

## 異種接合具を併用した接合部の耐力推定手法

戸田 正彦, 富高 亮介

### Estimation method for strength of timber joint combined with different types of fasteners.

Masahiko TODA, Ryosuke TOMITAKA

Keywords : yield strength, ultimate strength, nail, bolt, lag-screw  
降伏耐力, 終局耐力, 釘, ボルト, ラグスクリュー

本研究では, 異なる種類の接合具を同時に用いた接合部を合理的に設計することを目的として, 釘, ボルト, ラグスクリューを用いた接合部の加力実験を行うとともに, 性能推定手法について検討を行った。その結果, 個々の接合具での荷重－すべり曲線を加算することによって, 併用時の挙動を推定することが可能であり, また鋼板先穴のクリアランスに依存する初期すべりも考慮することで, より精度よく推定することが可能であった。また, 個々の接合具の荷重変位曲線が完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線で示されている場合に, それらを併用した場合の降伏耐力を推定する手法を検討した。

#### 1. はじめに

現在の木質構造における接合部の設計法では, 釘とボルトを組み合わせるなどの異種接合具を併用する場合には, 許容耐力を単純に加算することができない。これは, 許容耐力を発揮するときの変位が接合具の種類ごとに異なるためである。本研究では, このような異種接合具を併用した場合の変形挙動を加力試験によって把握し, 降伏耐力を推定する手法について検討した。なお本報告の概要は, 日本建築学会大会 (九州, 2016年8月) で発表した<sup>2)</sup>。

#### 2. 試験体および試験方法

##### 2.1 試験体

試験体は105×105mm角のスギ製材 (平均比重0.35) に, 厚さ6mmの鋼板を釘 (CN90, 先穴4.5mm), ボルト (M12, 鋼板・木材とも先穴13mm), ラグスクリュー (LS12-110, 鋼板先穴13mm, 木材下穴は12mmと8mmの2段穴) を用いて一面せん断で抵抗させる接合部モデルである。単独仕様は各接合具を1本ずつ, 併用仕様は1本のボルトまたラグスクリューの周囲に5本の釘を配置している。なお, ボルトとラグスクリューでは, 鋼板と木材に加工した先穴の径と接合具径との差により初期

すべりが発生するが, 単独仕様の場合は初期すべりが生じないように接触させて配置し, 併用仕様では初期位置をコントロールせずに配置した。試験体数は釘, ボルトの単独仕様および併用仕様がそれぞれ16体, ラグスクリューの単独仕様および釘との併用仕様が各9体である。なお単独仕様および併用仕様の試験体は, 1本の製材からマッチングさせて製作した。

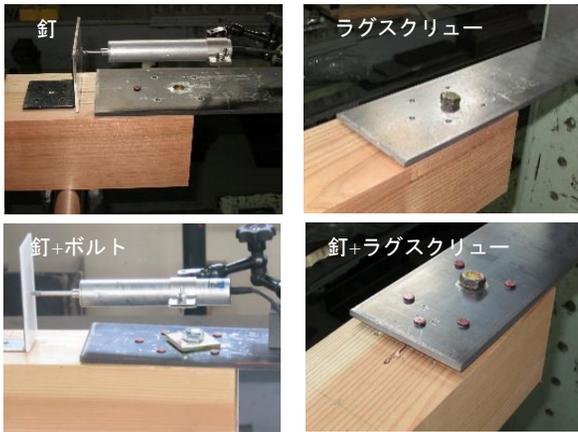
##### 2.2 試験方法

加力試験は毎分10mmの速度で単調に引張加力を行い, 最大荷重の80%に低下するか, すべりが25mmを超えるまで実施した。試験実施状況の例を第1図に示す。

#### 3. 結果と考察

##### 3.1 荷重－すべりの関係

例として, 実験で得られた釘－ボルト併用仕様の荷重－すべり曲線 (以下, 実験曲線) を第2図に示す。またマッチングした試験体での釘の単独仕様での曲線, およびこれをY軸方向に5倍することによって作成した釘を5本用いた場合の曲線 (図中の①), さらにボルト単独仕様での曲線 (同②), ①と②をY軸方向に加算した曲線 (以下, 加算曲線)



第1図 試験の様子

を併せて第2図に示す。

併用時の実験曲線と加算曲線とを比較すると、大まかな形状は一致している。しかし、実験曲線は加算曲線よりも初期の変形が大きくなる傾向が認められた。そこで、第2図のボルトの単独仕様の曲線を初期すべりに相当する変位（ここでは2mm）だけシフトさせた補正曲線を用いて再度加算した結果（第3図）、実験曲線と加算曲線はほぼ一致した。このことから、実験曲線と加算曲線のずれは、初期すべりが要因と考えられ、初期すべりを適切に設定することによって変形挙動の推定精度を向上させることが可能であると考えられる。

実験曲線と加算曲線それぞれについて、最大荷重の10, 40, 90%の点を用いる方法で降伏耐力および降伏変位を算出して比較した結果を第1表に示す。全体的に、ラグスクリュー併用仕様よりボルト併用仕様のほうが、先穴径と接合具径の差が大きいため、

第1表 降伏耐力・降伏変位の実験値と計算値の比較

		釘5本	釘5本
		+ボルト1本	+ラグスクリュー1本
降伏耐力の	平均	0.94	0.99
実験値/計算値	変動係数	0.17	0.06
降伏変位の	平均	1.43	1.40
実験値/計算値	変動係数	0.46	0.19

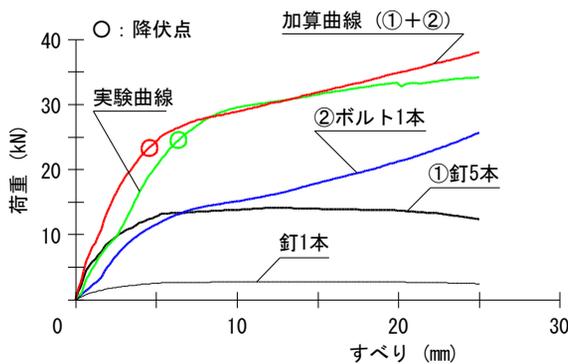
ばらつきも大きかった。また両者とも降伏耐力の比は1.0に近かったのに対して降伏変位の比は1.4と大きかったことから、初期すべりは降伏耐力よりも初期剛性に大きく影響を及ぼすと考えられる。

このように、個々の接合具の変形や破壊が他の接合具の挙動に影響を及ぼさなければ、個々の荷重-すべり曲線を加算することによって、それらを併用した場合の挙動を推定し、降伏耐力を推定することが可能である。

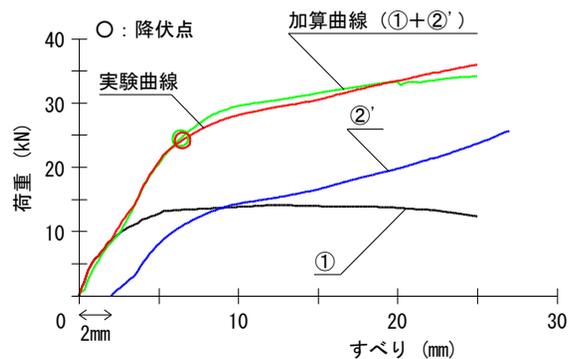
### 3.2 バイリニア曲線に基づく加算曲線の評価方法

一般に実験で得られた荷重-すべり曲線は、完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線で表すことができる<sup>3)</sup>。したがって個々の接合具でのバイリニア曲線を加算することによっても、併用した接合部の変形挙動を表すことが可能である。しかし加算した曲線はトリリニアとなり、直接的に併用接合部の荷重-すべり曲線を完全弾塑性モデル化する場合とは異なる評価となることが懸念される。

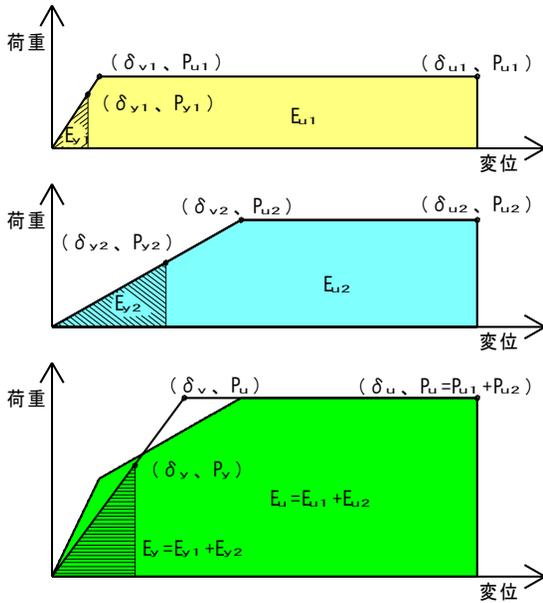
そこで、併用した場合の終局耐力は、個々の終局耐力を加算したものに一致し、かつエネルギーも加算されると仮定することによって、併用時のトリリニア曲線を完全弾塑性バイリニア曲線に変換する方法について検討を行った。



第2図 釘・ボルトの単独仕様・併用仕様での荷重-すべりの実験曲線および推定曲線



第3図 初期すべりを補正した場合の加算曲線



第4図 バイリニア曲線の加算と降伏点の算出方法

例として、2種類の接合具を1本ずつ併用した場合について示す（第4図）。

接合具1での降伏点変位 $\delta_{v1}$ 、終局変位 $\delta_{u1}$ 、終局耐力 $P_{u1}$ とすると、終局変位に至るまでのエネルギー $E_{u1}$ は式（1）で表される。

$$E_{u1} = P_{u1} (\delta_{u1} - \delta_{v1} / 2) \quad (1)$$

同様に接合具2については式（2）で表される。

$$E_{u2} = P_{u2} (\delta_{u2} - \delta_{v2} / 2) \quad (2)$$

上述の仮定より、併用した場合の終局耐力および終局エネルギーは式（3）（4）で表される。

$$P_u = P_{u1} + P_{u2} \quad (3)$$

$$E_u = E_{u1} + E_{u2} \quad (4)$$

また、終局変位は単独でも併用でも同じ $\delta_u$ であるとみなすと、併用仕様での降伏点変位 $\delta_v$ は式（5）で計算される。

$$\delta_v = (\delta_{v1} P_{u1} + \delta_{v2} P_{u2}) / (P_{u1} + P_{u2}) \quad (5)$$

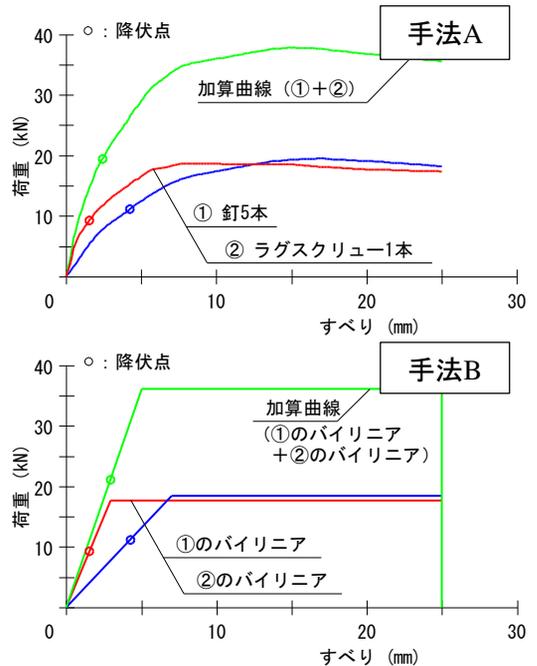
これらの $P_u$ 、 $\delta_v$ 、 $\delta_u$ が求められることによって併用時の変形挙動を表す完全弾塑性バイリニア曲線が決定される。

一方、接合具1、2での降伏に至るまでのエネルギーは式（6）（7）で表される。

$$E_{y1} = \delta_{y1} P_{y1} / 2 \quad (6)$$

$$E_{y2} = \delta_{y2} P_{y2} / 2 \quad (7)$$

ここで、併用時に降伏に至るまでのエネルギーは個々の接合具の降伏に至るまでのエネルギーを加算



第5図 降伏耐力・降伏変位の算出方法

したものに一致すると仮定すると、併用時の降伏耐力および降伏変位は式（8）（9）で求められる。

$$P_y = \{ 2k (E_{y1} + E_{y2}) \}^{1/2} \quad (8)$$

$$\delta_y = P_y / k \quad (9)$$

ここで、 $k = P_u / \delta_v$

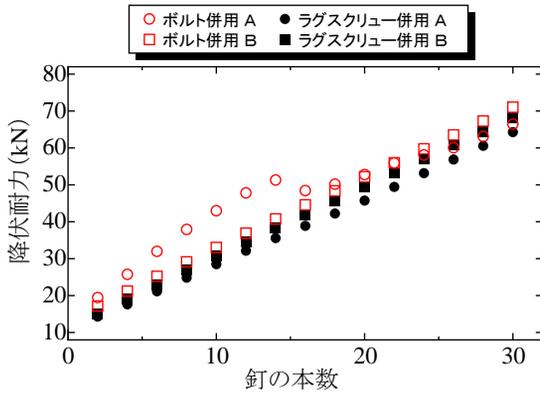
### 3.3 シミュレーションによる検証

前節で導いた降伏耐力・降伏変位を求める手法の妥当性を検証するために、今回の実験で得られたデータを用いて、ボルトまたはラグスクリュー1本に釘を2～30本併用した場合のシミュレーションを行い、以下の二通りで降伏耐力・降伏変位を算出した（第5図）。

A：個々の荷重－すべりの実験曲線を加算した曲線の、最大荷重の10、40、90%の点を用いて降伏点を算出する

B：個々の荷重－すべりの完全弾塑性バイリニア曲線を加算した曲線を再度バイリニア化して降伏エネルギーをもとに降伏点を算出する

手法AとBでの降伏耐力の算定結果を第6図に示す。ラグスクリュー併用の場合は、手法Bが手法Aをわずかに上回っているものの、ほぼ同等な計算値であった。一方、ボルト併用の場合は釘本数が14本までは誤差が増加し、16本から急激に手法Aでの値が変化し、その後は一定の比率に収束している。これは第7図に示すように、最大荷重の90%に相当する



第6図 算出方法の違いによる降伏耐力の比較

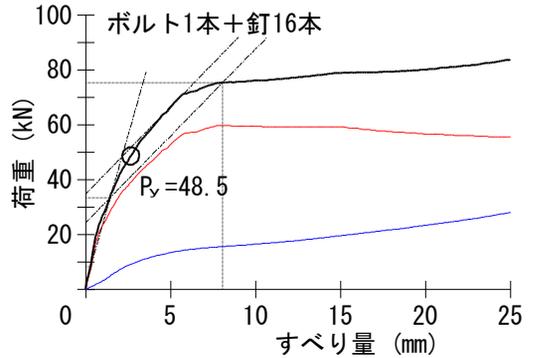
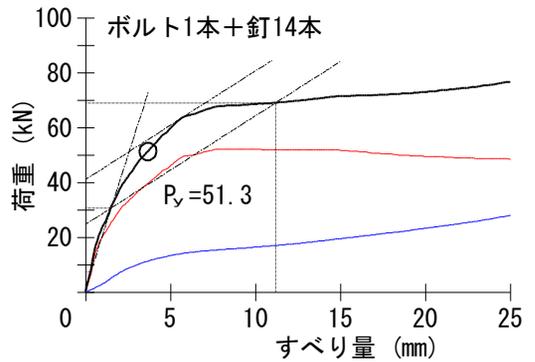
点のすべりが、釘14本と16本とで大きく変化し、降伏耐力の大きが逆転したためである。ボルトの荷重-すべり曲線は、降伏後もロープ効果によって荷重が増加するために第2図のように二次勾配が大きくなり、このため完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線が荷重-すべり曲線を適切に表現しているとは言い難い。したがって手法Bを用いて併用時の降伏耐力を精度よく推定するためには、個々の接合具の変形挙動が適切に完全弾塑性モデル化されている必要がある。

#### 4. おわりに

本研究では、異なる種類の接合具を同時に用いた接合部を合理的に設計することを目的として、釘、ボルト、ラグスクリューを併用した接合部での実験による性能検証および性能推定手法について検討を行った。

その結果、個々の接合具での荷重-すべり曲線を加算することによって、併用時の挙動や降伏耐力を推定することが可能であった。また、鋼板または木材に設けた先穴と接合具とのクリアランスに依存する初期すべりは、併用時の降伏耐力よりも初期剛性に大きく影響を及ぼすことが確認された。

さらに、個々の接合具の荷重-すべり曲線が完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線で示されている場合に、これらを併用した場合は個々の終局耐力およびエネルギーが加算されると仮定することによって、併用時の降伏耐力を推定する式を導いた。シミュレーションによる検証の結果、釘とラグスクリューのように個々のバイリニア曲線が実際の変形挙動を適切に表現している場合は良い一致を示した。



第7図 釘本数による荷重-すべり曲線の変化

しかしボルトのように比較的大きな二次勾配を有する場合には適切な完全弾塑性モデル化が困難であり、このため釘と併用した場合の推定値も誤差が大きくなることが明らかとなった。

今後は、初期すべりや二次勾配を考慮した耐力推定手法についての検討を進めていく計画である。

#### 付 記

本研究は、科学研究費補助金 (H25-27 基盤 (C) 25450248 : 戸田正彦) により実施した。

#### 参考文献

- 1) 戸田正彦, 野田康信, 富高亮介: 異種接合具を併用した接合部の耐力推定手法, 日本建築学会梗概集 (九州) C-1 構造III, 2016, pp.19-20 ( ) .
- 2) 日本建築学会: "木質構造設計規準・同解説一許容応力度・許容耐力設計法-", 日本建築学会, 2006, pp.212-219.
- 3) 日本建築学会: "木質構造基礎理論", 日本建築学会, 2010, pp.9-10.

—性能部 構造・環境グループ—  
(原稿受理: 16.12.14)