

## 第2章 構造モデル簡略化の方針

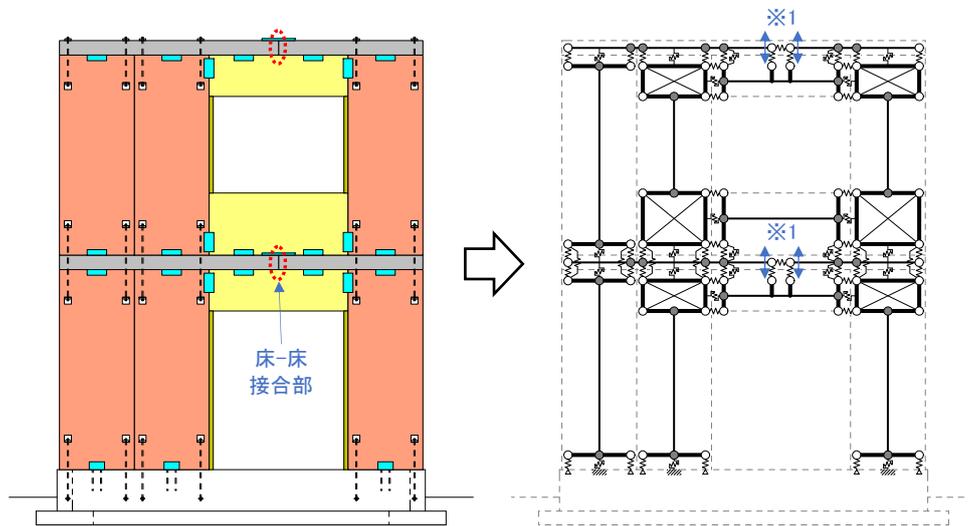
## 2.1 構造モデル簡略化に関する原則

### 2.1.1 原則の内容

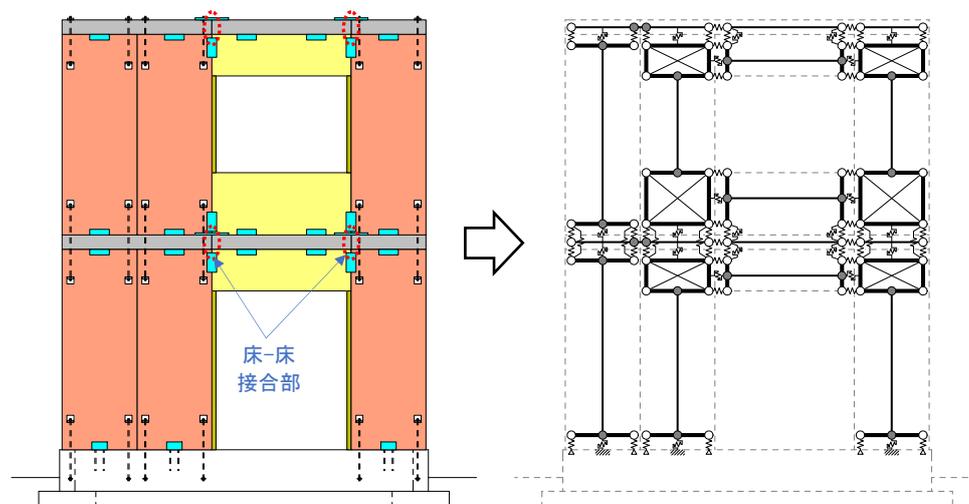
構造モデルの簡略化を目的として下記の原則を設ける。

#### 1) 水平構面（床版・屋根版）の面外剛性・面外耐力は無視する（0とする）

水平構面の面外剛性を考慮する場合は図 2.1.1(a) ※1 のように、地震水平力等によって床・屋根パネル間接合部に床版面外方向のせん断力が生じるが、現在標準とされる合板スプライン等接合部の面外せん断耐力は未確認であるとともに極めて小さいと考えられる。したがって、このせん断力は鉛直構面に伝達する必要があるが、構造モデルが複雑化する要因の一つになる。また、水平構面の面外剛性・面外耐力を考慮する場合は、地震力によって生じる面外応力に対する床・屋根パネルの検定結果が不可となることが多い。これらを考慮して、床版の面外剛性・面外耐力は無視する（0とする）こととする。なお、すでにマニュアル第Ⅲ部 3.1.2 (2)項に示されるように、水平構面の面外剛性を 0 とすることで面外曲げ・面外せん断に検定を省略することができるが、



(a) 床-床接合部が垂れ壁中央のとき



(b) 床-床接合部が垂れ壁端部のとき

図 2.1.1 現行フレームモデルの構成（原則を適用しない場合）

屋根パネルは直下の壁・垂れ壁によって支持されている場合は、脱落の恐れはなく、架構全体の水平耐力性能は保持される。直下に壁・垂れ壁が存在しない場合については、告示第八第二号へに水平構面の脱落防止規定がある。この規定はルート 2 において応力割増し係数を 2.5 以上とする場合、およびルート 3 において構造特性係数を 0.75 以上とするかまたは増分解析結果に基づいて算出する場合は適用除外となるが、水平構面の面外剛性・面外耐力を無視する場合は常に遵守する必要がある。

## 2) 垂れ壁・腰壁と床版の間に鉛直方向圧縮バネは設けない

図 2.1.1(b)のように垂れ壁端部・腰壁端部と床-床接合部の位置が一致する場合は当該部分の圧縮抵抗は期待できない。これを考慮し、垂れ壁端部・腰壁端部と床-床接合部の位置関係を限定しないことを前提として垂れ壁・腰壁と床版の間に鉛直方向圧縮バネは設けないこととする。

## 3) 垂れ壁・腰壁と床版の間には壁面内方向のせん断接合を設けない

垂れ壁・腰壁と床版の間には壁面内方向のせん断接合を設ける場合は、垂れ壁上端・腰壁下端と隣接する壁頭・壁脚の間の水平せん断力の伝達経路が下記のように複雑になり、それが構造モデル複雑化の一要因となっている。

垂れ壁上端-床せん断接合 — 床（床-床引張接合含む） — 床-壁頭せん断接合 — 壁頭

腰壁下端-床せん断接合 — 床（床-床引張接合含む） — 床-壁脚せん断接合 — 壁脚

これを考慮して、垂れ壁・腰壁と床版の間には壁面内方向のせん断接合を設けないこととする。

## 4) 連続壁パネル継ぎ目位置の水平構面上には単一の節点を設ける

平成 24 年度に実施された実大 3 層モデルの静的加力実験<sup>2.1.1)</sup>によれば、水平方向に連続する壁パネルの継ぎ目位置では図 2.1.2 に示すように、終局水平変形状態においても水平構面の圧縮ストラットによって上下階の壁パネル間の圧縮力が伝達されることが確認されている。これを考慮して、上下階の壁パネル継ぎ目位置が一致する場合は、図 2.1.3(a)に示すように水平構面上に単一の節点を設け、壁-水平構面間の圧縮バネは当該節点に接続する。

ただし、図 2.1.3(b)に示すように、上下階の壁パネル継ぎ目位置と床・屋根パネルの継ぎ目位置が一致する場合は圧縮ストラット効果を期待できないので、節点を 2 つに分け、当該節点間の面外耐力は 0 とする。圧縮ストラット効果を考慮するためには、壁パネル継ぎ目位置と床・屋根パネルの継ぎ目位置を床・屋根パネルの厚さ以上離すこととする。

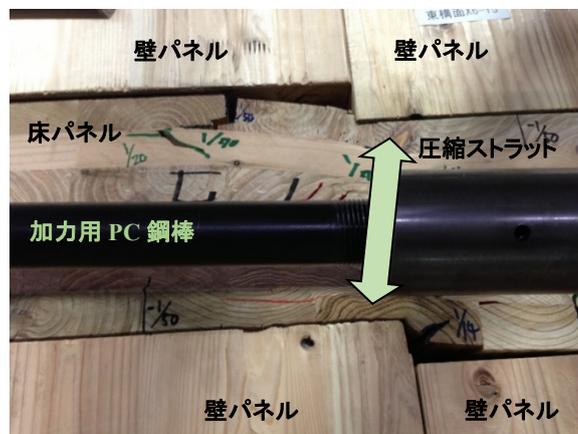


図 2.1.2 実大 3 層架構水平加力実験における床パネルの変形状態

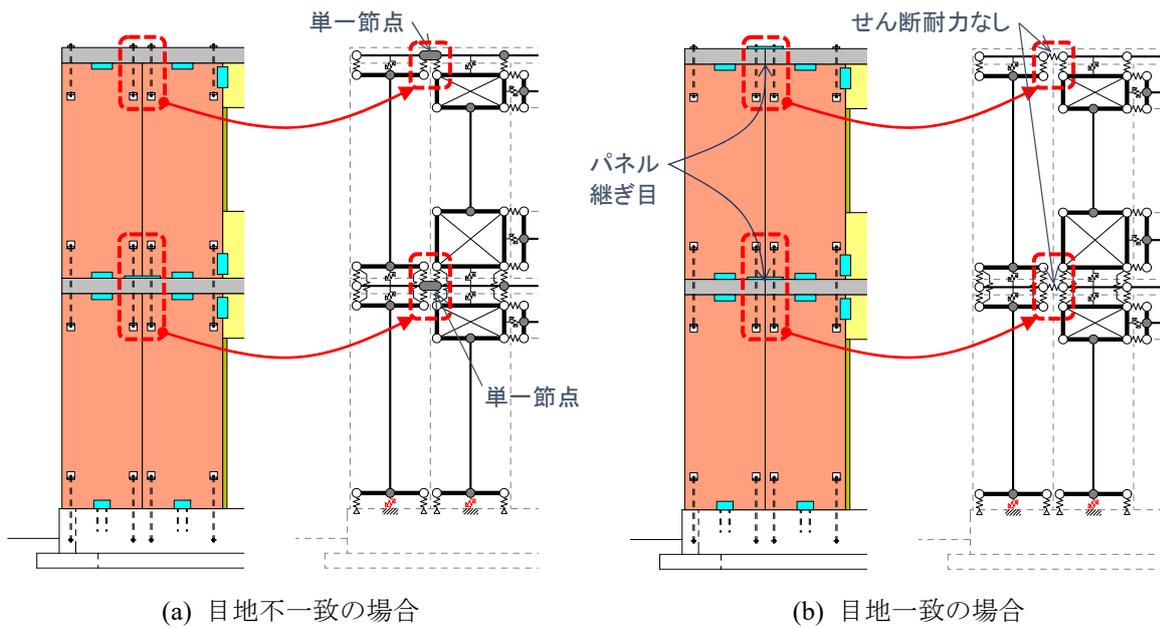


図 2.1.3 現行フレームモデルにおける連続壁継ぎ目位置のモデル化

また、図 2.1.4 に示すように上下階の壁パネル継ぎ目位置が一致しない場合は、このような圧縮ストラット効果は期待できないだけでなく、接合部の納まりも複雑になる可能性が高いので、本事業では対象としない。

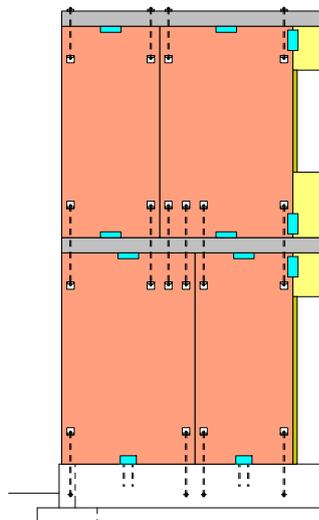
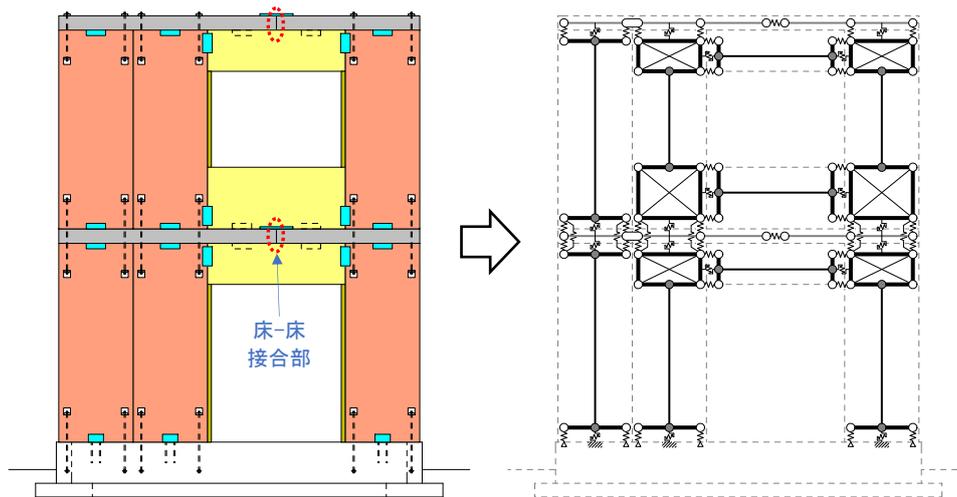
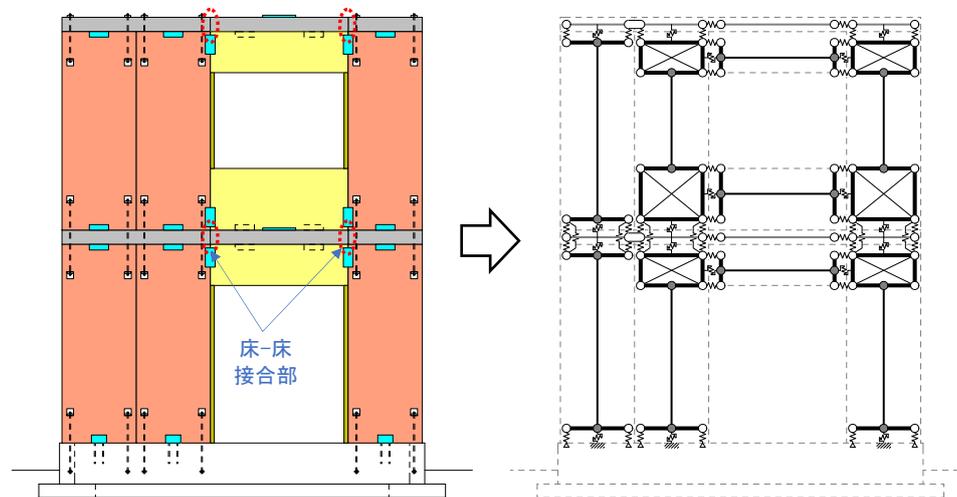


図 2.1.4 上下階壁目地のずれ  
(本事業の対象外)

以上の原則を適用することにより、現行フレームモデルにおいても接合部バネの配置が図 2.1.5 のように簡略化される。



(a) 床床接合部が垂れ壁中央のとき



(b) 床床接合部が垂れ壁端部のとき

図 2.1.5 現行フレームモデルの構成（原則を適用する場合）

### 2.1.2 原則適用に関する補足検討

#### (1) 原則 1)（水平構面（床版・屋根版）の面外剛性・面外耐力は無視する）について

原則 1) の適用により下記のような架構形式は排除されるが、設計実務においてそれらの必要性は低いと考えられる。

- 床版上のおか立ち耐力壁。
- 上下階耐力壁の重なりがない市松状配置。

#### (2) 原則 3)（垂れ壁・腰壁と床版の間には壁面内方向のせん断接合を設けない）について

垂れ壁・腰壁と床版・屋根版との水平せん断接合部を省略する場合は垂れ壁-床版・屋根版間の面外せん断接合部も省略されることになるため、下記の 2 点に注意が必要である。

- 垂れ壁の横座屈防止のために必要な面外拘束
- 面外風圧力に対して必要な面外拘束

## (2.1) 垂れ壁の横座屈防止のために必要な面外拘束

横座屈防止のために必要な面外拘束力 $P_n$ は次のように求められる<sup>2.1-2)</sup>。

$$P_n = 0.02A_c \cdot F \quad (2.1-1)$$

ここで、 $A_c$  : 圧縮側断面

$F$  : 基準強度 (面内曲げ基準強度 $F_b$ とする)

曲げ歪みの中立軸を垂れ壁せいの中央とし、曲げ歪みは平面保持仮定に従う三角形分布として $A_c$ を全断面積の1/4とする。このとき垂れ壁せいを600mmとして $P_n$ を試算すると次のようになる。

$$S60-3-3 \quad F_b = 10.80\text{N/mm}^2 \quad P_n = 10.8 \cdot 90 \cdot 600 / 4 \cdot 0.02 / 1000 = 2.92\text{kN}$$

$$S60-5-5 \quad F_b = 9.72\text{N/mm}^2 \quad P_n = 9.72 \cdot 150 \cdot 600 / 4 \cdot 0.02 / 1000 = 4.37\text{kN}$$

$$S60-7-7 \quad F_b = 9.25\text{N/mm}^2 \quad P_n = 9.25 \cdot 210 \cdot 600 / 4 \cdot 0.02 / 1000 = 6.00\text{kN}$$

この $P_n$ に対応する接合方法として図2.1.6に示すビス斜め打ち接合<sup>2.1-3)</sup>を採用するとすれば、当該接合部のせん断耐力はビス一対当たり9.1kNなので、上記のいずれについても開口中央に1か所を設ければ横座屈は防止される。文献2.1-4)、602.6(4)によれば、木ねじの引抜耐力は木ねじの呼び径と有効打込み長に比例する。これを考慮して面外せん断耐力も同様と仮定する。図2.1.6ではパネリードX, PX10-290(ねじ径10mm, 長さ290mm)を用いている。ビスをPX6-110(ねじ径6mm, 長さ110mm)とする場合の面外せん断耐力は2.07kN/対となり、S60-3-3については開口中央に2対、S60-5-5では3対、S60-7-7でも3対を設ければよい。また、文献2.4-6)、504.3(5)による横座屈による許容応力度の低減係数 $C_b$ を1.0とするための横座屈長さの上限値は垂れ壁せいを600mmとして、S60-3-3で710mm、S60-5-5で1973mm、S60-7-7で3868mmである。これらのことから、300mm程度間隔で上記のビスを設ければ横座屈は防止できると考えられる。

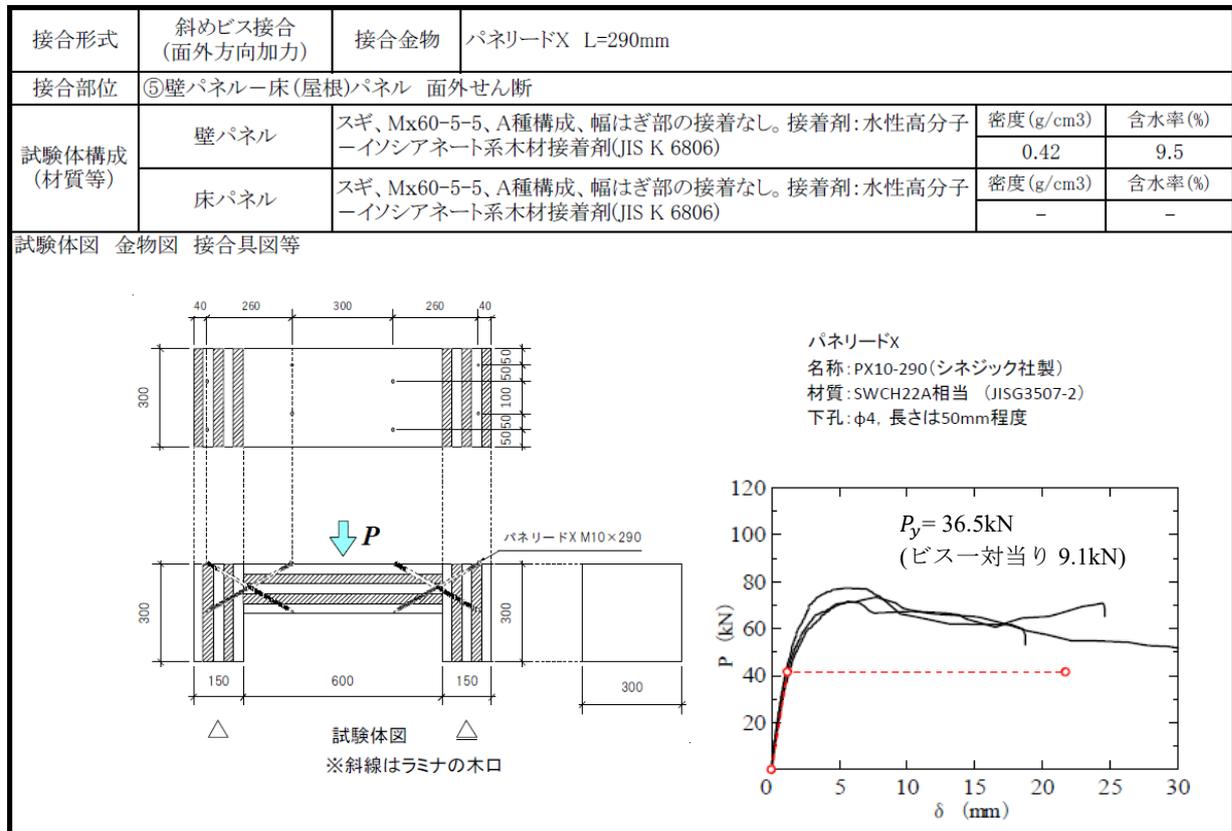
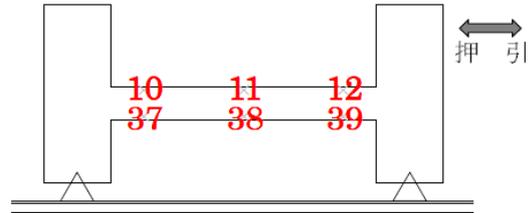
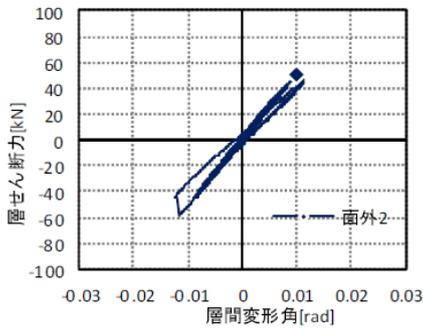


図 2.1.6 ビス斜め打ち接合部の面外せん断耐力<sup>2.1-3)</sup>

■ 層せん断力-層間変形角関係

	P <sub>max</sub> [kN]	θ <sub>pmax</sub> [rad]
面外2	51.0	0.0102



■ 層せん断力-面外変位関係

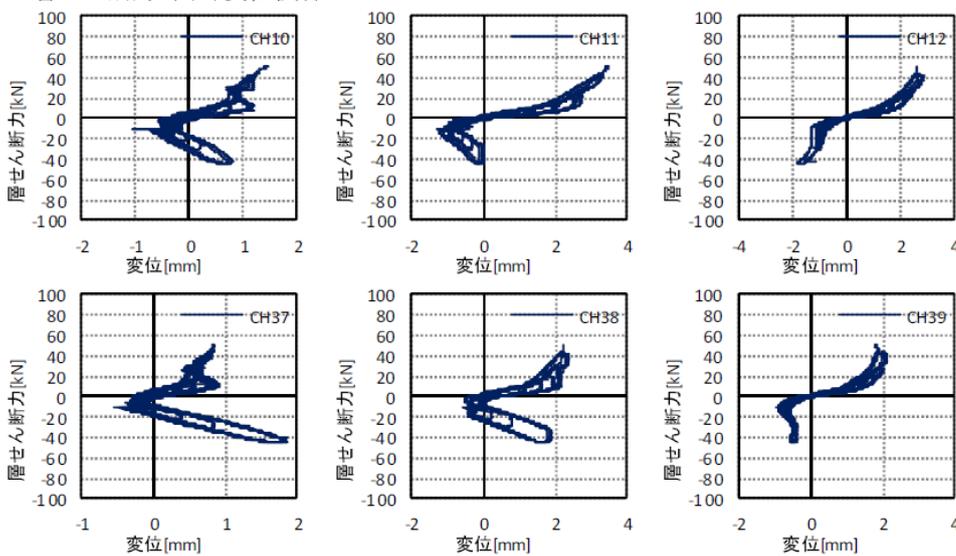


図 2.1.7 大版パネル架構垂れ壁の横座屈実験<sup>2.1-5)</sup>

また、H26 年度に実施された大版パネル架構垂れ壁の横座屈実験<sup>2.1-5)</sup>の結果概要を図 2.1.7 に示す。この実験ではスパン 4m の垂れ壁で材料的破断が横座屈に先行した。そのほか、H27 年度に実施された振動台実験<sup>2.1-6)</sup>に用いた試験体 D 棟、E 棟においても、建物終局時に至るまでスパン 4m の垂れ壁・腰壁に横座屈は生じなかった。したがって、水平力時の横座屈については特段の配慮は不要といえる。

(2.2) 面外風圧力に対して必要な面外拘束

風圧力を 1.2kN/m<sup>2</sup>、垂れ壁せいを 600mm とすれば、垂れ壁-床接合部の垂れ壁長さ 1m 当りの面外せん断力は 1.2×0.3 = 0.36kN/m となり、PX6-110 斜め打ち一対を 1m の間隔で設ければ十分な面外拘束となる。

風圧力に対する垂れ壁自体の面外耐力として、マニュアル第Ⅲ部第 3 章 3.1.2(2)項では「床版梁要素の軸剛性、曲げ剛性、せん断剛性は、当該床パネルの幅の 1/2 以下かつ 1m 以下の部分の軸剛性、曲げ剛性、せん断剛性とし、・・・」とされていることを根拠として、垂れ壁せいの 1/2 が有効であるとすれば、垂れ壁自体の面外耐力から決まる開口幅（垂れ壁長さ）の上限は次のようになる。

風圧力=1.2kN/m<sup>2</sup>、垂れ壁せい 600mm、階高 3000mm として  
弱軸 S60-3-3 で開口幅≦0.93m、S60-5-5 で開口幅≦3.69m  
強軸 S60-3-3 で開口幅≦4.77m、S60-5-5 で開口幅≦7.22m

#### 参考文献

- 2.1-1) 河合, 他: 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 12~20, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 557-574, 2013.8
- 2.1-2) 日本建築学会: 鋼構造塑性設計指針, 第 3 版, pp. 73-74, 2017 年 2 月 25 日
- 2.1-3) 日本住宅・木材技術センター: 平成 28 年度補正林野庁補助事業, CLT 建築物等普及促進事業, 平成 29 年度林野庁補助事業, 新たな木材需要創出総合プロジェクト事業, CLT を活用した建築物等実証事業に係る CLT 接合部強度データ集, 平成 30 年 2 月
- 2.1-4) 日本建築学会: 木質構造設計規準, 第 4 版 第 2 刷, 2009 年, 3 月
- 2.1-5) 日本 CLT 協会, 木を活かす建築推進協議会, 日本システム設計: 平成 26 年度住宅整備促進事業, CLT を用いた木造建築基準の高度化推進事業報告書, 平成 27 年 3 月
- 2.1-6) 日本 CLT 協会, 木を活かす建築推進協議会, 日本システム設計: 平成 27 年度 (住宅市場整備促進事業) CLT を用いた木造建築基準の高度化推進事業報告書, 平成 28 年 3 月

## 2.2 壁-垂れ壁間引張力伝達部材の追加

マニュアル第Ⅱ部 1.3.2(2)項でも述べられているように、壁、垂れ壁で構成される壁構面に水平力が作用する場合は、垂れ壁上端と隣接する壁上端の間に離間が生じ、垂れ壁上端および壁上端と床版間のせん断接合部を介して床版面内の引張応力が生じる。この点に関して、床版に集成材パネルを用いた既往の実施物件<sup>2.2-1)</sup>では、集成材パネル積層方向の面内引張耐力には期待できないものとして、図 2.2.1(a)に示すように集成材パネル相互の引張力伝達部材として頭つなぎを設け、床パネル間の引張接合部を省略している。

この架構方法を参考に、頭つなぎと同様の役割を期待する構造部材として、図 2.2.1(b)のように壁、垂れ壁間に引張力伝達部材を設けることを考える。2.1 節で述べた原則 3) により垂れ壁と床版の間には壁面内方向のせん断接合を設けない場合には、壁構面の水平耐力の減少が予想されるが、この引張力伝達部材の設置によりそれが軽減されると期待できる。なお、原則 3) を適用しても左右の壁相互の離間により床版面内に引張応力が生じるので、図 2.2.1(a)のように壁構面幅全域にわたる頭つなぎを設けない場合は床パネル間引張接合部を省略することはできない。

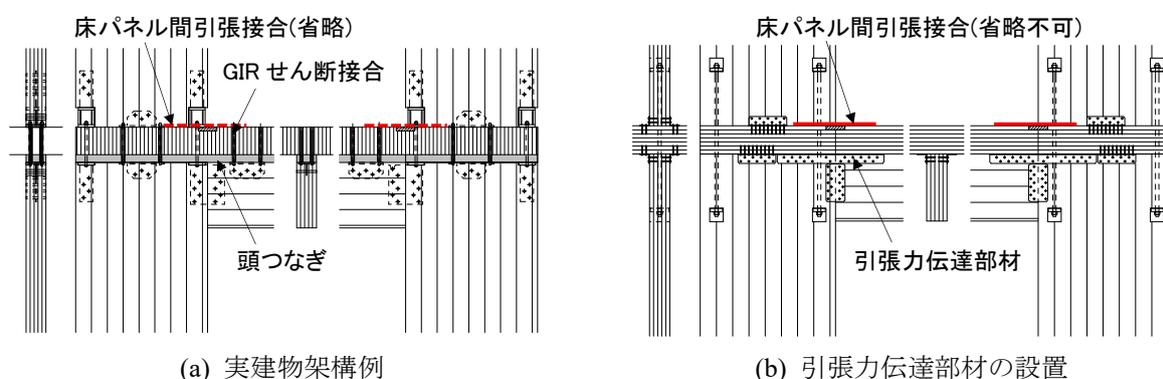


図 2.2.1 壁-垂れ壁間引張力の伝達方法

### 参考文献

- 2.2-1) 知内町ホームページ, しりうちモデル～設計コンセプト～,  
<http://www.town.shiriuchi.hokkaido.jp/kanko/ninaitecenter/siriuchimodel.html>

## 2.3 MS 要素を用いた構造モデル (MS モデル)

### 2.3.1 MS 要素の定義

構造モデル簡略化の基本方針として MS (Multiple Spring) 要素の適用を考える。MS 要素は、図 2.3.1 のように対象部材断面をいくつか分割し、その分割区画に対応する応力変形性能を有するバネ (以下、分割バネ) を、対象断面と同じ幅を有する二つの剛材間の区画重心位置に配置することによって構成される。したがって、壁パネルが負担する軸力  $N$  によるモーメント耐力  $M$  の変化 ( $M$ - $N$  相互作用) が自動的に考慮される。

現行フレームモデルにおいては  $M$ - $N$  相互作用を考慮するために、壁パネル左右両端に引張・圧縮バネを配置することとしているが、それは近似的なモデル化であり、加えて圧縮領域の非線形化については RC 関係の知見に基づく近似的手法に準拠している。これに対して、MS 要素では断面分割数にも依存するが、より実態に近い  $M$ - $N$  相互作用の評価が可能であり、今後予想される高層化すなわち高軸力化対応にとっても有用といえる。

また、剛材上にはそれぞれ一つの節点が設定される。各分割バネの変形は幾何学的条件に基づいてそれらの節点変位と関係づけられ、その関係を用いて各分割バネの応力変形特性はそれらの

節点間の単一要素の応力変形関係に縮約される。この処理は解析プログラム内で自動的に行われるので、構造モデル構築上はMS要素も二つの節点間の単一要素とみなすことができる。

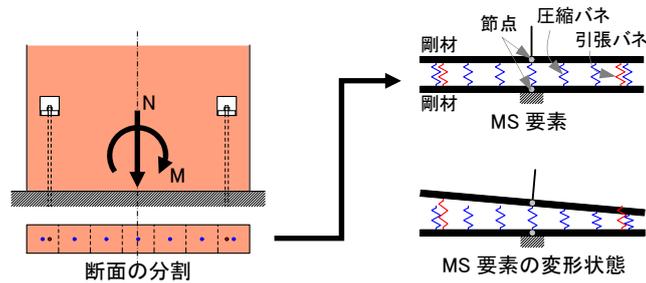
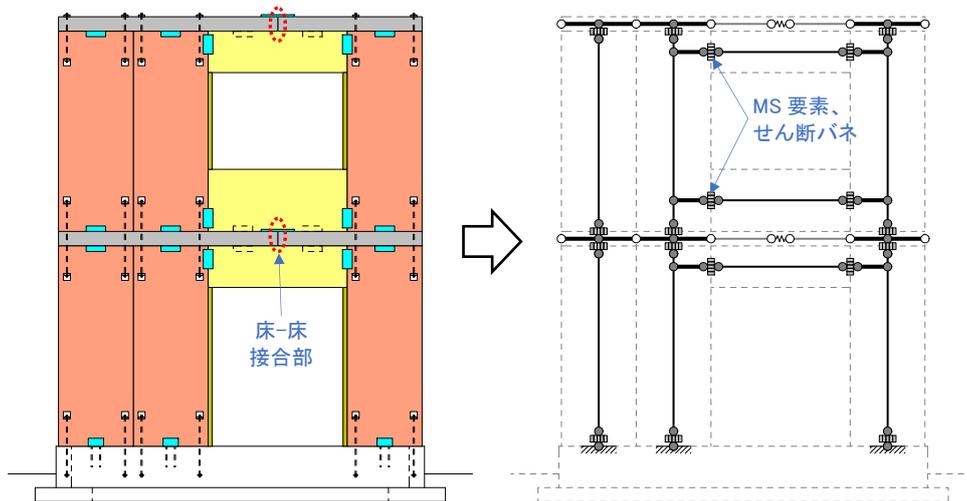


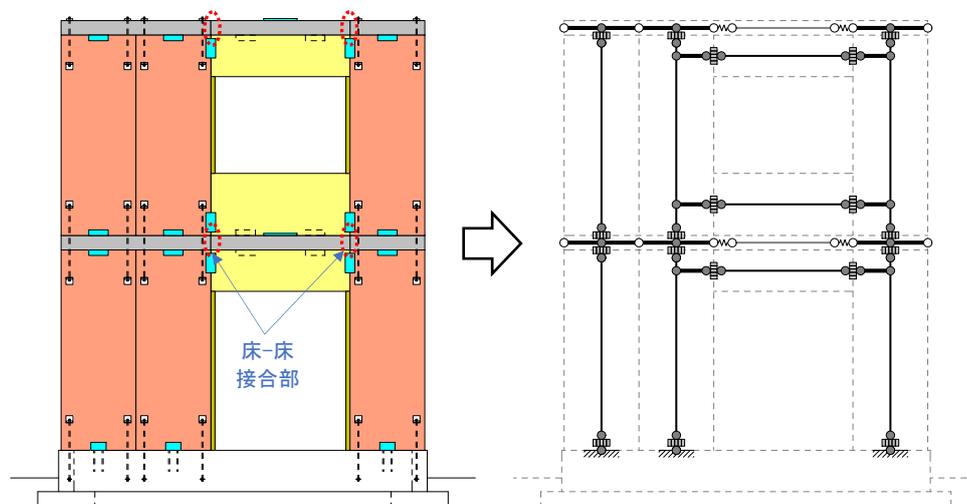
図 2.3.1 MS 要素の概念

### 2.3.2 MS モデルの構成方法

MS 要素を用い、2.1 節で述べた原則を適用する場合は図 2.3.2 のような構造モデルの設定が可能となる。図 2.1.5 に示す現行フレームモデルと比べて、節点数・要素数は大幅に減少しており、構造計算工数の軽減に寄与するものと期待できる。



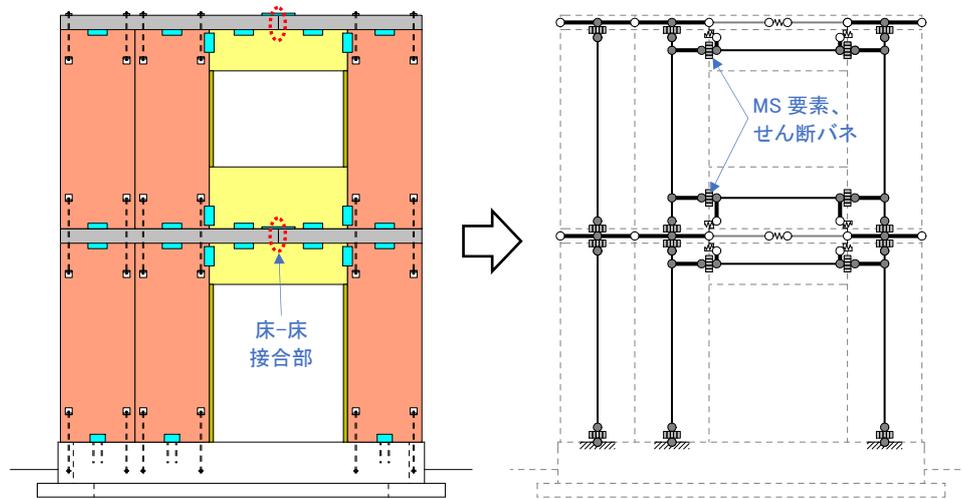
(a) 床床接合部が垂れ壁中央のとき



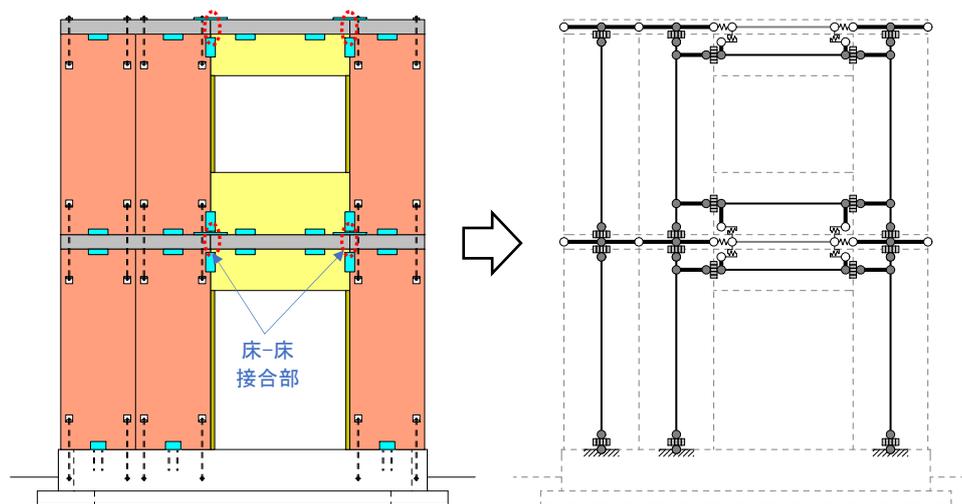
(b) 床床接合部が垂れ壁端部のとき

図 2.3.2 MS 要素を用いた構造モデル(MS モデル)の構成 (原則を適用する場合)

なお、原則 3) の適用については壁構面の水平耐力の減少というデメリットが予想される。これを回避するために原則 3) を適用しないとすれば MS モデルは図 2.3.3 のようになる。



(a) 床床接合部が垂れ壁中央のとき



(b) 床床接合部が垂れ壁端部のとき

図 2.3.3 MS 要素を用いた構造モデル (MS モデル) の構成 (原則 3 を適用しない場合)

