

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14879

研究課題名（和文）有開口CLT床構面の面内性能評価と剛床仮定成立条件の提案

研究課題名（英文）Evaluation of in-plane performance and proposal of conditions to accomplish rigid floor of CLT diaphragm with opening

研究代表者

鈴木 賢人（SUZUKI, Kento）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：80757055

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、有開口CLT床構面の面内加力実験と床構面に用いられている接合部を対象とした接合部実験を行い、床構面全体の面内性能と局所的な性能を明らかにした。次に、有開口CLT床構面の面内加力実験結果と既往の有開口床構面の性能評価法を比較することで、CLT床構面に対する適用性を調べた。その結果、有開口CLT床構面の面内性能を開口規模や位置と関連付けることは難しく、接合部の性能や位置から構面の性能を評価すべきことが確認された。これらの知見を集約し、有開口CLT床構面の面内性能評価手法を構造力学に基づく理論モデルとして提案するとともに、剛床仮定成立条件を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、中大規模建物での木材利用を実現・促進するための法整備や研究・技術開発が盛んに行われている。なかでもCLT関連の研究は多いが、CLT床構面の研究は少なく、有開口CLT床構面に関する研究は存在しなかった。建物において、耐力壁を十分に効かせるためには、床構面の面内性能の確保が重要であるが、開口を設けると面内性能は影響を受ける。しかし、CLT床構面においてはその程度が不明であった。そのため、有開口CLT床構面の面内性能を明らかにしたこと、有開口CLT床構面に十分な面内剛性・耐力を床に持たせるための条件（剛床仮定成立条件）を明らかにしたことは、耐震設計の高度化に資する成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study, the in-plane performance and the local behavior of the CLT floor with opening were clarified by in-plane loading tests of the floor and the joint tests. Next, results of in-plane loading test were compared to the existing evaluation method of in-plane performance for the floor with openings. In the result, it was difficult to evaluate the in-plane performance of the CLT floor with opening by the size and position of openings and it was considered necessary to evaluate the in-plane performance by the performance and position of joints. Finally, the theoretical evaluation method of the in-plane performance based on structural mechanics and the conditions to accomplish rigid floor of CLT floor with openings was proposed.

研究分野：建築構造

キーワード：木質構造 CLT 床構面 有開口 性能評価

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、国内の林業・木材産業の活性化や環境問題の観点から、中大規模建物での木材利用を実現・促進するための法整備や研究・技術開発が盛んに行われている。なかでも CLT 関連の研究は多く実施されているが、CLT 床構面の研究は少なく、有開口 CLT 床構面に関する研究は存在しない。建物において、耐力壁を有効に働かせるためには、床構面の面内剛性・耐力の確保が重要であるが、開口を設けると面内性能は影響を受ける。しかし、CLT 床構面においてはその程度が不明である。そのため、有開口 CLT 床構面の面内性能を把握することは喫緊の課題である。

CLT 床構面を建物内に用いるには、CLT 告示(平 28 国交告示第 611 号)のルート 1 が適用される建物以外、床構面の構造安全性確認に精緻な構造計算が要求されるため、構造設計者の負担が大きい。CLT 床構面の構造性能に関する知見が不足している以上、現在はやむを得ないが、今後、知見を蓄積し、構造性能評価手法を整備していく必要がある。さらに、CLT に限らず木質床構面は、耐震設計法の前提となる剛床仮定成立の可否が問題となり、特に、有開口床ではその懸念が大きくなる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、「有開口 CLT 床構面の面内性能を明らかにし、面内性能の簡易評価法と剛床とみなせる床構面の仕様を明示すること」である。建物の床構面には、点検口や階段室、建物によっては吹抜を設置するため、必ず開口が設けられ、開口規模や補強方法によっては、床構面の面内性能が低下する。CLT 以外の木質床構面では既にこれらに関する知見の蓄積があるものの、前述のとおり CLT 床構面ではその程度が不明である。そこで、本研究では有開口 CLT 床構面の面内加力実験により、有開口 CLT 床構面の挙動を把握する。また、CLT 床構面の構造安全性を確認する際の負担を軽減するため、CLT 床構面を対象に簡易な面内性能評価手法を構築する。さらに、提案する面内性能評価手法を応用し剛床とみなせる条件を示す。

### 3. 研究の方法

(1)有開口 CLT 床構面の面内加力実験と床構面を構成する接合部を対象とした接合部実験を実施することで、床構面全体の面内性能と各接合部の局所挙動を調べた。

(2)研究代表者が過去に提案した CLT 床構面のパネル間の挙動を評価する手法を応用して、(1)の実験結果を再現できる解析モデルを構築し、そのモデルの精度を調べた。これにより既往の評価手法の適用性を検証した。

(3)(2)で適用性を確認した既往評価法を応用して、有開口 CLT 床構面の剛性評価手法を提案する。さらに、これを応用し、研究代表者が過去に提案した無開口 CLT 床構面を対象とした剛床仮定成立条件と同様のプロセスで有開口 CLT 床構面の剛床仮定成立条件を導出した。

### 4. 研究成果

有開口 CLT 床構面の面内加力実験と接合部実験から、以下の知見を得た。床の全体挙動については、面内加力実験によって面内性能を明らかにするとともに、開口を設けることによる剛性及び耐力の低下を明らかにした(図 1)。また、その程度について、既往の有開口構面の性能評価手法で用いられる「開口係数」との相関がみられないケースが散見された(図 2)。この結果から、有開口 CLT 床構面の面内性能を開口規模や位置と関連付けることは難しく、接合部の性能や位置から床構面の面内性能を評価すべきことが確認された。

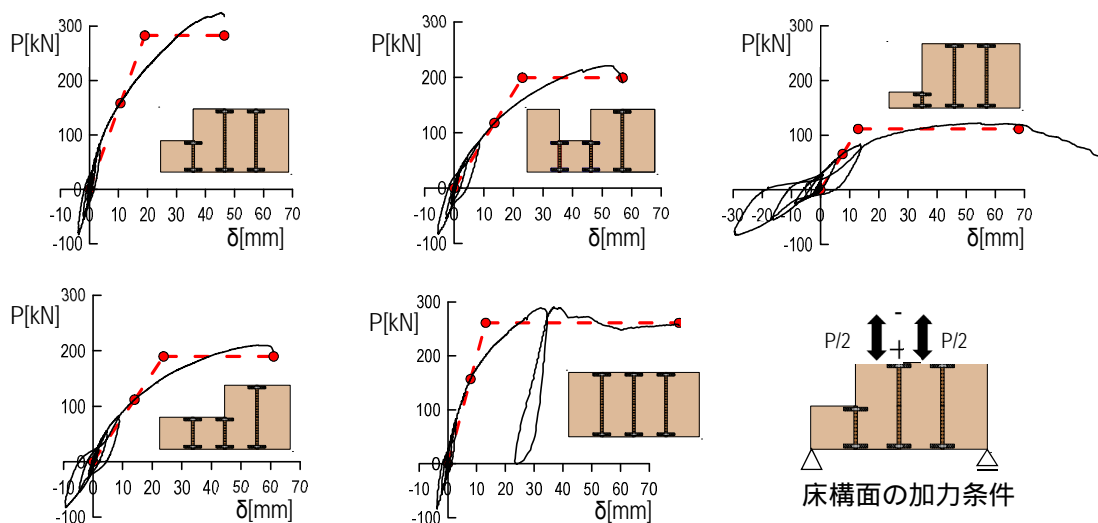


図 1 床構面の荷重-変形関係

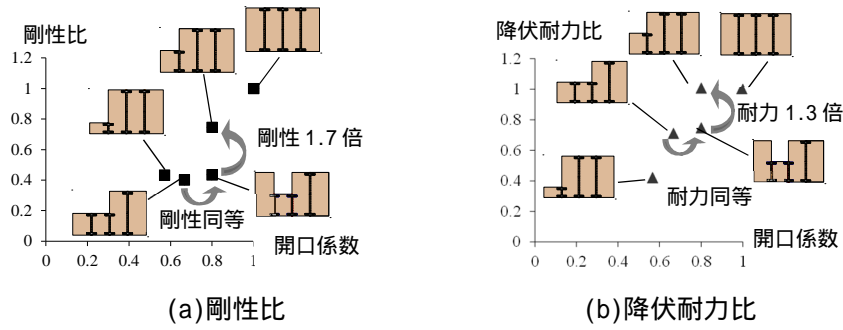


図2 有開口 CLT 床構面の性能と開口係数の関係

CLT パネル間の局所的な挙動に着目すると、接合部実験から得た単位接合具（タッピンねじ 1 本）の性能や接合部金物 1 個の性能を用いて、研究代表者が過去に提案した CLT パネル間のせん断性能および曲げ性能評価手法を適用することで、CLT パネル間の局所的な挙動を概ね再現できることを確認した。（図 3）

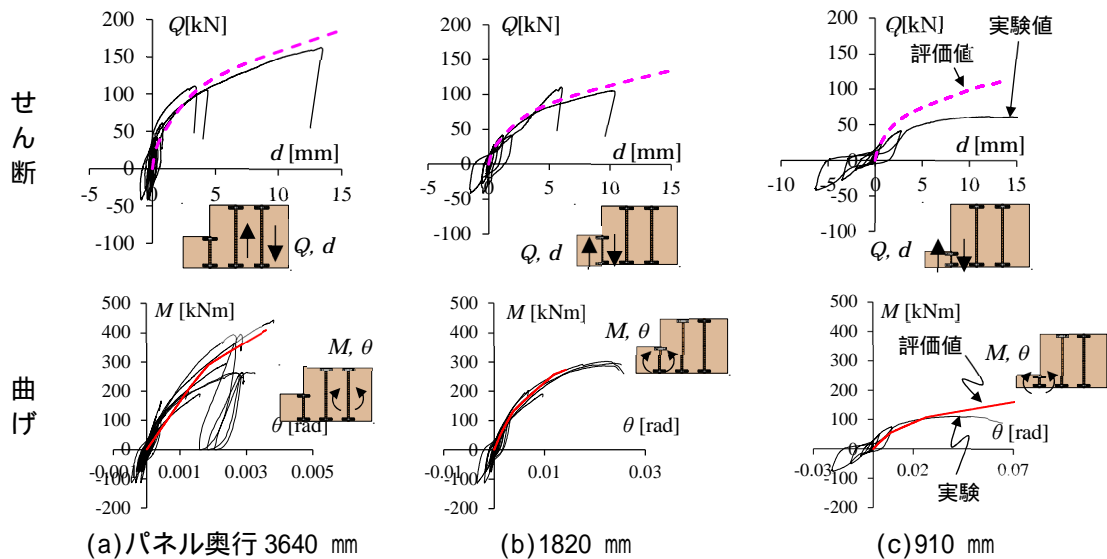


図3 CLT パネル間のせん断挙動および曲げ挙動における実験値と評価値の比較

有開口 CLT 床構面の全体挙動を再現できる簡易モデルの構築を行った。簡易モデルは、床を構成する CLT パネルそれぞれを剛体として扱い、それらをせん断バネと回転バネで繋いだものとした（図 4）。せん断バネおよび回転バネは、先述の研究代表者が過去に提案した手法と接合部実験の結果を用いてモデル化した。結果として、簡易モデルから得られる有開口 CLT 床構面の復元力特性は、最大耐力を迎える以前の変形範囲において実験結果と概ね一致した（図 4）。

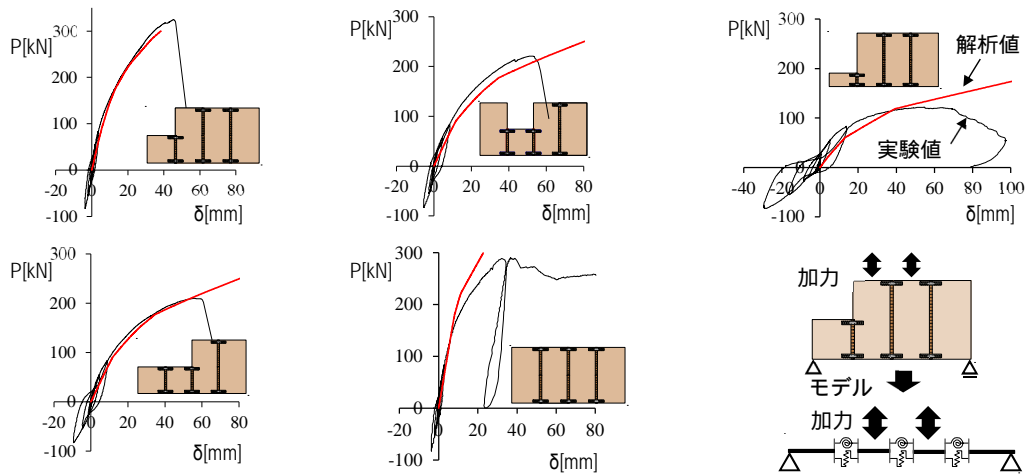
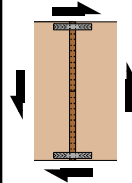


図4 CLT 床構面の面内加力実験結果と解析結果の比較

最後に、有開口 CLT 床構面の剛性低減評価手法の提案を行った。剛性低減評価は、パネル間のせん断剛性および曲げ剛性に対してそれぞれ剛性低減評価を行い、それらを合成することで行った。パネル間の剛性低減評価の精度について、せん断剛性および曲げ剛性ともに全体傾向を捉えることを確認した(図 5,6)。また、床構面の全体でみれば、実用上問題ない精度で剛性評価できることを確認した(図 7)。さらに、片持ち梁形式の剛性低減評価(図 8)を行うことで、研究代表者が過去に提案した無開口 CLT 床構面と同様の評価式で剛床仮定の成立条件を示した。

### せん断剛性低減係数

$$C_{kq} = K_{STFb} \frac{n_{STFo}}{n_{STFb}} + K_{Spb} \frac{n_{spo}}{n_{spb}} \alpha_{bc}$$



$C_{kp}$ : せん断剛性低減係数  
 $K_{STF}$ : 帯金物のせん断剛性  
 $K_{Sp}$ : スプラインのせん断剛性(1 対あたり)  
 $n_{STF}$ : 帯金物の個数  
 $n_{sp}$ : スプラインの対数  
 $\alpha_{bc}$ : スプラインの境界条件による係数  
 添え字  $b$  は無開口、添え字  $o$  は有開口を指す

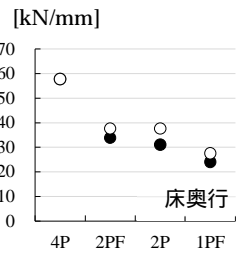
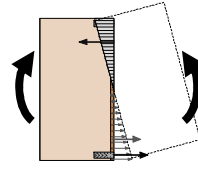


図 5 せん断剛性低減係数の精度

### 曲げ剛性低減係数

$$C_{km} = \left(\frac{L_o}{L_b}\right)^{2.5}$$



$C_{kp}$ : 曲げ剛性低減係数  
 $L_o$ : 有開口時の奥行き  
 $L_b$ : 無開口時の奥行き

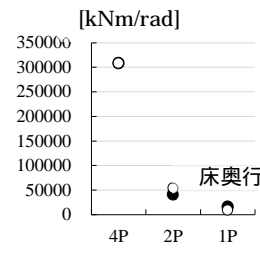


図 6 曲げ剛性低減係数の精度

### 床全体の剛性評価

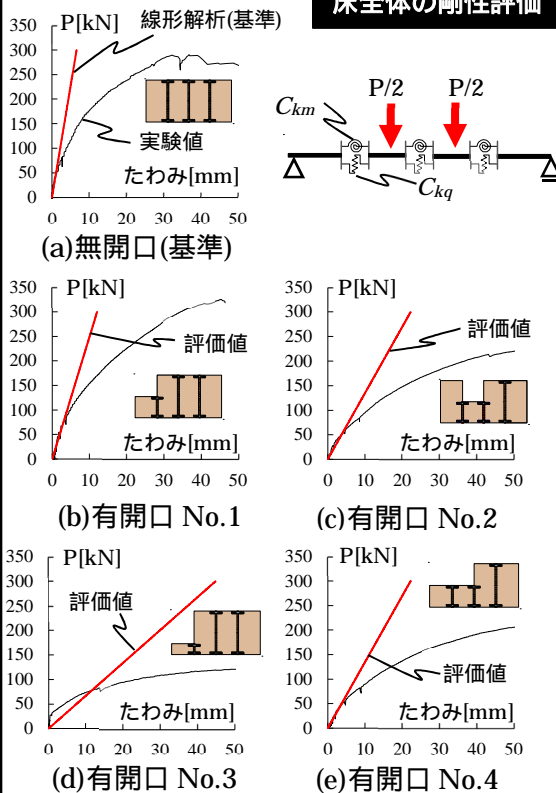


図 7 低減係数を用いた床剛性評価値の精度

### 剛床仮定成立条件の検討

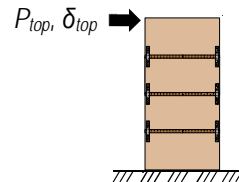


図 8 片持ち形式の例

$$K_0 = \left( \frac{\sum_{i=1}^3 C_{kqi}^{-1}}{K_q} + \frac{\sum_{i=1}^3 C_{kmi}^{-1} \cdot i}{K_r} \right)^{-1}$$

$K_0$ : 有開口 CLT 床構面の剛性(片持ち梁形式)  
 $K_q$ : 無開口時のパネル間せん断剛性  
 $K_r$ : 無開口時のパネル間曲げ剛性  
 $B$ : CLT 幅  
 $i$ : パネル境界面の番号

剛床成立条件

$$K_\theta \leq \frac{16}{9} K_0 B^2$$

$K$ : 建物のねじれ剛性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鈴木 賢人, 野田 康信, 井道 裕史, 宇京 斉一郎, 杉本 健一, 神谷 文夫, 中越 隆道	4. 巻 86
2. 論文標題 CLTパネル相互を帯金物とスプラインで接合した床構面の面内性能に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 457 ~ 467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.457	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鈴木賢人, 藤岡諒太郎, 杉本健一, 坂田弘安
2. 発表標題 CLTパネル間をスプラインと帯金物で緊結した有開口床構面の水平加力実験 その3: CLTパネル相互を繋ぐ接合部のせん断実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤岡諒太郎, 鈴木賢人, 杉本健一, 坂田弘安
2. 発表標題 CLTパネル間をスプラインと帯金物で緊結した有開口床構面の水平加力実験 その4: 解析モデルの精度向上に関する一検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 SUZUKI Kento, NODA Yasunobu, IDO Hirofumi, SUGIMOTO Ken-ichi
2. 発表標題 ANALYSIS MODEL TO PREDICT IN-PLANE PERFORMANCE OF CLT FLOOR COMPOSED WITH METAL PLATE AND SPLINE
3. 学会等名 World Conference on Timber Engineering2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木賢人, 藤岡諒太郎, 杉本健一, 坂田弘安
2. 発表標題 CLTパネル間をスプラインと帯金物で緊結した有開口床構面の水平加力実験 その1: 実験概要と破壊性状
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤岡諒太郎, 鈴木賢人, 杉本健一, 坂田弘安
2. 発表標題 CLTパネル間をスプラインと帯金物で緊結した有開口床構面の水平加力実験 その2: 実験結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木賢人, 野田康信, 井道裕史, 杉本健一
2. 発表標題 CLTパネル間をスプラインと帯金物で緊結した床構面を剛床とみなせる仕様の検討 スプラインの長さ方向と平行に加力した場合
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木直人, 鈴木賢人, 野田康信, 井道裕史, 杉本健一, 坂田弘安
2. 発表標題 構造用合板によりCLTパネル間を接合した床構面の力学モデルおよび面内性能評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------