

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20461

研究課題名（和文）スパーサ付き鋼板挿入型ドリフトピン接合の研究開発

研究課題名（英文）Study on Drift Pin Joints with Steel Plate Insertion using Spacer

研究代表者

福本 晃治（FUKUMOTO, KOJI）

岡山大学・環境生命自然科学学域・特任准教授

研究者番号：50964772

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本論ではドリフトピンをスパーサに通し、周囲の木部への支圧応力を分散することで木部へのめり込みを少なくすると同時に、ドリフトピン周囲に空洞を設けドリフトピンのみを曲げ降伏させることで、履歴吸収エネルギーを獲得する接合方法を考案した。静的加力実験と静的弾塑性解析を実施し、以下の結果が得られた。

(1) スパーサにより、母材厚105mmかつφ12mmのドリフトピン及びボルト接合では履歴性状が改善されたが、変形性能は低下した。(2) ドリフトピン接合における木材の支圧強度の算定式として、大径のスパーサを用いた場合においても繰り返し履歴を含めSawata/Yasumura式の良好な適用性が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ある径まではスパーサによる履歴性状の改善が得られた一方で、全体の径が大きくと木材側の支圧強度が低下し、エネルギー吸収性能の向上が期待できないという結果が得られた。

この性状を構造解析により再現しようとした際、既往のSawata/Yasumura式を適用することで良好な適合性を得られ、更に正負交番繰り返し荷重における履歴形状についても良く再現された。これは、本研究にて提案したスパーサ付きドリフトピン接合のみならず、鋼板挿入型ドリフトピン接合等の曲げ降伏型の接合形式全般に適用が可能と考えられ、再現性の高い構造解析モデルを提示することができ、当初は想定していなかった学術的成果となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, the drift pins were passed through spacers to disperse the bearing stress on the surrounding wood, thereby reducing the penetration into the wood. In this study, static force tests were conducted and a structural analysis model was developed to ensure a good fit. The following results were obtained

(1) The spacer improved the history of drift pin and bolt joints with a base metal thickness of 105 mm and a diameter of 12 mm, but reduced the deformation performance. (2) The Sawata/Yasumura equation for calculating the bearing strength of drift pin joints, including cyclic history, was found to be applicable even when large-diameter spacers were used.

研究分野：木質構造設計学

キーワード：木質構造 ドリフトピン接合 履歴性状 スパーサ 支圧強度式 構造解析モデル

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

昨今、木質構造を用いた建築物の高層化の普及に向けて様々な研究が行われている。木質構造部材においては鋼板挿入型ドリフトピン接合がよく採用されているが、その荷重-変形曲線における履歴形状はスリップ型となり、地震時の履歴吸収エネルギーに乏しいことが課題であった。この課題が解決されれば、例えば、中大規模木造建築の耐震性能の向上に寄与することができ、新たな木材利用の領域を拡大することが期待できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

1. で述べた課題を解決するため、ドリフトピンをスペーサに通し、周囲の木部への支圧応力を分散することで木部へのめり込みを少なくすると同時に、ドリフトピン周囲に空洞を設けドリフトピンのみを曲げ降伏させることで、ドリフトピンによる履歴吸収エネルギーを獲得する接合方法を考案した。

本研究では、スペーサ付き鋼板挿入型ドリフトピン接合におけるエネルギー吸収性能の把握を目的として、静的加力試験を実施した。また、構造解析を行い、試験結果と比較することで適合性の良い構造解析モデルの構築を図った。

3. 研究の方法

本研究では、接合部実験と静的弾塑性解析による検討を実施した。

まず、接合部実験の概要を示す。図 3-1 に試験体図、表 3-1 に試験体一覧を示す。本試験では母材をベイマツ製材 (E110)、側材を鋼板とした 2 面せん断試験を行った。スペーサは SS400 材を用いたドーナツ型であり、孔にドリフトピンを通し、空洞を設けた。一般的なドリフトピン接合に加え、ドリフトピン径及び種類、スペーサ径及び長さ、主材厚の異なる 8 種類の試験体を各 2 体ずつ用意した。加力サイクルは挿入鋼板と木材の相対変位が 2 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm の時点で 2 サイクル繰り返す正負交番加力とした。

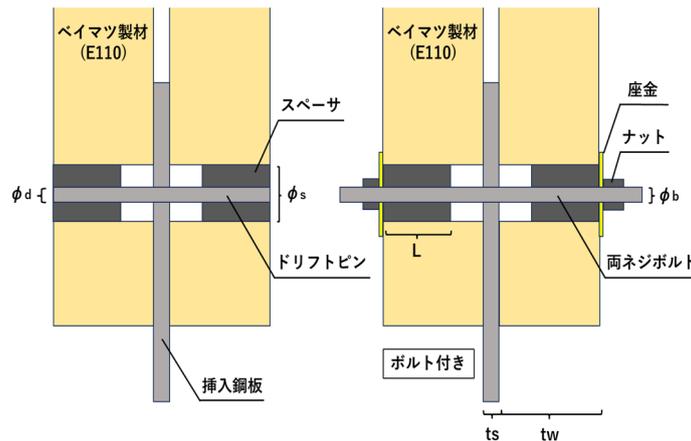


図 3-1 試験体図

表 3-1 試験体一覧

(単位: mm)

| 試験体名 | ドリフトピン径 ϕ_d | ボルト径 ϕ_b | スペーサ径 ϕ_s | スペーサ長さ L | 主材厚 tw | 側材厚 ts |
|--------------|------------------|---------------|----------------|------------|----------|----------|
| D12 | 12 | - | - | - | 105 | 16 |
| D12S50L80 | 12 | - | 50 | 80 | 105 | 16 |
| D12S30L80 | 12 | - | 30 | 80 | 105 | 16 |
| B12S30L80 | - | 12 | 30 | 80 | 105 | 16 |
| B12S30L50t75 | - | 12 | 30 | 50 | 75 | 16 |
| D16 | 16 | - | - | - | 105 | 16 |
| D16S40L70 | 16 | - | 40 | 70 | 105 | 16 |
| D16S60L80 | 16 | - | 60 | 80 | 105 | 16 |

次に、解析方法について示す。図 3-2 に試験体の構造解析モデルを示す。ドリフトピンとスペーサは線材でモデル化を行った。各要素には材料試験結果から得られた材料特性を与え、静的弾塑性解析を行った。

スペーサと木材との支圧については等間隔のバネ要素で表現し、バネの非線形特性として木材の支圧耐力と支圧剛性を設定した。ここで、木材の支圧強度については支圧強度式がいくつか提案されているが、試験結果から接合具の径により支圧強度が変化することが推察されたため、支

圧強度式として Eurocodes5 式 1) または Sawata/Yasumura 式²⁾の採用を検討した。木材の支圧剛性については、木材のめり込み剛性評価式³⁾⁴⁾から設定した。

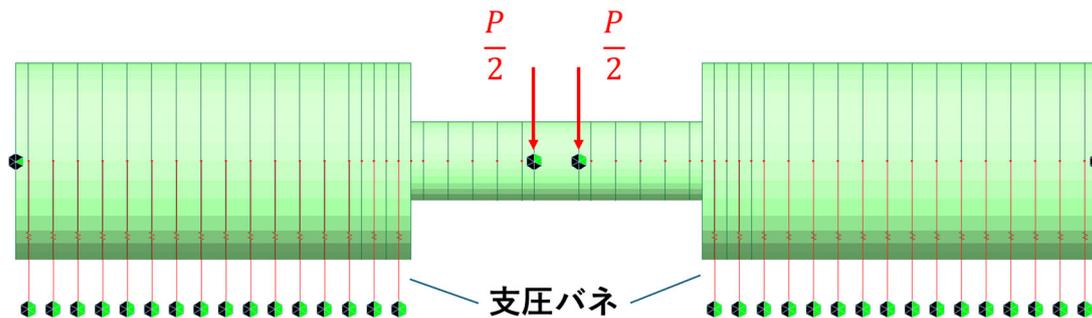


図 3-2 構造解析モデル

4. 研究成果

図 4-1 に試験結果と解析結果を比較した荷重-変形関係の代表例を、写真 4-1 に試験終了後の破壊性状を示す。ただし、ここで示している予測解析における支圧耐力については、試験結果とより整合した Sawata/Yasumura 式の結果を示す。

$$F_{e0} = 90.7(1 - 0.00653 \cdot \phi) \cdot r$$

$$P_y = F_{e0} \cdot A_e$$

$$k_0 = E_0 \cdot A_e / (31.6 + 10.9 \cdot \phi)$$

記号

F_{e0} : 木材の繊維方向の基準支圧強度 (N/mm²)

k_0 : バネの支圧剛性(N/mm)

ϕ : 木材を支圧する接合具径 (mm)

r : 木材の基準比重

P_y : 木材の支圧耐力 (N)

A_e : 単位支圧バネの荷重負担面積 (mm²)

$\phi=12\text{mm}$ のドリフトピン及びボルトを使用した試験体の接合具の降伏モードは全てIVとなり、 $\phi=16\text{mm}$ のドリフトピンを使用した試験体の接合具の降伏モードは全てIIIとなった。また、一般的な接合方法では履歴特性がスリップ型になるのに対し、主材厚 105mm かつ $\phi=12\text{mm}$ のドリフトピン及びボルト接合の試験体ではスペーサを用いたことにより履歴性状が紡錘型となり、同変位においては履歴性状が改善されたが、変形性能は低下した。そして、Sawata/Yasumura 式によって木材の支圧耐力を評価した場合、大径のスペーサを用いた場合においても繰返し履歴を含め試験結果と解析結果が概ね一致した。

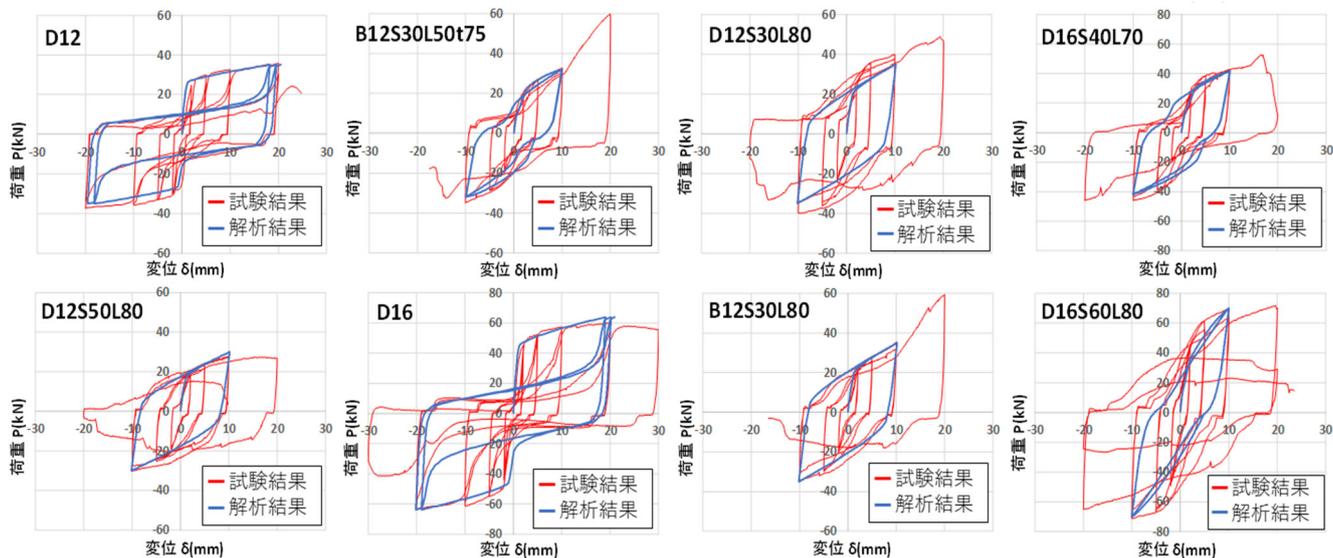


図 4-1 試験結果一覧

次に、本研究のドリフトピン接合におけるエネルギー吸収性能を把握するために、図 4-2 に試験結果と解析結果における等価粘性減定数の比較を示す。比較結果から、変位 10mm において主材厚 105mm かつ $\phi=12\text{mm}$ のドリフトピン及びボルト接合の試験体では一般的なドリフトピン接合に対し、等価粘性減衰乗数が 1.4 倍程度となった。一方で、 $\phi=16\text{mm}$ のドリフトピンを使用した試験体では、 $\phi=12\text{mm}$ のドリフトピン及びボルト接合の試験体と比較して大きな改善は見られなかった。

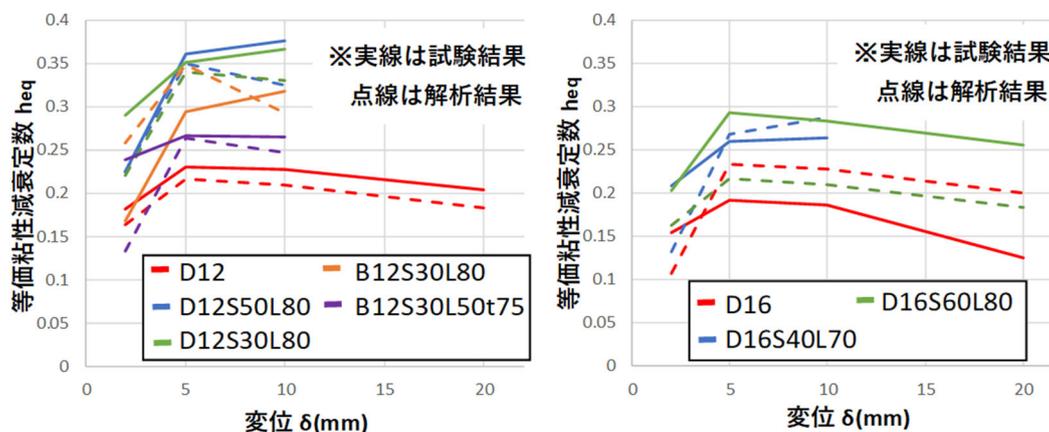


図 4-2 各試験体の荷重-変形曲線の比較

以上の実験及び解析結果より、得られた知見をまとめると以下の 2 点となる。

- (1) スペーサを用いたことにより、母材厚 105mm かつ $\phi=12\text{mm}$ のドリフトピン及びボルト接合では履歴性状が改善されたが、変形性能は低下した。
- (2) ドリフトピン接合における木材の支圧強度の算定式として、大径のスペーサを用いた場合においても繰り返し履歴を含め Sawata/Yasumura 式の良い適用性が確認された。

ある径まではスペーサによる履歴性状の改善が得られた一方で、全体の径が大きくと木材側の支圧強度が低下し、エネルギー吸収性能の向上が期待できず、やや期待を下回る結果となった。

しかし、この性状を構造解析により再現しようとした際、既往の Sawata/Yasumura 式を適用することで良好な適合性を得られ、更に正負交番繰り返し荷重における履歴形状についても良く再現された。これは、本研究にて提案したスペーサ付きドリフトピン接合のみならず、鋼板挿入型ドリフトピン接合等の曲げ降伏型の接合形式全般に適用が可能と考えられ、再現性の高い構造解析モデルを提示することができた。本研究で直径の大きく異なる接合具を用いたことで、当初は想定していなかった学術的成果となった。

【参考文献】

- 1) EN 1995-1-1 : 2004 Eurocode 5, Design of timber structures Part 1-1, 2004
- 2) Sawata K, Yasumura M : Determination of embedding strength of wood for dowel-type fasteners, J Wood Sci. 48 : pp. 138-146, 2002
- 3) 平井卓郎ほか：側材に木材を用いたボルト接合部の剪断耐力-荷重が材軸方向に作用する場合、木材学会誌, 28(11), pp. 695-698, 1982
- 4) 小松幸平：集成材骨組構造の解析 (第 2 報), 木材学会誌, 35(3), pp. 201-211, 1989

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 木下 諒, 福本 晃治 |
| 2. 発表標題 スペーサ付き鋼板挿入型ドリフトピン接合に関する研究 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会 |
| 4. 発表年 2024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 |
|---------|---------|
|---------|---------|