

はじめに

昨年度実施された鋼板貫通釘を用いた高耐力接合部の開発に関する実験的研究¹⁾より、実験から鋼板貫通釘（以下「釘」とする）が高い耐力・靱性を有することを確認した。本年度は弾性床理論に基づき鋼板挿入接合の荷重変形関係を終局まで推定する手法²⁾を用いて、釘単体の荷重－変位関係の評価が可能か検証する。

解析方法

鋼板貫通釘を用いた木質接合部の荷重－変位関係を、文献3)の弾性床理論に基づく解析より求める。

初期すべり係数

釘を用いた鋼板挿入接合部のすべり量は、めり込み変位と釘中央のたわみ量に等しいとすると、(1)式より初期すべり係数 K_{si} を求めることができる。

$$\begin{cases} K_{si} = \frac{181\alpha - 390}{128\alpha^2 - 107\alpha - 390} kdt \\ \alpha = \frac{1}{0.46 + \frac{11.6E_s d^3}{kt^4}} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 k ：木材の面圧定数(N/mm³)、 d ：釘の直径(mm)、 E_s ：釘のヤング係数(N/mm²)、 t ：釘の長さ(mm)

比例限度耐力

比例限度耐力 P_{pl} は木材のめり込み降伏耐力 P_{plw} 、または釘の曲げ降伏を生じる荷重 P_{plb} のうち小さい方とし(2)式と表すことができる。

$$P_{pl} = \min \left\{ \begin{aligned} &\frac{3\pi d^3}{4(3-\alpha)} \cdot \frac{F_t}{t} \\ &\frac{181\alpha - 390}{128\alpha^2 - 107\alpha - 390} F_{wy} dt \end{aligned} \right. \quad (2)$$

ここで、 F_{wy} ：降伏面圧応力度(N/mm²)、 F_t ：釘の降伏引張応力度(N/mm²)

降伏耐力

降伏耐力 P_y は、降伏モードの塑性機構にもとづく仮想仕事の原理を用いて推定式を誘導し、(3)式のように求めることができる。

$$P_y = \min \left\{ \begin{aligned} &F_{wy} dt \\ &\frac{4\alpha d^3 F_t}{3(\alpha+1)t} + \frac{(\alpha^2+1)F_{wy} dt}{2\alpha(\alpha+1)} (\alpha \geq 1), \frac{2d^3 F_t}{3t} + \frac{F_{wy} dt}{2} (\alpha < 1) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

接合部すべり量

接合部は降伏耐力に達するまで初期すべり係数による一定の剛性を保つとし、降伏時の接合部すべり量 S_y は(4)式のように求めることができる。

$$S_y = \frac{P_y}{K_{si}} \quad (4)$$

2次すべり係数

2次すべり係 K_{ss} は、釘頭の面圧力が比例限度に達する時の荷重点を結ぶ直線の傾きとして次式のように示す。

Mode ii の場合

$$K_{ss} = \frac{k_{ax} w}{3t^2} \{ (S_y + S_p)(5S_y^2 + 5S_p^2 + 3w^2) + 6w(S_y^2 + S_y S_p + S_p^2) + w^3 \} \quad (5)$$

Mode iii の場合

$$K_{ss} = \frac{4\alpha^2 k_{ax} w^2}{t^2} (S_y^2 + S_y S_p + S_p^2) \quad (6)$$

ここで、 w ：釘頭の直径(mm)

$$\begin{cases} S_p = \sqrt{\frac{F_{ax}}{k_{ax}}} & \cdots \text{Mode ii} \\ S_p = \sqrt{\frac{F_{ax}}{\alpha k_{ax}}} & \cdots \text{Mode iii} \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 F_{ax} ：釘頭軸方向の木材の比例限面圧応力度(N/mm³)、 k_{ax} ：釘頭のめり込み面圧剛性(N/mm²)

終局耐力

終局耐力 P_u は、めり込みによる木材の破壊を想定した繊維方向加力の場合として(8)式に示す。

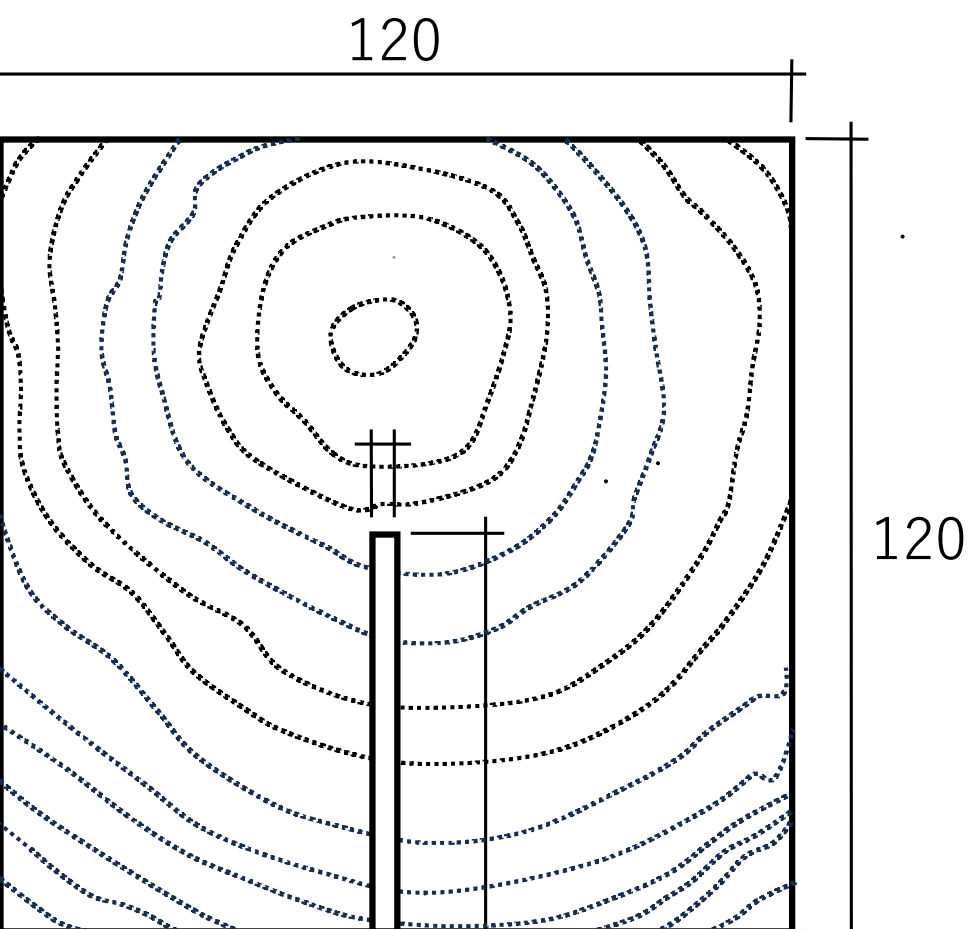
$$P_u = \begin{cases} F_{wu} dt & \cdots \text{Mode i} \\ \frac{\alpha+1}{2\alpha} F_{wu} dt (\alpha \geq 1), F_{wu} dt (\alpha < 1) & \cdots \text{Mode ii} \\ \frac{1}{\alpha} F_{wu} dt & \cdots \text{Mode iii} \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 F_{wu} ：終局面圧応力度(N/mm²)

実験及び評価方法

上記で示した解析のうち、釘による木材の面圧定数 k ・降伏面圧応力度 F_{wy} ・終局面圧応力度 F_{wu} 、釘の降伏引張応力度 F_t 、釘頭軸方向の木材の比例限面圧応力度 F_{ax} 、釘頭のめり込み面圧剛性 k_{ax} を得るための実験を実施した。

ヒノキ・スギ



CLT

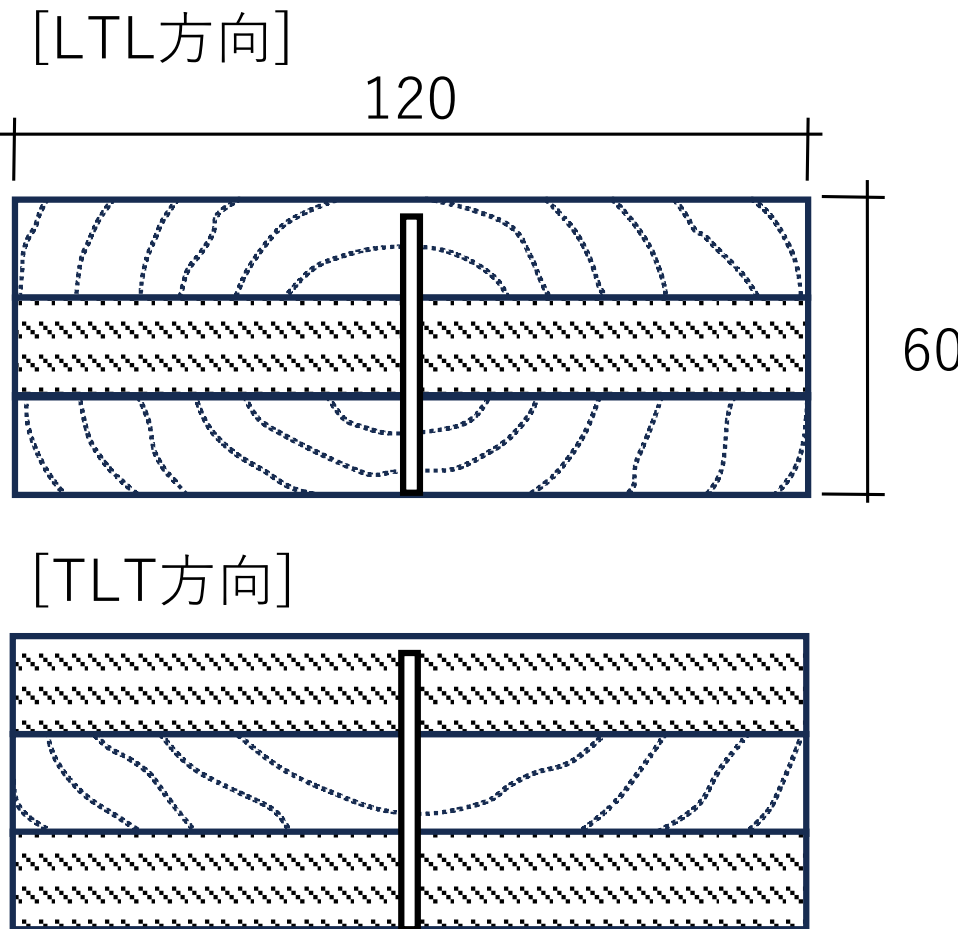


図1 試験体図

表1 試験体の仕様詳細

材	仕様詳細
釘	焼き入れ釘 寸法：胴径3.4mm×長さ65mm
ヒノキ	寸法：120mm×120mm、高さ100mm
スギ	寸法：120mm×120mm、高さ100mm
CLT	TLT方向 / LTL方向 寸法：120mm×60mm、高さ100mm

k , F_{wy} , F_{wu} を求める釘による面圧実験に用いた樹種はヒノキ・スギ・CLT（60mm厚のLTL方向、TLT方向）とする。試験体は図1に示すヒノキ・スギで平面寸法120×120mm、高さ(L軸)100mm、CLTは平面寸法120×60mm、高さ(L軸)100mmとした。試験体の詳細を表1に示す。実験は万能試験機を用いて、加力速度1mm/minで実施した。実験中の様子を図2に、実験後の様子は図3に示す。



図2 実験中の試験体



図3 実験後の試験体

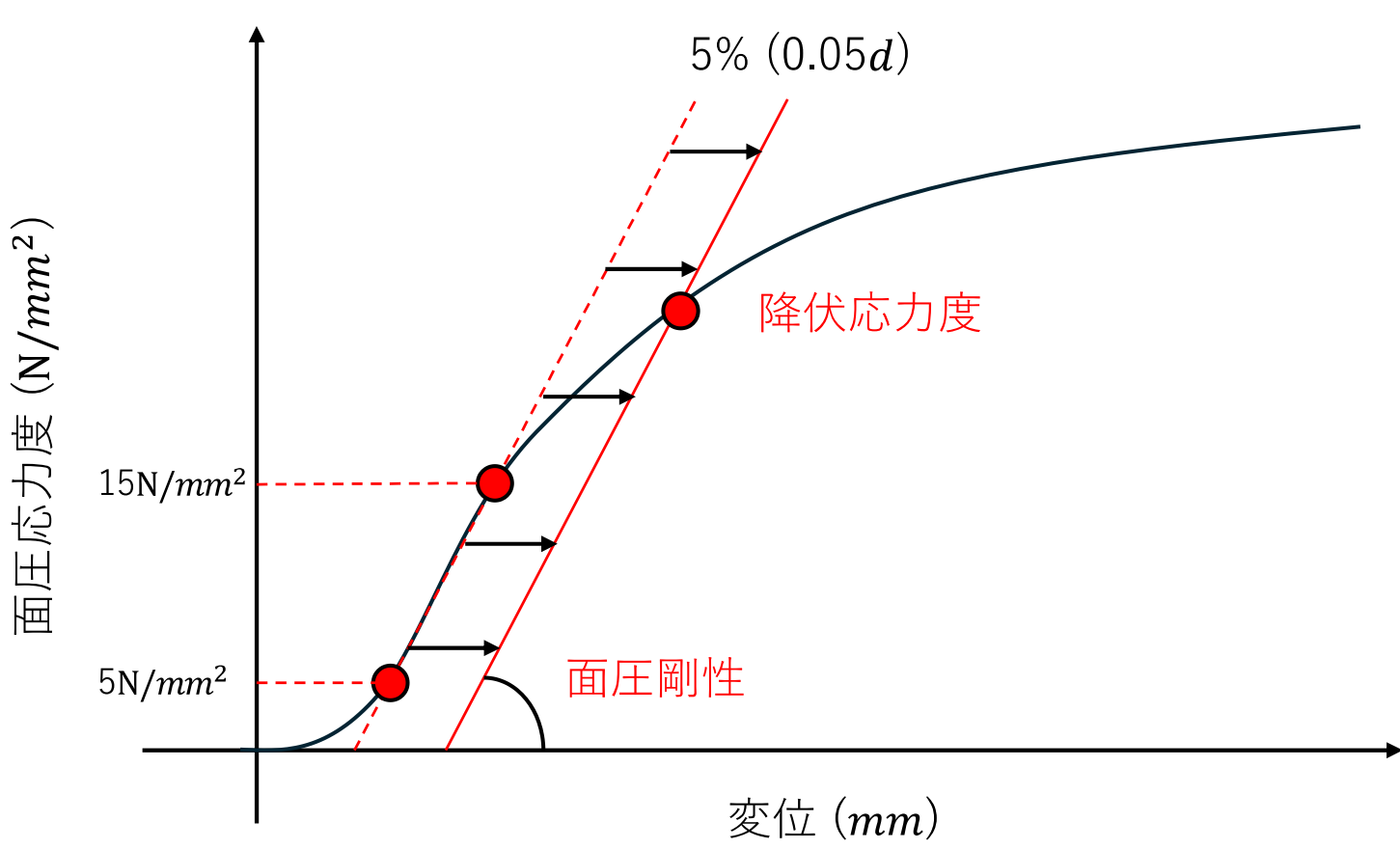


図4 5%off-set法

実験結果は、図4に示すASTM-D5764-97a(2007)に準じた5%off-set法より評価し、 F_{wy} を求めた。 k は応力度5~15N/mm²を直線領域とした。一例としてスギを用いた場合の結果を表2に示す。面圧剛性、降伏応力度の評価は、9体の試験体のうち面圧剛性が平均値に近い6体の結果を用いて算出した。

表2 スギを用いた場合の特性値

Specimens	k (N/mm ³)			F _{wy} (N/mm ²)			F _{wu} (N/mm ²)			MC (%)	
GS001	56.8	—	38.6	24.1	—	26.4	38.8	—	37.7	11.301	11.35
GS002	40.9	40.9		27.5	27.5		40.1	40.1		12.021	
GS003	47.6	—		25.4	—		40.5	—		11.032	
GS004	41.1	41.1		27.7	27.7		40.0	40.0		10.517	
GS005	45.1	45.1		28.6	28.6		41.2	41.2		9.6552	
GS006	85.8	—		29.1	—		46.7	—		9.2409	
GS007	38.3	38.3		25.7	25.7		35.4	35.4		12.478	
GS008	34.4	34.4		25.8	25.8		36.2	36.2		12.737	
GS009	31.5	31.5		23.1	23.1		33.1	33.1		13.172	

解析結果

ヒノキ・CLT（LTL）の解析結果を、文献1),2)の実験値と併せて図5,6,7に示す。図より、すべての試験体で初期剛性は概ねよく一致していることが確認できた。降伏耐力、2次すべり係数、終局耐力は低く安全側の評価となった。

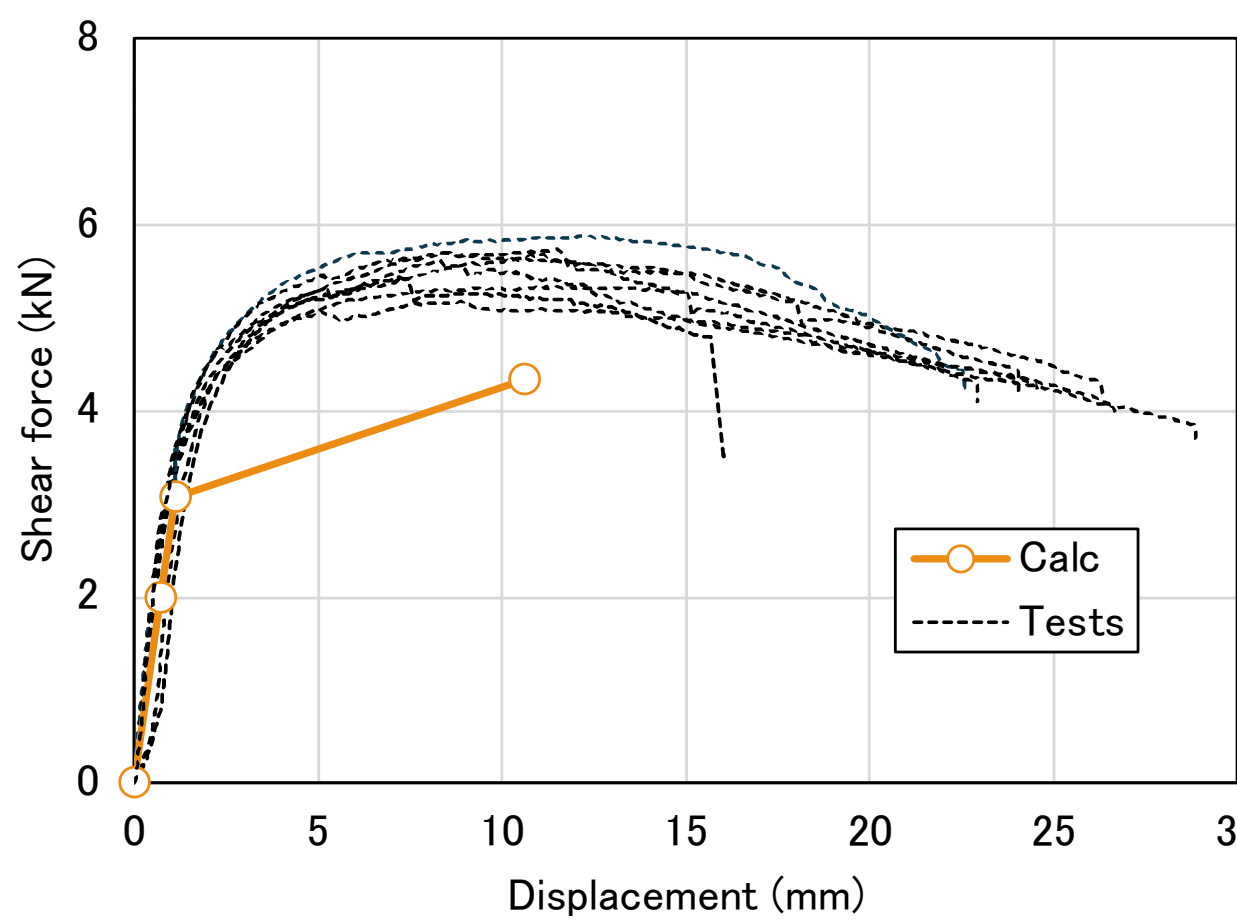


図5 実験値と計算値の比較
(ヒノキ、釘長さ65mm)

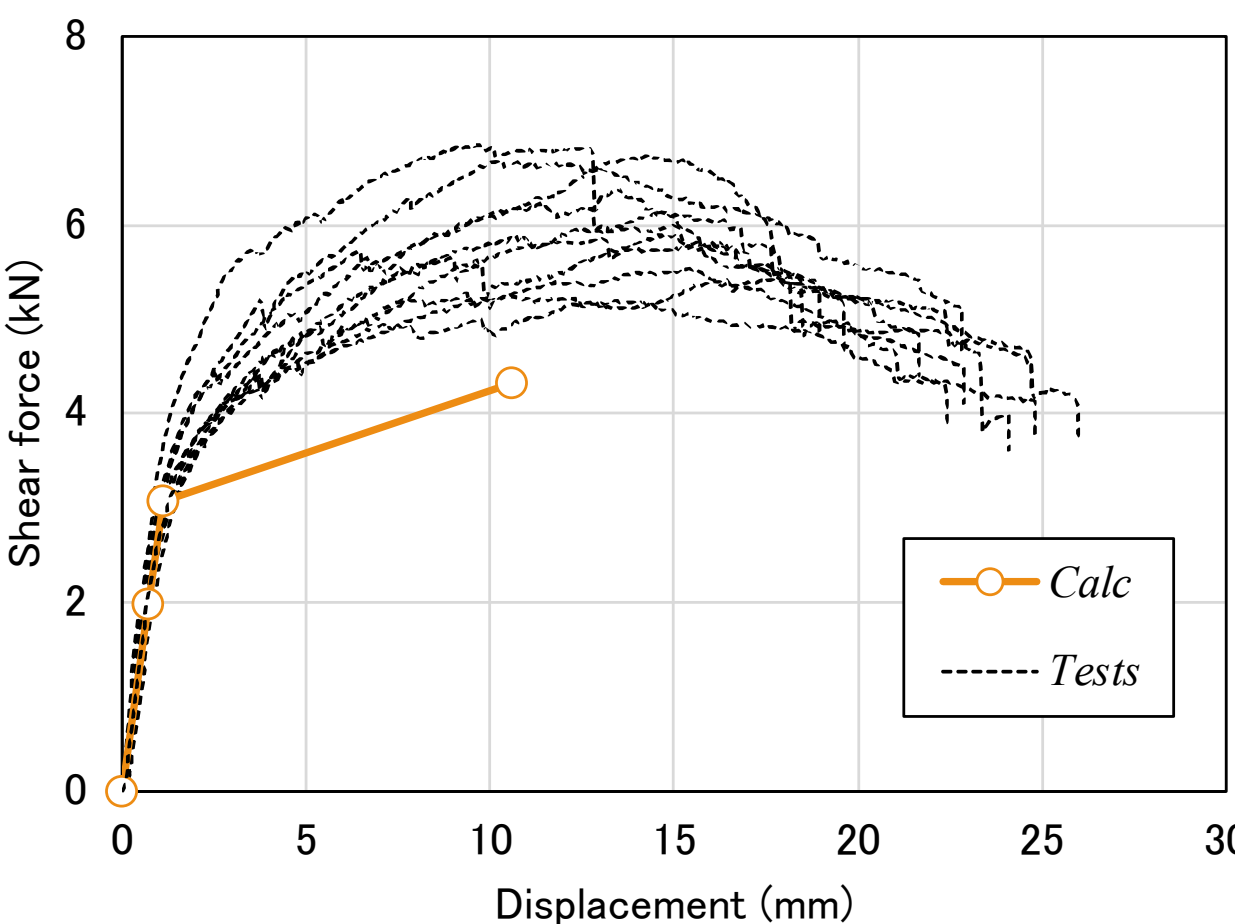


図6 実験値と計算値の比較
(72mm厚CLT、釘長さ65mm)

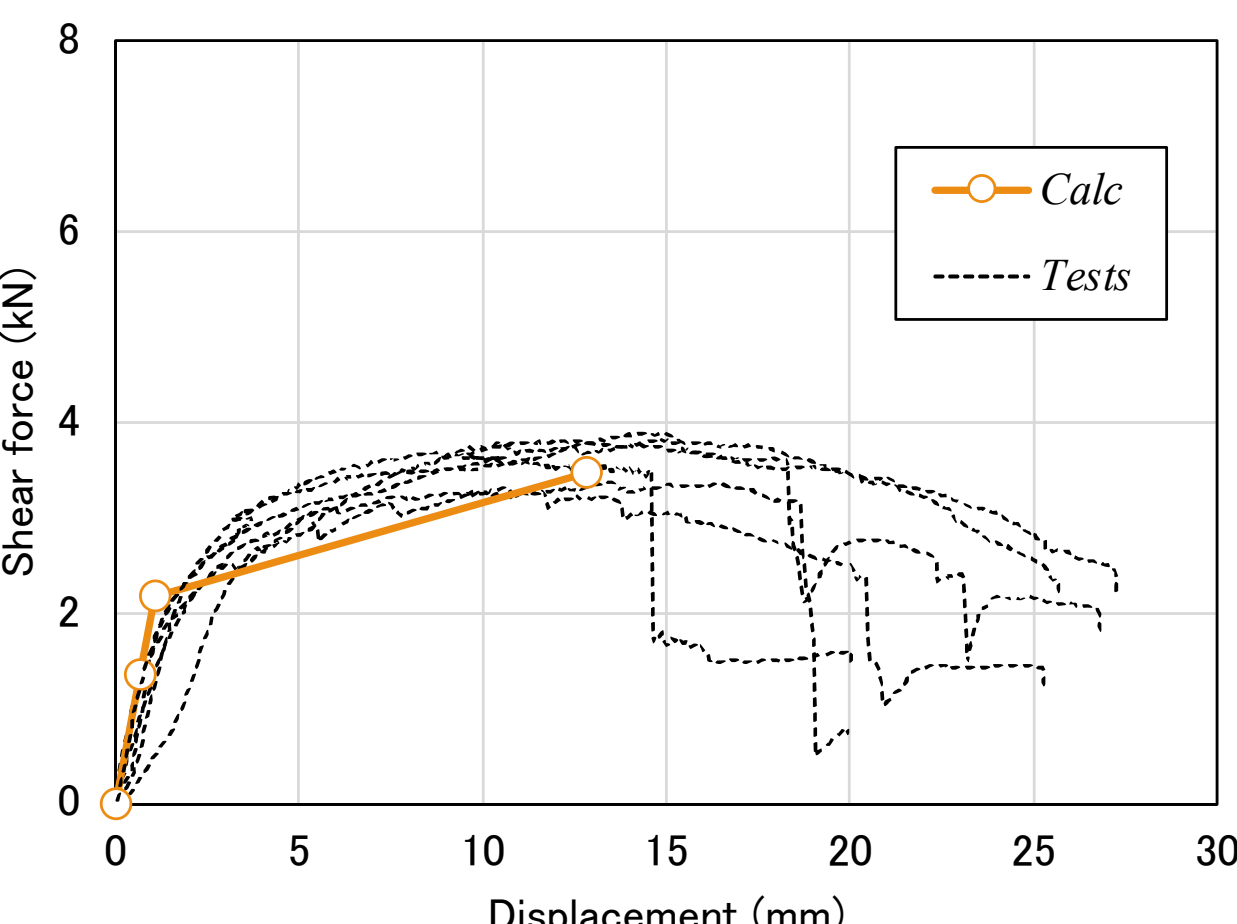


図7 実験値と計算値の比較
(60mm厚CLT、釘長さ50mm)

まとめ

鋼板貫通釘を用いた木質接合部の荷重－変位関係を弾性床理論に基づく解析より求めた。計算値は、初期剛性で実験結果と概ねよく一致した。降伏耐力、2次剛性、終局耐力では実験結果より低めの結果となった。

<参考文献>
1)谷口りお：鋼板貫通釘を用いた高耐力接合部の開発に関する実験的研究、椋山女学園大学、卒業研究、No.314、2024.1
2)外園小夏：鋼板貫通釘を用いたCLT耐力壁の柱脚金物開発に関する研究、椋山女学園大学、卒業研究、No.建B07、2023.1
3)蒲池健、稲山正弘、安藤直人：鋼板挿入式ボルト・ドリフトピンにおける荷重－すべり特性の評価法、日本建築学会構造系論文集、第73巻、第627号、pp.795-802、2008.5