

# CLT を鉄骨造の床に用いた床架構のせん断剛性とせん断耐力に関する 解析的検討

岡山大学 福本晃治

## 1. はじめに

CLT パネルは面外、面外、及び強軸、弱軸いずれの方向にも構造性能を発揮する厚板部材であり、床部材として使用する場合、鉛直荷重の支持だけでなく、地震時や暴風時における水平力の伝達や建物の一体性確保（剛床）の目的で用いることは合理的かつ自然な考え方であろう。ただし、鉄骨造に CLT 床を用いた場合の実験データは未だ少なく、本事業報告書においても面内剛性を水平ブレースにより確保する方針とすることに留めている。そこで、本資料は、CLT パネルと鉄骨梁との接合部をバネ要素に置換してモデル化した静的増分解析を用いることで、接合部を含めた CLT 床架構全体のせん断剛性やせん断耐力が一般的な水平ブレースに置き換えた場合、どの程度の鋼材断面に相当するかを検討し、今後の研究や実施設計における参考資料を提供しようとするものである。

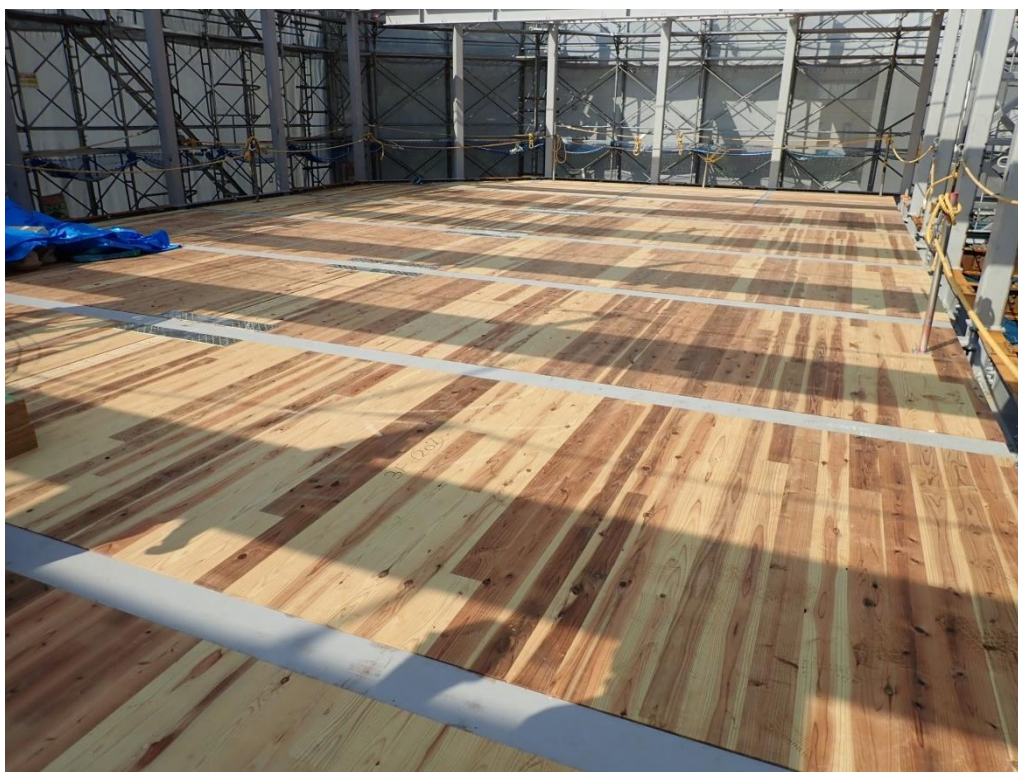


写真 1 CLT を鉄骨造の床に用いた例（兵庫県林業会館 写真：竹中工務店）

## 2. 床構面の設定

図 1 に本検討で設定した床架構を示す。巻末資料 03 の設計例のグリッドを丸めたものとして 6m×6m の大梁グリッドを設定し、その中央で 1 本小梁を設け、この小梁と直交する方向に 2m 幅の CLT パネルを 3 枚配置する床架構を設定した。図 2 に示す様に、CLT パネルと鉄骨大梁との接合は鉄骨梁に設けた受け材 (L-65×65×6) と木ビスにより接合するものとし、CLT パネル同士の接合は、図 3、図 4 のスプライン接合を想定した。大梁断面、小梁断面とも H-300×150×6.5×9(SS400) とし、CLT パネルは S60-5-5(t=150mm) とした。

一方、比較対象とする水平ブレースによる床構面では、上記と同じ梁配置において小梁両側の 2 構面で X 字形に引張ブレースを配置する形式とした。

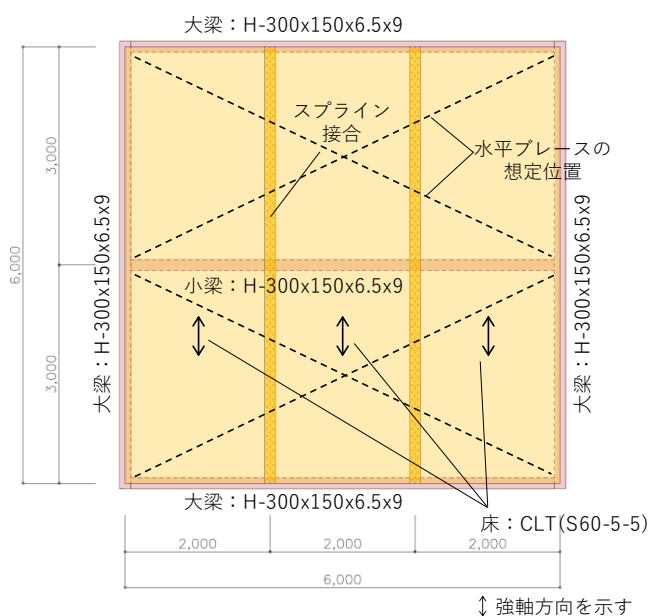


図 1 床架構伏図

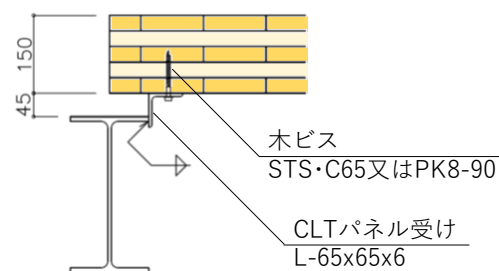


図 2 CLT 床と鉄骨梁との接合部

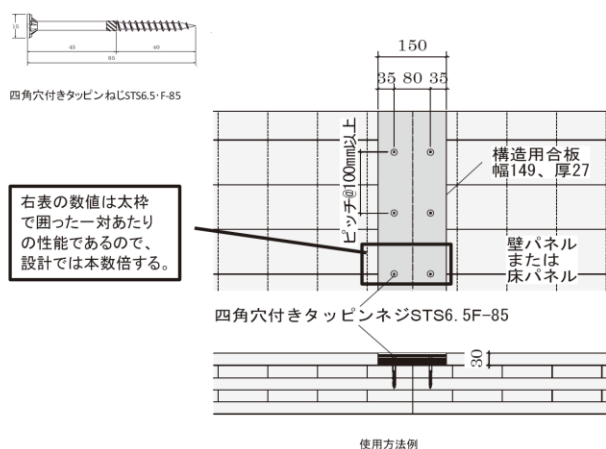


図 3 スプライン接合 1<sup>1)</sup> (ビス+合板)

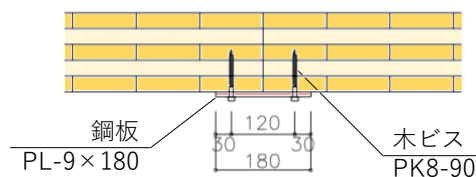


図 4 スプライン接合 2 (M8 ビス+鋼板)

### 3. 解析モデルと検討パラメータ

図5に解析モデル図を示す。大梁、小梁は線材要素とし、CLTパネルは異方性を考慮した板要素とする。CLTと鉄骨梁の接合部、及びスプライン接合は、等間隔に設けたバネ要素により表現し、解析モデル上は@200mmでバネ要素を配置した。境界条件は、床システム全体にせん断変形のみが生じるように、Y1通りの大梁節点をピン接合とし、Y2通りの大梁節点はx方向のみの自由度を開放したローラー支点とした。小梁とCLT床は、接合しないものとし、解析モデル上は圧縮専用の剛バネで接続した。

検討パラメータを表1に示す。まず、スプライン接合の接合部剛性（せん断剛性）を概ね等間隔で変化させるため、文献1)を参照し、ビスの種類、ピッチについて3つの仕様を設定した。その上で、鉄骨梁とCLT床接合部のバネ要素の剛性を0.5kN/mm～15kN/mmの間で8水準設定し、3仕様×8水準=計24ケースについて解析を実施し、床架構全体としての面内せん断剛性への影響を検討した。なお、CLTの強軸方向、弱軸方向に対して異なった接合部剛性を与え、既往の実験データや単位接合部に対する剛性計算式<sup>2)</sup>による結果などを参考に、弱軸方向の接合部剛性は、強軸方向の一律0.4倍と仮定した。なお、スプライン接合は、強軸方向の接合部剛性のみを考慮した。

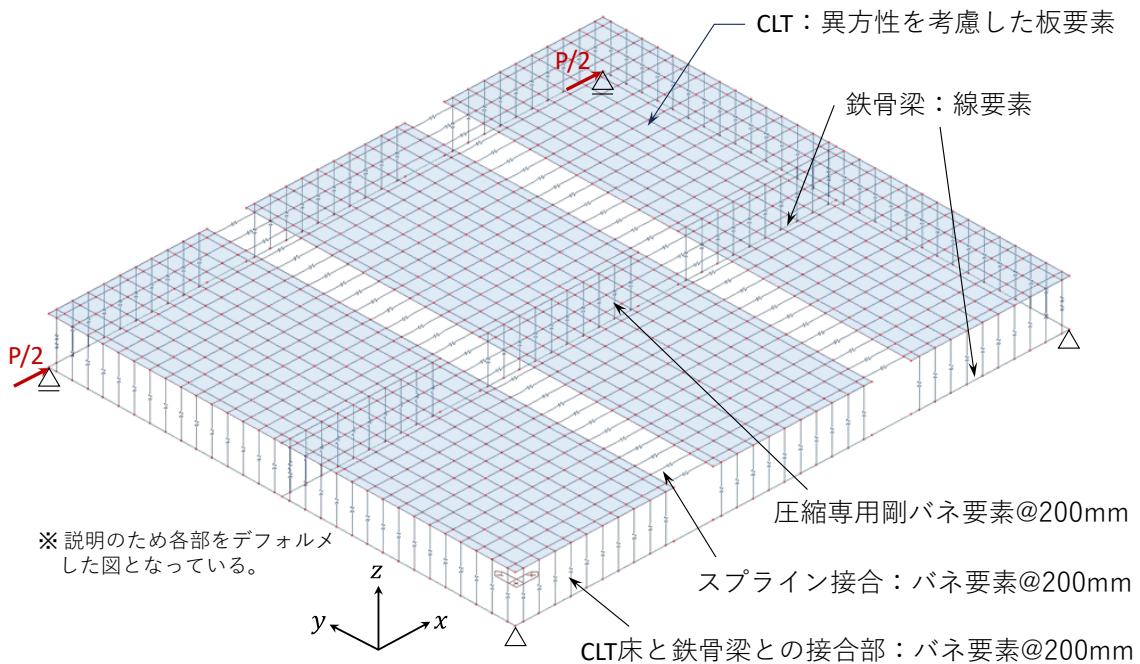


図5 解析モデル図

表 1 解析パラメータ

| パラメータの種類    | 接合部の仕様, 又は特性値                       | ビス 1 本あたりの剛性   | バネ剛性*                             |
|-------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|
| スプライン接合     | 木ビスSTS65-F-85@200<br>+構造用合板t28      | 1.1kN/mm <sup>1)</sup><br>(CLT強軸方向のみの設定)                         | Ks=1.1kN/mm                       |
|             | 木ビスSTS65-F-85@100<br>+構造用合板t28      |  | Ks=2.2kN/mm                       |
|             | 木ビス(パネリード鋼)<br>PK8-90@150<br>+鋼板t=9 | 5.5kN/mm*<br>(CLT強軸方向のみの設定)                                      | Ks=7.33kN/mm                      |
| CLT床と鉄骨梁接合部 | ビス1本あたりの接合部剛性<br>8水準                | CLT強軸方向: 0.5, 1, 2, 3, 5,<br>7, 10, 15(kN/mm)<br>CLT弱軸方向: 強軸×0.4 | Kjs=0.5~15kN/mm<br>Kjw=0.2~6kN/mm |

※解析上のバネは@200で固定のため, ビスの配置ピッチはバネ剛性に反映する.

表 2 各材料の弾性係数

|                        |         |                        |
|------------------------|---------|------------------------|
| CLT(S60-5-5)<br>面内弾性係数 | 強軸ヤング係数 | 3600N/mm <sup>2</sup>  |
|                        | 弱軸ヤング係数 | 2400N/mm <sup>2</sup>  |
|                        | せん断弾性係数 | 500N/mm <sup>2</sup>   |
| 鋼材弾性係数                 | ヤング係数   | 20500N/mm <sup>2</sup> |
|                        | ポアソン比   | 0.3                    |

## 4. 検討結果

### 4.1 接合部の剛性と床システム全体のせん断剛性の関係について

図 6 に変形図を示す。CLT 床がスプライン接合を介して変形している状況を確認できる。また、図 7 に接合部の剛性と床架構としてのせん断剛性との関係を示す。横軸は、CLT 床と鉄骨梁の接合部において 200mm ピッチで配置したバネ要素（ビス）1 個の強軸方向の剛性( $k_0$ )とした。また、縦軸は、床システム全体としてのせん断剛性を CLT パネル S60-5-5( $t=150\text{mm}$ )のせん断弾性係数 $G(\text{N}/\text{mm}^2)$ に換算して示した（以下、「換算 $G$ 」とする）。これにより、元の CLT パネルのせん断弾性係数や、同厚( $t=150\text{mm}$ )の RC スラブとのせん断弾性係数との比較が容易となる。また、併せて、数種類の鋼材断面による水平ブレースを用いた床構面に対する換算 $G$ も示す。

これによると、例えば、CLT 床と鉄骨梁との接合部を STS-C65@100mm( $k_0=2\text{kN}/\text{mm}$ )とし、スプライン接合を STS6.5-F85@100+t=28mm 構造用合板とした場合は、L-65×65×6 (SS400) による水平ブレースを配置した場合と同等のせん断剛性となることがわかる。また、この場合、換算 $G = 56.5\text{N}/\text{mm}^2$ となり、元の CLT パネルのせん断弾性係数( $G = 500\text{N}/\text{mm}^2$ )に対して約 1/9、 $F_c=21\text{N}/\text{mm}^2$  のコンクリートスラブのせん断弾性係数( $G = 9000\text{N}/\text{mm}^2$ )に対しては約 1/160 に相当する。また、同図の中で、最も高剛性を期待できる仕様として、CLT 床と鉄骨梁との接合部、スプライン接合ともに、9mm 厚鋼板の添板 +M8 長さ 90mm の大径ビス@150（例えばパネリード鋼 PK8-90）とした場合、L-100×100×10(SS400)の水平ブレースに相当する剛性が得られ、換算 $G = 125\text{N}/\text{mm}^2$ となる。

いずれにしても、RC スラブのせん断弾性係数を比較すると大幅に換算 $G$ が低下するため、建築物全体の応力解析で剛床を仮定する場合は注意が必要である。必要に応じて、床架構を等価な剛性を有する水平ブレースや板要素により面内せん断剛性を評価した解析モデルにより検討を実施することが望ましい。

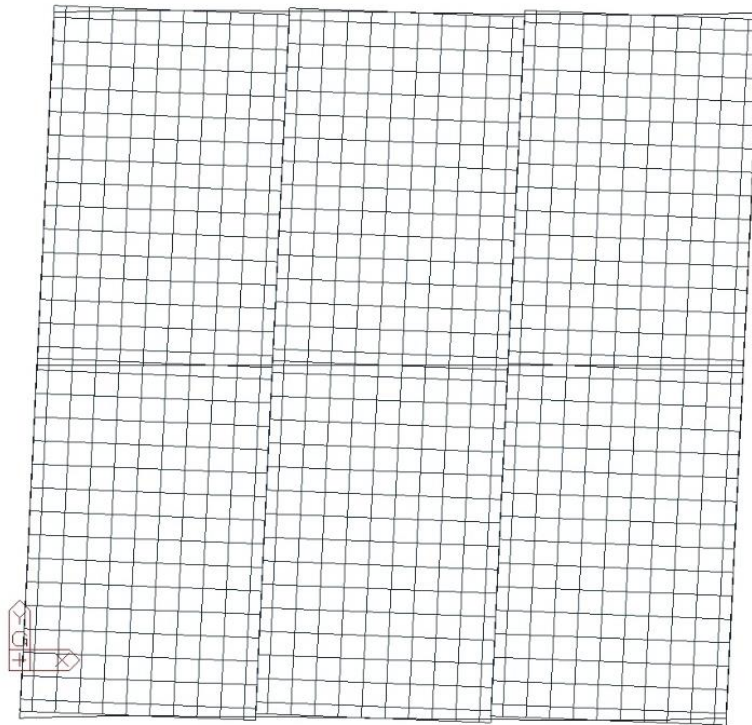


図 6 変形図 ( $K_s=2.2\text{kN/mm}$ ,  $K_j=5\text{kN/mm}$ )

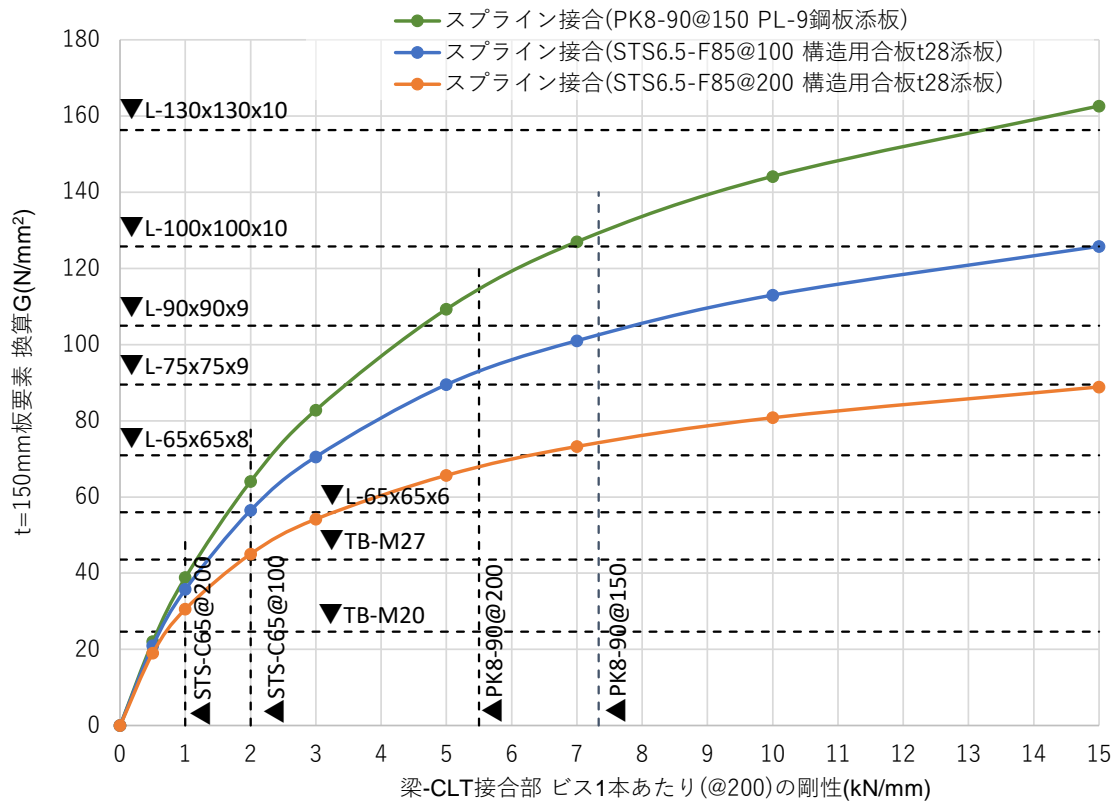


図 7 接合部の剛性と床架構としてのせん断剛性との関係

## 4.2 荷重変形関係について

4.1の結果に基づき、本検討のパラメータ範囲に含まれる代表的な接合部の仕様とした場合と、それと等価なせん断剛性を発揮する水平ブレースを用いた場合について、静的増分解析を実施し、両者の解析結果を比較する。表3に、静的増分解析を実施したモデルの一覧を示す。バネ要素と水平ブレースの復元力特性性はBi-linearとし、その他の諸元は3.に示した通りである。

表3 静的増分解析モデル一覧

| 仕様                     | CLT床と鉄骨梁接合部                    | ビス1本あたりの剛性   | バネ剛性 <sup>※1</sup>             | バネ降伏荷重  |
|------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|---|
| 仕様A                    | STS-C65@100mm                  | 強軸：1kN/mm <sup>※2</sup><br>弱軸：0.4kN/mm                 | Kjs=2.0kN/mm<br>Kjw=0.8kN/mm   | Pus=5.5kN <sup>※2</sup><br>Puw=5.5kN <sup>※2</sup>  |
| 仕様B                    | 木ビス(パネリード鋼)<br>PK8-90@200      | 強軸：5.5kN/mm <sup>※3</sup><br>弱軸：2.2kN/mm <sup>※3</sup> | Kjs=5.5kN/mm<br>Kjw=2.2kN/mm   | Pus=9kN <sup>※3</sup><br>Puw=8kN <sup>※3</sup>      |
| 仕様C                    | 木ビス(パネリード鋼)<br>PK8-90@150      | 強軸：5.5kN/mm <sup>※3</sup><br>弱軸：2.2kN/mm <sup>※3</sup> | Kjs=7.33kN/mm<br>Kjw=2.93kN/mm | Pus=12kN <sup>※3</sup><br>Puw=10.67kN <sup>※3</sup> |
| スプライン接合<br>(仕様A,B,C共通) | 木ビスSTS65-F-85@100<br>+構造用合板t28 | 1.1kN/mm <sup>※2</sup><br>(CLT強軸方向のみの設定)               | Ks=2.2kN/mm <sup>※2</sup>      | Pu=3.2kN <sup>※2</sup>                              |

※1 解析上のバネは@200で固定のため、ビスの配置ピッチはバネ剛性に反映する。

※2 文献1)に例示されているデータを使用。

※3 パネリード鋼はメーカーより受理した接合部実験データを安全側に丸めた数値を用いた。

これらの仕様に近いせん断剛性を得られる水平ブレースは4.1の検討結果により、下記となる。

- ・仕様Aに対し、L-65×65×6(SS400)
- ・仕様Bに対し、L-75×75×9(SS400)
- ・仕様Cに対し、L-90×90×9(SS400)

図8に各解析結果における荷重変形関係を示す。これによると、仕様A～Cの接合部を有するCLT床に対して上記の水平ブレースに置換した場合、図7の検討結果と整合して同等のせん断剛性が得られるとともに、CLT床架構が剛性低下し始める耐力と水平ブレースの降伏耐力が概ね同等となり、本検討の範囲では水平ブレースに置換することで安全側の結果となった。

これらのことから、図7に示すような検討結果を参考にして、CLT床架構を等価な剛性、耐力を有する水平ブレースに置換することで、より簡易な解析モデルにより、CLTを鉄骨造の床に用いた床架構の面内せん断に対する検討が可能であると考えられる。

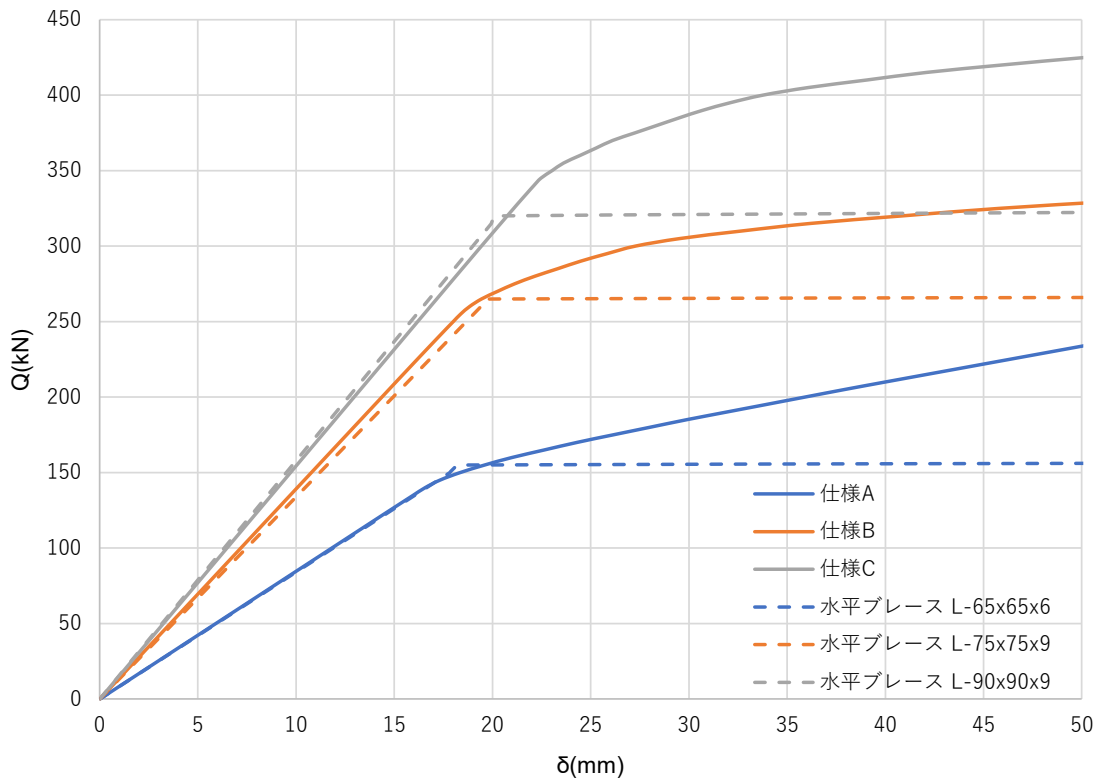


図 8 静的弾塑性解析における荷重変形関係

## 5. まとめ

本検討では、CLT 床の面内剛性を期待した場合のせん断剛性やせん断耐力を解析的に求め、等価な性能を有する水平ブレースの例示を試みた。いずれの場合においても、コンクリートスラブとのせん断剛性と比較すると大幅に小さくなるため、耐震要素を集中配置する場合や、上下階で耐震要素の平面的配置が一致しない場合等では注意を要する。また、冒頭でも述べたように、CLT を鉄骨造の床として用いた床架構の実験データは少なく、本検討で示した解析結果は、実験的に妥当性が確認されたものではないことに注意されたい。

---

## 参考文献

- 1) 日本住宅・木材技術センター：2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル 2021 年構造・材料増補版，2021
- 2) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，2006