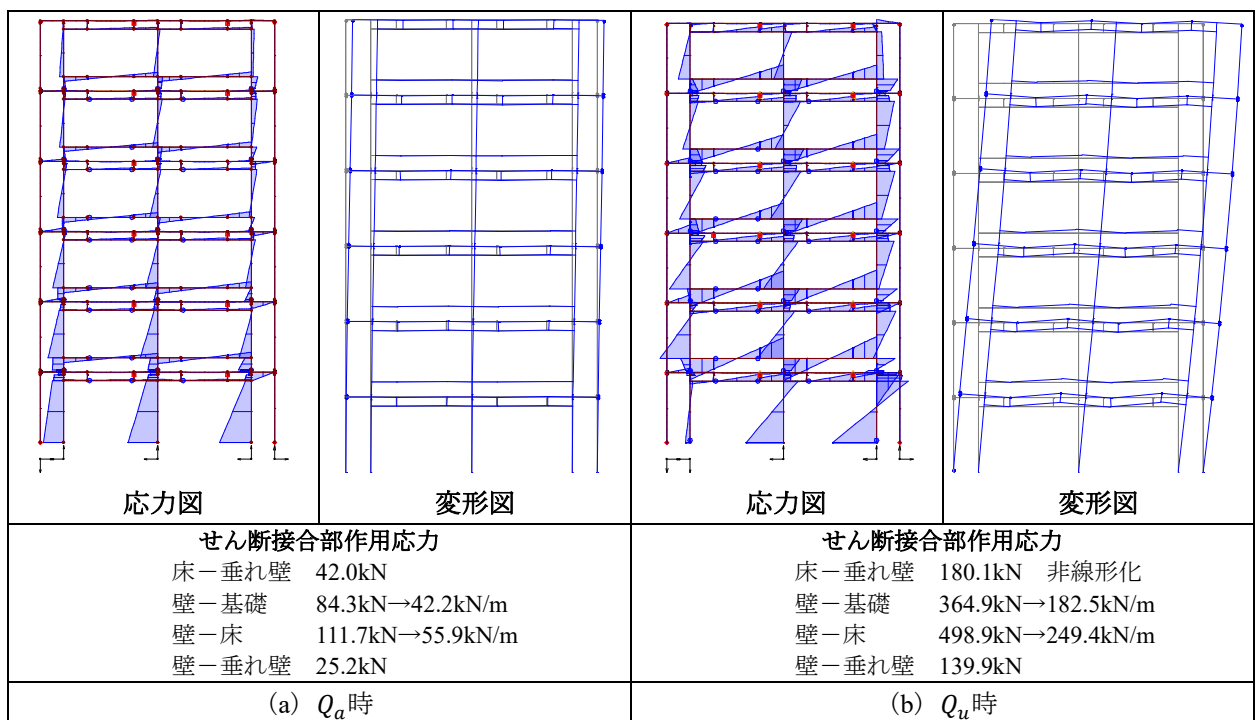


図 6.2.16 6層、壁幅 $L_w = 2.0\text{m}$ 、1F 腰壁なし (CLT 腰壁) の応力図、変形図及びせん断接合部作用応力

### 6.3 4層以上の架構構成案

前項までの解析結果より、4層以上の架構の場合の部材・接合部仕様を以下に示すように設定する。

- ・ CLT 壁パネル : S90-5-5(厚さ 150mm)
- ・ アンカーボルト : M24(ABR490)
- ・ 壁－壁引張接合部ボルト : M27(ABR490)
- ・ 壁－基礎せん断接合部必要耐力 : 短期 70kN/m、終局 200kN/m  
[参考] $\chi$ マーク SB-150 短期 47.0kN/m、終局 82.7kN/m
- ・ 壁－床せん断接合部必要耐力 : 短期 110kN/m、終局 330kN/m  
[参考] $\chi$ マーク LST 短期 54.0kN/m、終局 90.0kN/m
- ・ 壁－垂れ壁せん断接合部必要耐力 : 短期 50kN、終局 150kN  
[参考] $\chi$ マーク SP(片面) 短期 52kN、終局 109.5kN

ここでは、前項の解析結果を踏まえ、4層以上の架構構成案を検討する。4層以上の場合、 $\chi$ マーク金物では耐力が足りないため、下図の右のように鋼板挿入ドリフトピン形式の接合部とする必要がある。なお、壁－床せん断接合部は非線形化を許容し、必要終局耐力を 250kN/m として構成案を検討する。

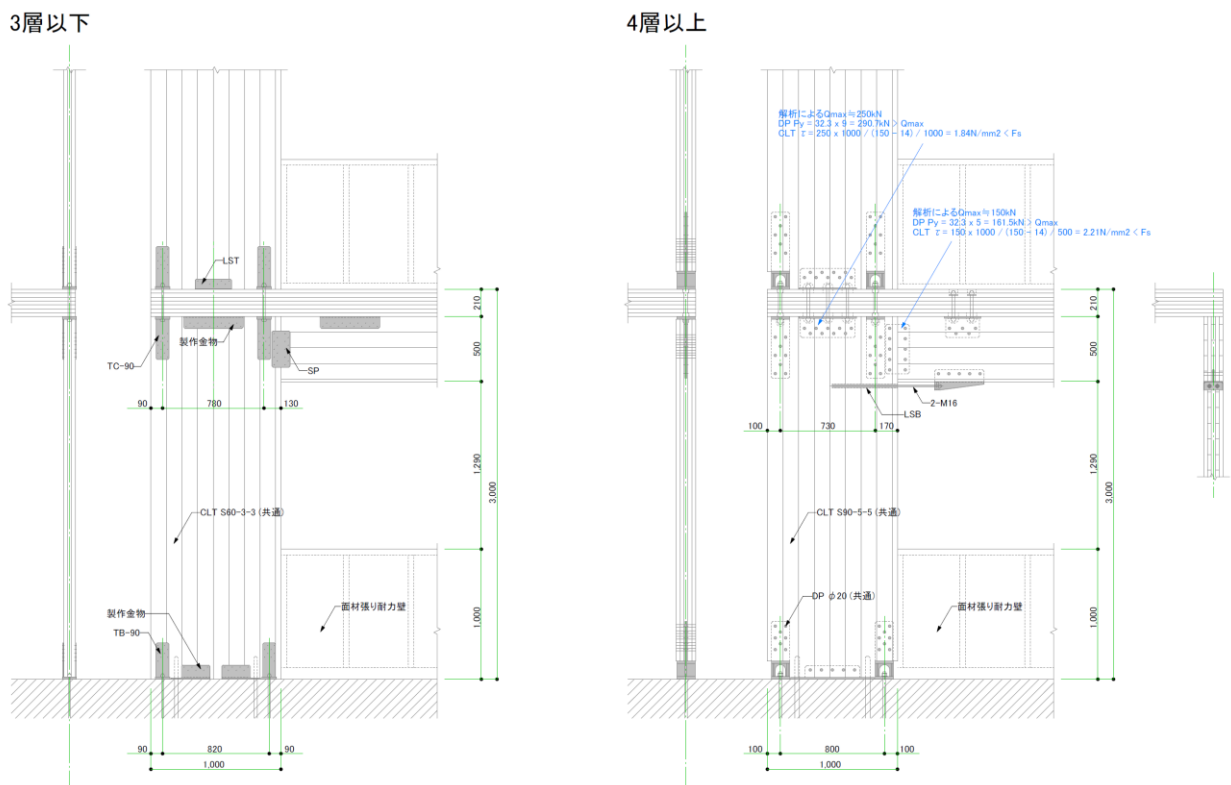


図 6.3.1 架構構成案

4層以上では、 $\chi$ マーク金物等のビス打ち接合に代えて、鋼板挿入ドリフトピン接合等が必要であること、S90-5-5を用いた場合の壁－垂れ壁接合部性能の特定は現段階では困難であることにより、第7章以降の検討では4層以上の中層建築物は主対象から除外することとする。

## 6.4 床-垂れ壁せん断ばね位置による影響の確認

第 6.1 節「概要」の図 6.1.1 の解析モデルでは、床-垂れ壁せん断ばねを垂れ壁端部に設置している。それにより、床-垂れ壁せん断ばねのせん断力×垂れ壁せいの 1/2 分の曲げモーメントが、垂れ壁パネル端部の曲げモーメントに付加され、垂れ壁パネルの曲げモーメントが過大となると考えられる。ここでは、床-垂れ壁せん断ばねの位置をよる影響を確認するため、以下の 3 ケースの検討を行う。

ケース①：床-垂れ壁せん断ばねを垂れ壁端部に配置(第 6.1 節 図 6.1.1 のモデル化方法)

ケース②：床-垂れ壁せん断ばねを垂れ壁端部から 500mm 内側に配置

ケース③：床-垂れ壁せん断ばねを垂れ壁端部を 250 ピッチで離散的に配置

ここでは、「6 層、壁幅  $L_w = 1.0\text{m}$ 、腰壁なし」を対象とする。図 6.4.1 に検討結果を示す。なお、床-垂れ壁せん断ばねは、いずれのケースでも同じ性能になるように、ばね 1 つ当たりの性能を調整する。

図 6.4.1 より、ケース①に比べ、ケース②、③は降伏後の二次勾配が低く、終局耐力  $Q_u$  は 83% 程度となる。ケース①では  $Q_u$ 、 $D_s$  を評価する際、垂れ壁パネルの曲げ応力検定は無視しているため、 $D_s$  については、ケース②、③と大きな差はない。実際の垂れ壁パネルの応力状態はケース③が最も近いと考えられるが、ケース②であっても垂れ壁パネルの最大応力や  $Q-R$  関係には差は無い。したがって、床-垂れ壁せん断ばねは垂れ壁端部からある程度内側の位置(例えば 500mm)に配置することが望ましいと考えられる。

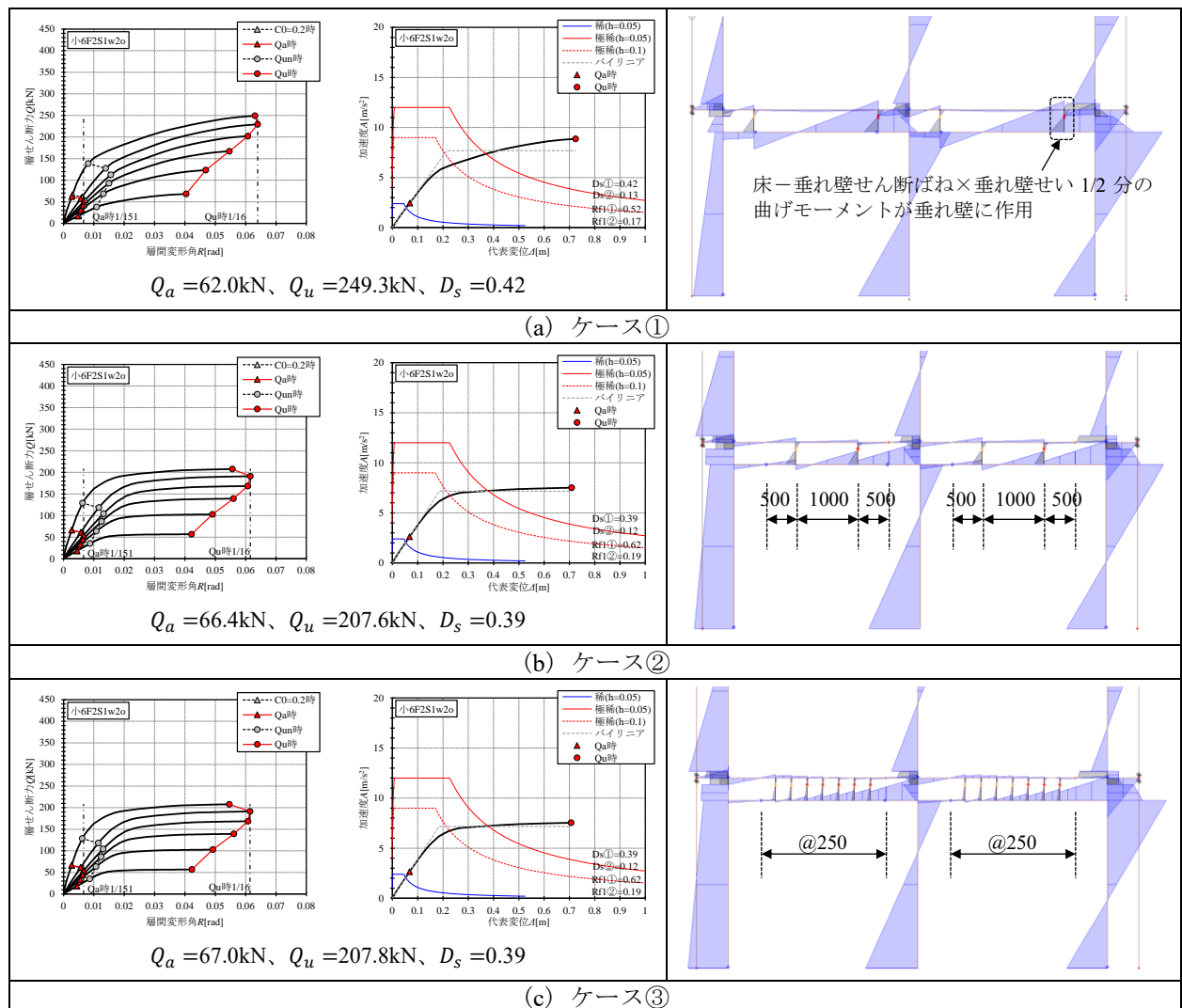


図 6.4.1 検討結果