

異なる接合金物を併用した接合部の性能評価に関する研究

戸田 正彦, 富高 亮介

Study on the performance estimation of timber joint combined with different types of connectors

Masahiko TODA, Ryosuke TOMITAKA

キーワード: 降伏耐力, 終局耐力, ボルト, 釘, Zマーク金物

Keywords: yield strength, ultimate strength, bolt, nail, Z-marked connector

本研究では, 異なる種類の接合金物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, 山形プレートおよび羽子板ボルトを取り付け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, 個々の接合金物での荷重-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った。また, 個々の接合金物の変形挙動が完全弾塑性モデル化され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した結果, 実験結果とおおむね一致することを明らかにした。

1. はじめに

平成22年に公共建築物等木材利用促進法が施行されてから10年が経過し, 木造化の動きが活発になっている。しかし林野庁の試算によると, 令和元年度の低層の公共建築物に限ってみても木造の占める割合は全国で28.5%, 北海道でも34.1%に留まっている¹⁾。その理由としてコストや材料調達に関する情報の不足が挙げられる。特に中大規模な構造を実現するために特殊な金物を製作することは建設コストや工期に影響を及ぼすことから, 一般の住宅で使用されている金物や接合具を組み合わせた接合部設計が木造化推進には有効と考えられる。しかし異なる種類の金物や接合具を併用した場合の耐力評価式は確立されておらず, このため実験による性能確認が必要となるが, 試験に要する費用や時間が障害となり実用化に至らないケースもある。このような現状を踏まえ, 林産試験場では異なる接合具を併用した接合部に関する研究に取り組み, 併用時の剛性や耐力を個々の接合性能から推定する手法について検討している。しかし対象とした仕様は限定的であること, また初期クリアランスによって性能がばらつくことが

既往の研究でも示されていることから, 有効な評価手法を提案するためにはさらに実験データを拡充することが必要である。

本研究では, 中大規模な木質構造物の接合部を一般的な金物や接合具を用いて平易に設計できるようにするため, 異なる接合金物を併用した接合部の変形挙動を推定し適切に評価する手法について検討した。

2. 試験体および試験方法

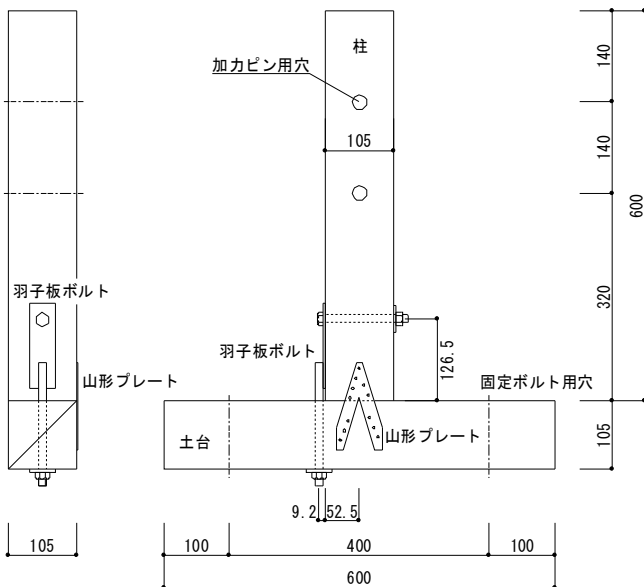
2.1 試験体

試験体は105mm角の柱と土台(スギ製材, 平均比重0.35)に, Zマーク金物である山形プレート(記号VP2, 厚さ3.2mm, 釘ZN65, 12本, 短期許容耐力4.08kN)および羽子板ボルト(同SB-E2, ボルトM12, 1本, 座金厚さ4.5mm, 40mm角, 同5.0kN)を所定のボルトや釘で固定したものである。ボルトについては木材側に直径13mmの穴を明け, トルクレンチを用いて5N/mのトルクで締め付けた。試験体は金物をどちらか一方のみ取り付けたものと, 両方併せて取り付けたものの計3条件であり, 試験体数は各6である。主材は比重によるばらつき

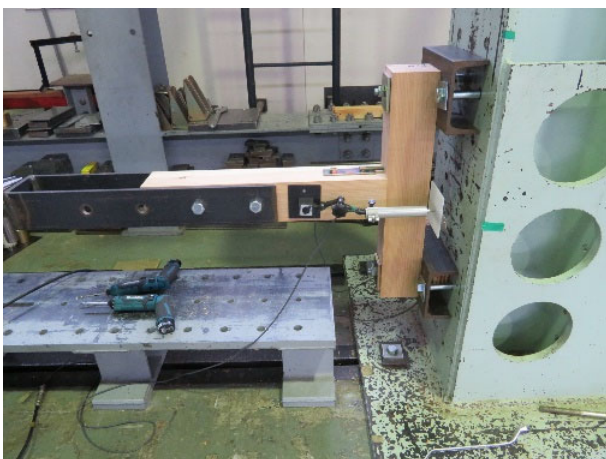
が生じないように予めマッチングして割り当てた。なお柱と土台にはほぞ加工はせず、突き付けた状態で各金物を取り付けた。試験体の仕様（併用の場合）を第1図に示す。

2.2 試験方法

加力試験は、繰り返し荷重試験機（(株)岩崎製）を用いて行い、荷重と変位はそれぞれロードセル（容量200kN）およびひずみゲージ式変位計（最大ストローク50mm）を用いて計測した。加力速度は毎分10mmとし、一方向繰り返し方式によって最大荷重の80%に低下するか、すべり量が30mmを超えるまで実施した。繰り返し設定変位は0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16mm, 各1回とした。試験実施状況の例を第2図に示す。



第1図 併用仕様の試験体（単位：mm）



第2図 試験実施状況

3. 結果と考察

3.1 破壊性状と荷重—すべり量の関係

各仕様での代表的な破壊性状を第3図に示す。また荷重—すべりの関係曲線（包絡処理後）を第4図に示す。

山形プレート仕様では、釘の曲げによって変形が進行し、変位が10mm程度で最大荷重に達した。その後、土台材の横引張破壊、土台からの釘の引き抜け、金物の面外への曲げを生じていくことによって変形が進行し、荷重が低下していった。

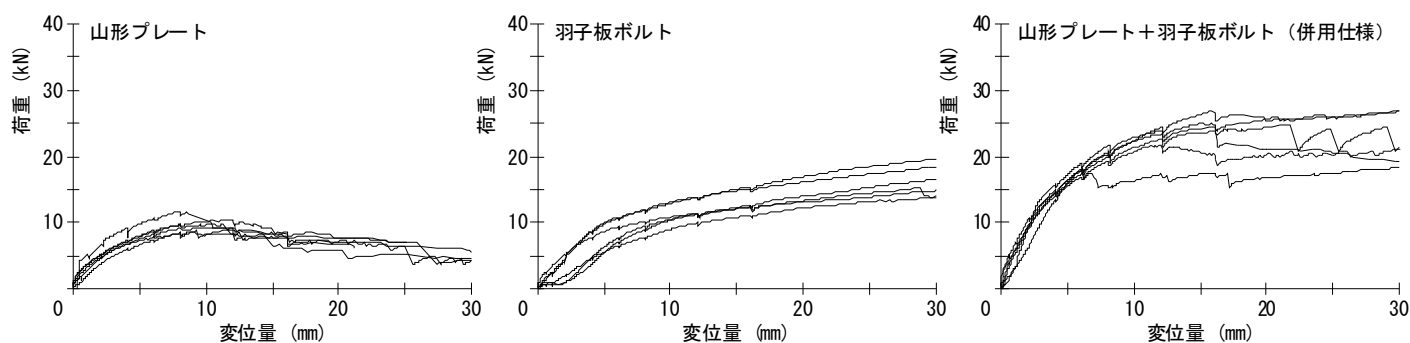
羽子板ボルト仕様では、金物と柱とのボルト接合部のせん断変形（ボルトの曲げ、めり込み）が発生した後、土台底面に座金がめり込むことによって変形が進行したが、荷重は緩やかに増加し続けたため、明確な荷重低下は認められなかった。

併用仕様では、単独仕様での破壊性状がそのまま発生し、相互に破壊の進展に影響を及ぼすことは認められなかった。

降伏耐力等について、変形が25mmまでのデータを用いて最大荷重の10, 40, 90%の点を用いる方法²⁾で求め、併せて95%下限値を算出した結果を第1表に示す。なお羽子板ボルトの荷重変形曲線を見ると、荷重が1kNに達しない段階で変形が2mm程度まで進行した試験体があった。これは、柱と土台とにほぞを設けずに突き付けた状態であるため、加力軸とボルト軸のずれに起因する偏心によって柱が平行にず



第3図 破壊性状



第4図 荷重-変形曲線（包絡処理後）

第1表 試験結果

仕様		最大耐力 (kN)	降伏耐力 (kN)	降伏変位 (mm)	終局耐力 (kN)	終局変位 (mm)	初期剛性 (kN/mm)	塑性率 (-)
山形プレート	平均	9.81	5.16	2.17	8.74	16.37	2.48	0.36
	変動係数	0.11	0.08	0.20	0.11	0.23	0.26	0.10
	下限値	7.24	4.19	-	6.52	-	-	-
羽子板ボルト	平均	15.42	8.78	6.12	13.16	25.00	1.52	0.47
	変動係数	0.13	0.11	0.24	0.12	0.00	0.30	0.14
	下限値	10.58	6.49	-	9.49	-	-	-
山形プレート +羽子板ボルト (併用仕様)	平均	23.49	13.23	3.38	21.47	25.00	4.00	0.35
	変動係数	0.15	0.16	0.27	0.14	0.00	0.10	0.13
	下限値	15.46	8.23	-	14.63	-	-	-

れてしまった影響と考えられる。ただし降伏耐力は最大荷重の10%以上のデータを用いて算出されるため、この初期すべりの影響は生じない。一方、初期剛性は原点と降伏点を結ぶ直線の傾きとして計算するため、この初期すべりによって低く評価されており、他の仕様と比べるとばらつきは大きくなっている。

一般に接合部の短期許容耐力は、降伏耐力または最大耐力の2/3のそれぞれの下限値のいずれか小さい方として決定される。本試験では3仕様とも降伏耐力によって決定されており、山形プレートおよび羽子板ボルトについてはいずれも公表値を上回っていることが確認された。

3.2 併用接合部の性能推定

一般に、異なる接合金物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金物の種類ごとに異なるためである³⁾。

筆者らはこれまで釘やボルトなどの異なる種類の接合具を併用した鋼板添え板接合部の変形挙動及び

降伏耐力についての研究を行い、複数の接合具を同時に使用した接合部の変形挙動は、各接合具を単独で使用した接合部の荷重変形曲線を加算することで推定可能であることを明らかにした。さらに、併用時の降伏耐力を、各仕様での降伏耐力と終局耐力、初期剛性に基づいて完全弾塑性化したモデル曲線を用いて、後述するような方法によって推定可能であることを示した⁴⁾。

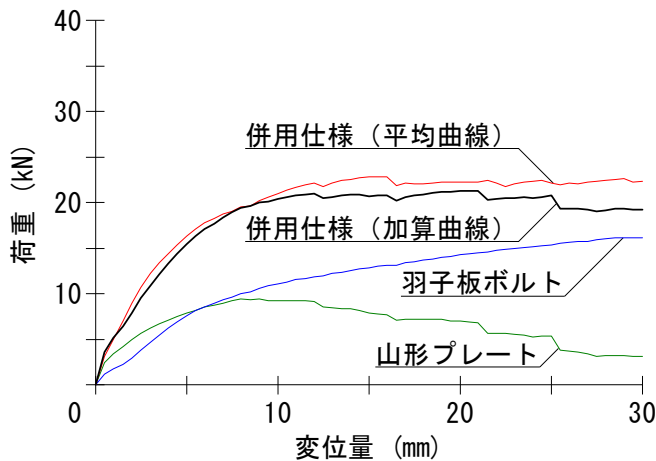
この推定方法は、接合金物にも適用可能であると考えられる。すなわち異なる種類の金物を併用した場合の変形挙動は、互いの変形や破壊に影響を及ぼさなければ、それぞれの金物を単独で使用した場合の変形曲線を加算することによって推定可能であり、降伏耐力等も同様に推定可能である。

そこで、本試験結果について、単独仕様での各6体の試験データを用いて変位0.1mmごとに荷重を平均することによって平均曲線を作成し、これらを加算することによって併用時の変形挙動を推定するとともに降伏耐力の算出を試みた。

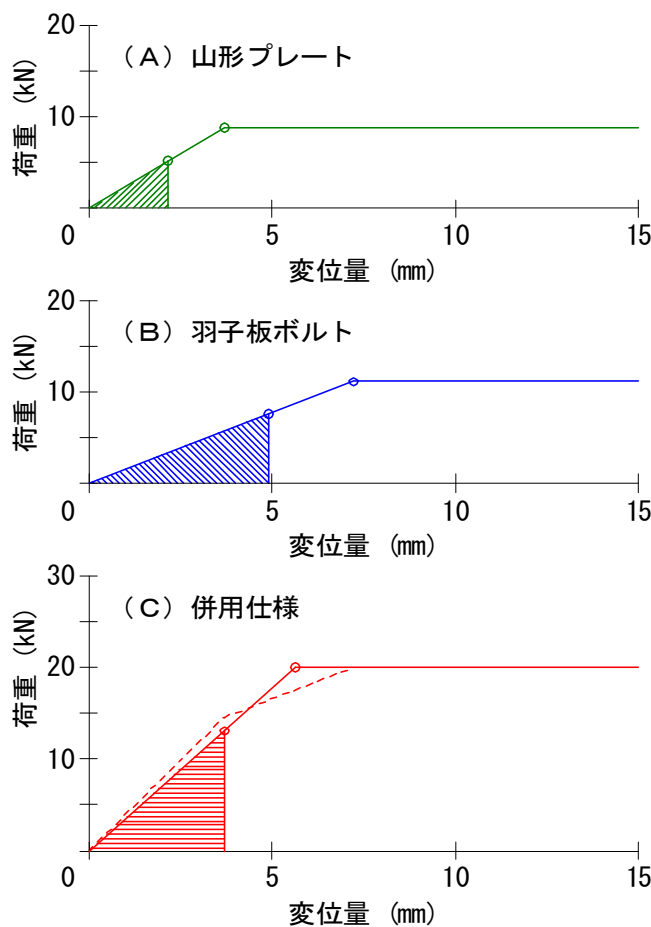
各仕様の平均曲線およびそれらを加算した曲線を

第5図に示す。上述のとおり、併用仕様の平均曲線は加算したものとおおむね一致している。

続いて降伏耐力の算定に関しては、まず第6図に示すように各仕様での降伏耐力や降伏変位、終局耐力を用いて完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線を作成し、これをY軸に関して加算することによ



第5図 平均曲線と加算曲線の比較



第6図 実験平均値に基づくバイリニア曲線と降伏エネルギーを用いた降伏点の導出

て併用仕様での変形挙動をトリリニア曲線として示した (C) の破線)。またその終局耐力が、個々仮定することによって、変形曲線のバイリニア化を行った (同実線)。さらに、併用した場合の降伏に至るまでのエネルギーは、個々の接合具での降伏エネルギーを加算したものに一致すると仮定することによって、降伏エネルギーが等価になるような点を完全弾塑性モデルの降伏点として算出した。その結果、第2表に示すように、実験値と推定値はおおむね一致した。このように、これまで示してきた推定手法により、荷重変形の関係が精緻に得られていなくとも、降伏耐力と降伏変位、終局耐力が与えられれば、異種金物を併用した場合の降伏耐力推定が可能であると考えられる。

第2表 各種性能値の実験値と推定値の比較

仕様		降伏耐力	降伏変位	終局耐力	降伏点変位	初期剛性
		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN/mm)
山形プレート	実験値	5.16	2.17	8.74	3.65	2.38
羽子板ボルト	実験値	8.78	6.12	13.16	9.16	1.44
山形プレート +羽子板ボルト (併用仕様)	実験値	13.23	3.38	21.47	5.47	3.91
	推定値	14.29	4.54	21.90	6.96	3.15

4 おわりに

本研究では、異なる種類の接合金物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、山形プレートと羽子板ボルト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、これまで接合具を対象に提案してきた方法を金物にも適用することによって、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。ただし一般に流通している接合金物は設計用の許容耐力は明示されているものの、剛性についての指標値は示されていないことが多い。このような金物を併用する際に本推定手法を適用するためには、実験により各金物の剛性を把握するか、もしくは使用されている接合具の仕様をもとに剛性を理論的に計算して推定する必要がある。このように、これまで木質構造の設計や解析では接合部をピン接合として設定することが多かったが、より正確に性能を把握するためには剛性の考慮も必要となる。今後はヤング係数やせん断弾性係数など、木材の変形性能に係る基礎物性と接合性能との関係に関する知見を深める必要があると考える。

文 献

- 1) 林野庁：令和2年度森林・林業白書， p.184 (2021).
- 2) 日本建築学会：“木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－”，日本建築学会， p.371 (2006).
- 3) 日本建築学会：“木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－”，日本建築学会， pp.212-219 (2006).
- 4) 戸田正彦， 富高亮介：異種接合具を併用した接合部の耐力推定手法， 林産試験場報， 545， 51-54 (2017).

－性能部 構造・環境グループ－
(原稿受理：2021.11.5)