

(資料)

伝統的構法を用いた梁・柱接合部のせん断性能評価

中嶋 康

Shear properties of post and beam jointed by traditional timber structure

Yasushi NAKASHIMA

要　　旨

梁材に県産アカマツ材、柱材にスギまたはクリ材を用いた伝統的構法による梁・柱接合部のせん断耐力の発現機構の解明およびせん断耐力の評価を目的として、岩手県沿岸北部の伝統的構法2種類で接合した梁・柱接合部の実大せん断試験を行い、梁受け金物で接合した梁・柱接合部のせん断耐力性能と比較した。その結果、伝統的構法による接合部のせん断は、梁の柱に対するめり込み抵抗と梁の抜けに対する栓のせん断抵抗が影響しており、そのせん断耐力は梁受け金物による接合部の値を下回ることはないことが示された。

キーワード：アカマツ、スギ、クリ、めり込み、梁受け金物

目　　次

1 はじめに	2	3 結果と考察	
2 実験方法		3.1 破壊形態	4
2.1 供試材	2	3.2 荷重 - 変位曲線の比較	5
2.2 伝統的構法による接合部	2	3.3 せん断耐力の比較	6
2.3 梁受け金物による接合部	2	4 おわりに	7
2.4 接合部の樹種条件と試験体数	3	謝辞	7
2.5 せん断試験方法	3	引用文献	7
2.6 解析方法	3		

1. はじめに

岩手県内的人工林はその多くが資源として利用可能な時期を迎えつつあり、適切な森林施業を確実に実施しながら、木材としての持続的な利用促進が求められている。その一環として近年では、木材の地産地消を目的とした地域材による家づくりが注目されている。

地域材による家づくりでは、その地域に古くから根付いた伝統的構法が使われることが多く、その中でも金物等を使わず嵌合により住宅の柱・梁を接合する伝統的構法は、施工後の接合具の露出が無く、審美性に優れていることから、梁桁などの横架材の木組みを意匠的に現す構法として用いられている。

一方、近年の大地震による家屋の倒壊被害を受けて、木造軸組構法住宅の構造材の接合部には、せん断耐力の性能評価が求められるようになり、実際の設計では、接合部のせん断耐力に応じた補強金物の使用が建築基準法で義務付けられている。

伝統的構法による接合部のせん断耐力性能に関する研究は、これまでにも他県で実験²⁾が行われている一方で、地域によって樹種および加工形態が異なるため、共通的な設計手法が確立されるまでに至っておらず、伝統的構法による接合方法を広く普及をするまでの課題となっている。

また、岩手県沿岸北部に多く蓄積されているアカマツ材は、住宅の横架材として使われることが多く、同地域の伝統的構法による梁・柱接合部のせん断性能評価は、アカマツ材の利用促進を図る上で、有益な資料になる。

そこで本研究では、梁材に県産アカマツ材、柱材にスギまたはクリ材を用いた梁・柱の伝統的構法による接合部のせん断耐力の発現機構の解明およびせん断耐力評価を目的として、岩手県沿岸北部で用いられている伝統的構法2種類で接合した梁・柱接合部の実大せん断試験を行い、既報³⁾の梁受け金物による接合部のせん断耐力と比較した。

表-1 梁および柱材の材質

樹種	部位	部材数	密度 kg/m ³	動的ヤング率 kN/mm ²	含水率 %
スギ	柱	28	402(35.4)	5.25(0.63)	12.4(1.26)
クリ	柱	24	679(93.8)	8.06(0.91)	27.4(7.84)
アカマツ	梁	26	487(22.9)	9.45(1.88)	19.9(0.89)

()内は標準偏差を示す。

2. 実験方法

2.1 供試材

表-1に本実験で使用した部材の密度、動的ヤング率、含水率を樹種別に示す。本実験では梁材としてアカマツ、柱材としてスギとクリを用いた。

アカマツとクリは1年間の天然乾燥、スギは最高温度80°Cで人工乾燥を行い、半年間養生した後に柱と梁に加工した。柱の寸法は長さ×幅×高さを690×120×120 (mm) とし、梁の寸法は700×120×240 (mm) とした。

柱と梁の動的ヤング率は、FFTサウンドアナライザー（エーデス機械産業：AD-3524、材の厚さ50mmで設定）を使用して測定した。また、柱と梁の含水率は高周波式木材水分計（エーデス機械産業：DELTA200XL）を使用して測定した。

2.2 伝統的構法による接合部

図-1に本研究で用いた伝統的構法による接合部を示す。接合部の加工は、岩手県久慈市にある久慈高等職業訓練校で行った。

伝統的構法による接合部は梁に加工した二枚の貫を柱に貫通させ鼻栓で固定する仕口（以下、「二枚貫・鼻栓」とする）と、柱に加工したホゾに梁の先端を挿入し、込み栓で固定する仕口（以下、「二枚ホゾ・込み栓」とする）とした。なお、鼻栓および込み栓の樹種はクリ材とした。

2.3 梁受け金物による接合部

図-2に本研究で使用した梁受け金物とドリフトピンおよび梁受け金物による接合部を示す。梁受け金物による接合部（以下、「金物接合」とする）は、（財）日本住宅・木材技術センターが開発したZ梁受け金物（BH-195）を使用した。

図-3に金物接合による梁と柱の接合方法を示す。梁受け金物に柱、梁を取り付ける接合具は、ドリフトピン、角根六角ボルト、座金、六角ナットとし、接合具の仕様等は全て梁受け金物の規格に従った。

表-2 梁および柱材の組み合わせと試験体数

柱の樹種	二枚貫-鼻栓	二枚ホゾ-込み栓	金物接合
スギ	6	5	3
クリ	4	4	4

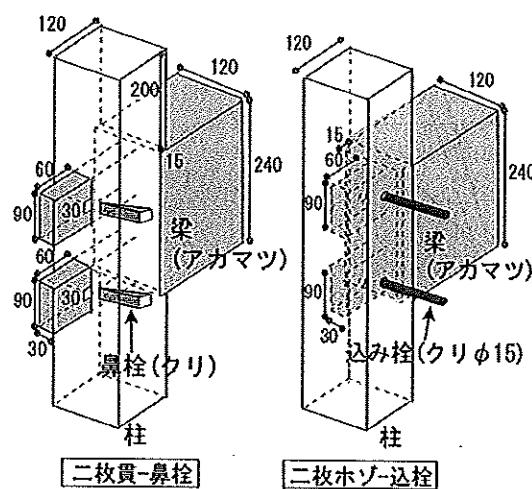


図-1 梁と柱の伝統的構法による接合部

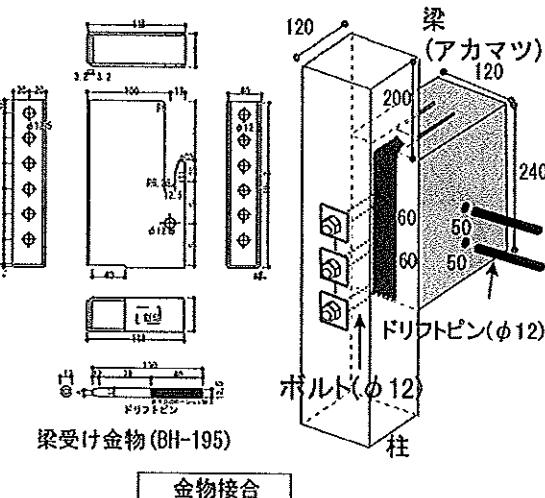


図-2 梁と柱の梁受け金物による接合部

2.4 接合部の樹種条件と試験体数

表-2に接合部の樹種条件別の試験体数を示す。接合部の樹種の組み合わせは、梁をアカマツ、柱をスギまたはクリとした。接合方法は伝統的構法による接合部2種類による接合と梁受け金物による接合とし、1条件あたりの試験体は3~6体とした。

2.5 せん断試験方法

図-4にせん断試験の加力装置と接合試験体の設置方法を示す。加力装置は油圧式加力試験機（前川製作所製：容量1000kN）を使用した。加力は変位速度一定の単調加力（約13mm/min）とし、最大荷重到達後に80%まで低下した時点で終了した。加力時間は平均で6~7分であった。

試験体は、左右の柱の前後4箇所に柱と梁の相対的な変位を測定するための変位計を設置し、これら

の平均値を梁の柱に対する相対変位とした。

変位、荷重データはデータロガー（TDS301：東京測器製）を介してパソコンに収録した。

2.6 解析方法

図-5に接合部のせん断試験による荷重-変位曲線例を示す。本実験では「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」に基づく特徴点抽出と完全弾塑性モデルの自動化ツール¹⁴⁾により、以下の方法で特徴点抽出と完全弾塑性モデルを作成し、接合部のせん断耐力を求めた。

- 1) $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を通る直線（直線I）を引く。
- 2) $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を通る直線（直線II）を引く。
- 3) 直線IIと同じ傾きで曲線に接する直線（直線III）を引く。
- 4) 直線IIIと直線Iの交点を許容応力 (P_y) とする。
- 5) P_y に相当する曲線上の点(IV)と原点を結んだ傾きを剛性 (K) とする(直線V)。
- 6) 荷重が P_{max} の0.8倍まで低下する曲線状の点を通り、縦軸に平行な直線を引く(直線VI)。
- 7) 直線V, x軸, 直線VI, x軸に平行な直線VIIにより囲まれる部分の面積が、荷重-変位曲線とx軸と直線VIとで囲まれる部分の面積と等しくなるように直線VIIの位置を決め、直線VIIとy軸の交点を終局耐力 (P_u) とする。

また、接合部の許容せん断耐力は、降伏耐力または最大荷重×2/3の値について、信頼水準75%における95%下側許容限界を求め、これらのうち小さい方の値とした。

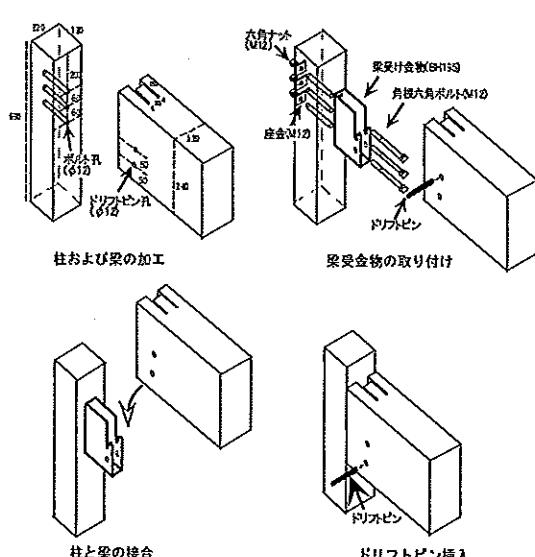


図-3 梁と柱の梁受け金物による接合方法

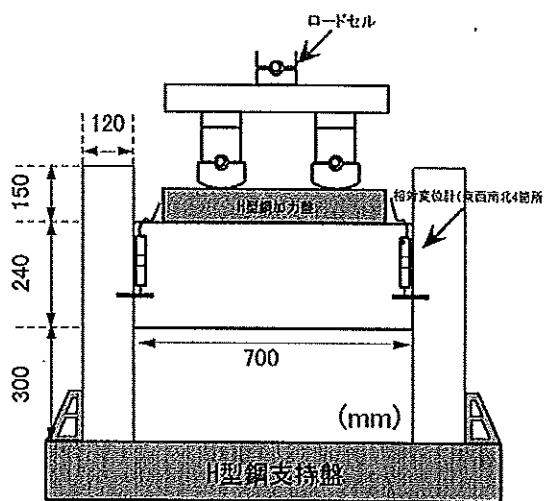


図-4 せん断試験の加力状況

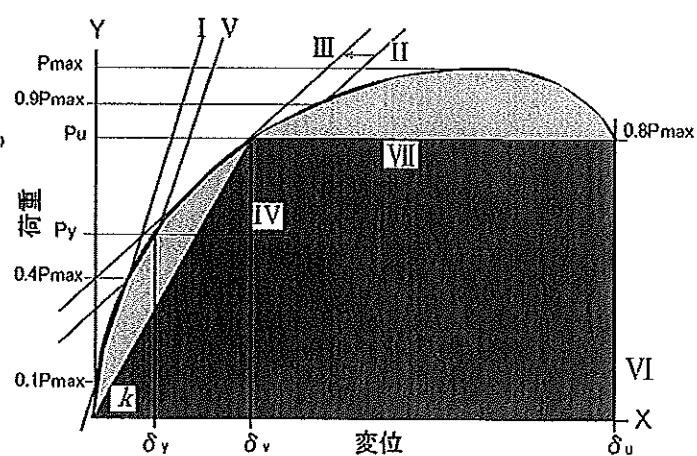


図-5 完全弾塑性モデルによるせん断耐力の評価

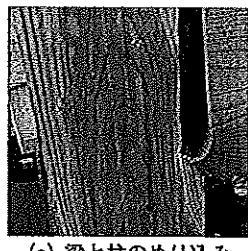
3. 結果と考察

3.1 破壊形態

写真-1に伝統的構法による接合部の破壊形態を示す。伝統的構法による接合部は最大荷重到達後に破壊が確認され、柱に梁がかかる部分（二枚ホゾ込栓では大入れの下側）のめり込み（写真-1a）、梁の下側の割裂（同b）、梁の上側の割裂（同c）、鼻栓および込栓の曲げまたはせん断による変形（同d）が見られた。また、柱がスギの場合、写真-1aに見られるめり込みは、柱と梁の両者に確認されたのに対し、柱がクリの場合は、主に梁側のアカマツに大きく見られた。

写真-2に金物接合の破壊形態を示す。金物接合も伝統的構法による接合部と同様に最大荷重到達後に破壊が観察され、ドリフトピンの梁材へのめり込み（写真-2a）、梁受け金物の下アゴ部分の梁材のめり込み（同b）、梁受け金物の変形（同c）、柱の割裂（同d）が確認された。

上述のとおり、伝統的構法による接合部は金物接合と比較して、せん断破壊で梁の損傷が多く見られていることから、その耐力発現機構は梁の柱に対するめり込み抵抗と梁の抜けに対する栓のせん断抵抗と推定される。一方、金物接合の耐力発現機構はボルトおよび金物の引き抜き抵抗であり³⁾、両者のせん断耐力の発現機構は異なることが示された。



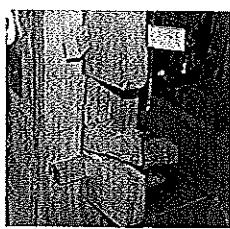
(a) 梁と柱のめり込み



(b) 梁下側の割裂

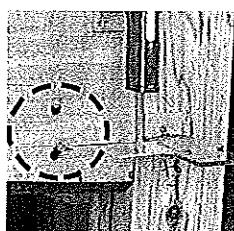


(c) 梁上側の割裂

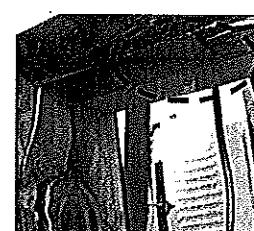


(d) 鼻栓および込栓変形

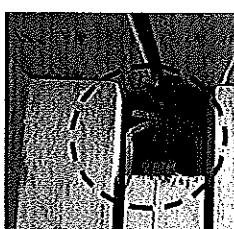
写真-1 伝統的構法による接合部の破壊形態



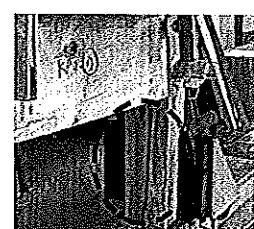
(a) ドリフトピンのめり込み



(b) 梁受け金物下アゴのめり込み



(c) 梁受け金物の変形



(d) 柱の割裂

写真-2 梁受け金物による接合部の破壊形態

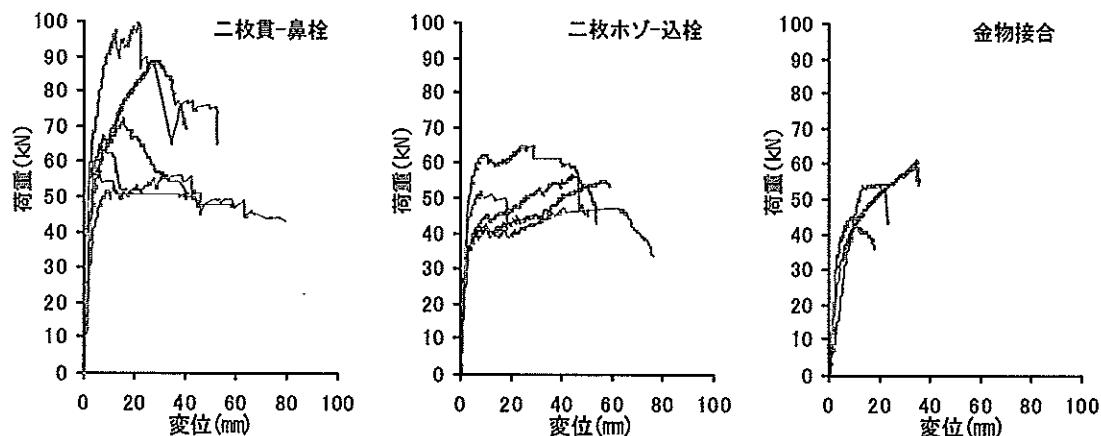


図-6 柱をスギとした場合の接合条件別の荷重一変位曲線

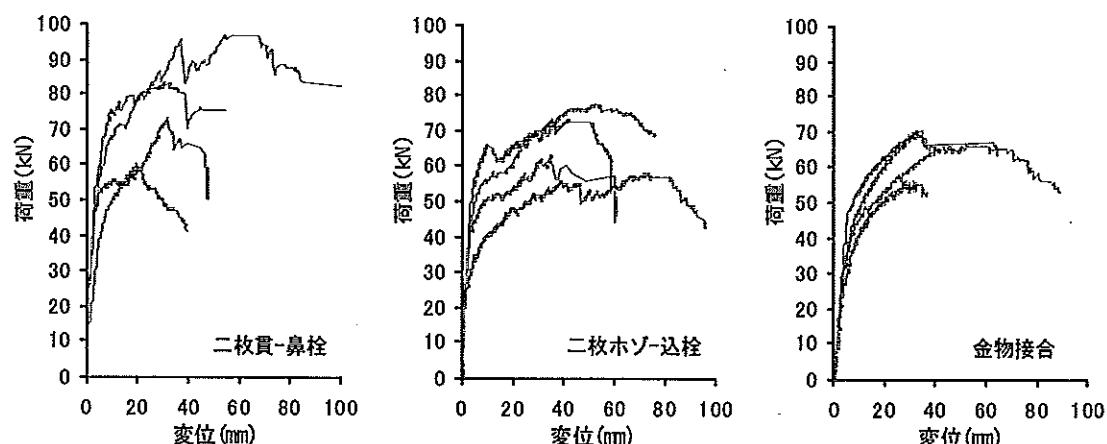


図-7 柱をクリとした場合の接合条件別の荷重一変位曲線

3.2 荷重 - 変位曲線の比較

図-6に柱をスギとした場合の接合部の荷重 - 変位曲線を接合条件別に示す。二枚貫 - 鼻栓の最大荷重は、二枚ホゾ - 込栓および金物接合よりも高くなる傾向が見られた。この原因として、二枚貫 - 鼻栓は梁と柱の接する面積が大きいため、梁の柱に対

するめり込み抵抗が大きくなったことによると考えられる。

また、二枚ホゾ - 込栓と金物接合の荷重 - 変位曲線を比較すると、最大荷重は同程度となった一方で、二枚ホゾ - 込栓の最大荷重点時の変位は、金物

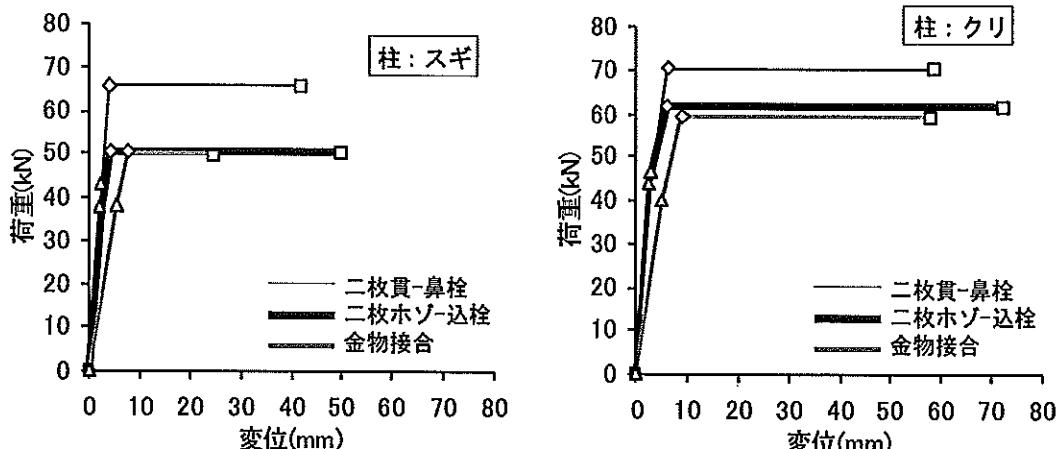


図-8 完全弾塑性モデルによる荷重一変位の比較

$$\Delta; (\delta_y, P_y) \quad \diamond; (\delta_y, P_u) \quad \square; (\delta_u, P_u)$$

表-3 接合部条件別のせん断耐力の比較

柱の樹種	接合の種類	試験体数	P_{max}^* kN	P_y kN	P_u kN	K kN/mm
スギ	二枚貫-鼻栓	6	73.2 (0.24)	42.5 (0.22)	65.6 (0.24)	20.3 (0.53)
	二枚ホゾ-込栓	5	55.2 (0.12)	37.1 (0.07)	50.5 (0.13)	12.8 (0.40)
	金物接合	3	53.8 (0.15)	38.0 (0.21)	49.9 (0.16)	7.3 (0.41)
クリ	二枚貫-鼻栓	4	78.1 (0.20)	45.9 (0.21)	70.1 (0.21)	13.0 (0.40)
	二枚ホゾ-込栓	4	68.0 (0.13)	44.6 (0.19)	61.8 (0.15)	10.6 (0.24)
	金物接合	4	65.6 (0.10)	39.9 (0.14)	59.5 (0.11)	6.6 (0.19)

* P_{max} :最大荷重, P_y :降伏耐力, P_u :終局耐力, K:初期剛性 値はすべて平均値で、()は変動係数を示す。

接合と比較して大きくなる傾向が見られた。

さらに、金物接合では写真-2に示した破壊が発生すると同時に荷重も低下した一方で、伝統的構法による接合部では、写真-1に示した破壊は最大荷重到達後のさらに変位が増大する過程で発生する傾向を示した。

図-7に柱をクリとした場合の、接合部の荷重-変位曲線を接合条件別に示す。柱をスギとした場合と比較して、二枚貫-鼻栓および二枚ホゾ-込栓は最大荷重点時の変位が大きくなる傾向を示した。この原因として、クリはスギと比較して密度が高く、かつ繊維直交方向に放射組織が多く存在し、梁と柱が接する箇所のめり込みに対する抵抗力が大きくなるためと考えられる。

また、金物接合についても柱をスギとした場合よりも、クリとしたほうが最大荷重および最大荷重点変位が大きくなる傾向が見られた。

図-8に(δ_y, P_y), (δ_u, P_u)および(δ_u, P_u)の平均値を結んで得られた完全弾塑性モデルを接合条件別に示す。柱をスギとした場合、二枚貫-鼻栓の直線は二枚ホゾ-込栓および金物接合よりも上側となり、接合部のせん断耐力が高いことが示され

た。また、二枚貫-鼻栓および二枚ホゾ-込栓の終局耐力に至るまでの変位は金物接合と比較して大きく、伝統的構法による接合部は破壊に至るまでの吸収エネルギーが金物接合と比較して大きいと考えられた。

また、柱をクリとした場合、全ての接合部の直線は柱をスギとした場合よりも高くなつた一方で、接合条件間での直線の差異は、柱をスギとした場合と比較して小さくなつた。

3.3 せん断耐力の比較

表-3に接合部のせん断耐力の平均値を示す。柱の樹種によらず、二枚貫-鼻栓のせん断耐力の平均値は、全ての項目において金物接合によるせん断耐力を下回ることはなかった。また、二枚ホゾ-込栓のせん断耐力の平均値も、降伏耐力(P_y)以外では、金物接合によるせん断耐力を下回ることはなかった。

図-9に接合部の許容せん断耐力を、接合条件および柱の樹種別に示す。柱をスギとした場合、二枚貫-鼻栓および二枚ホゾ-込栓の許容せん断耐力は、金物接合の約1.6~2.0倍となり、金物接合のせん断耐力を下回ることはなかった。一方で、柱をクリ

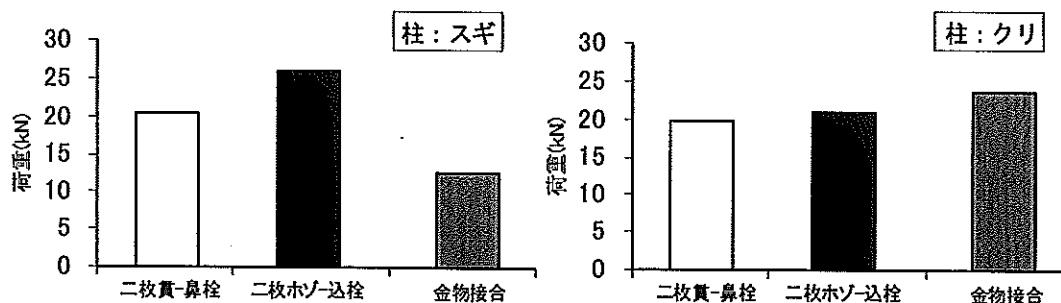


図-9 接合条件別の許容せん断耐力の比較

とした場合、伝統的構法による接合部の許容せん断耐力は、金物接合の約0.8倍となり、金物接合を下回る結果となった。柱がクリの場合で、伝統的構法による接合部の許容せん断耐力が金物接合の値を下回ったのは、表-3に示すとおり、伝統的構法による接合部のせん断耐力のバラツキが、金物接合よりも大きかったことによる。そのため、今後は試験体数を増やし、ばらつきを同程度とした上での比較・検討が必要である。

工法住宅の許容応力度設計（2008年版）：571-572.
財団法人日本住宅・木材技術センター 東京

4 おわりに

梁材に県産アカマツ材、柱材にスギまたはクリ材を用いた伝統的構法による梁・柱接合部のせん断耐力の発現機構の検討およびせん断耐力評価を目的として、岩手県沿岸北部の伝統的構法2種類で接合した梁・柱接合部の実大せん断試験を行い、梁受け金物で接合した梁・柱接合部のせん断耐力性能と比較した。

その結果、伝統的構法による接合部のせん断耐力は梁の柱に対するめり込み抵抗と梁の抜けに対する栓のせん断抵抗が影響しており、そのせん断耐力は梁受け金物による接合部の値を下回ることはないことが示された。

謝辞

本研究は平成24年度県産材高付加価値化生産技術開発事業および南部アカマツ振興センターとの共同研究「200年住宅に対応したアカマツ接合技術の開発」により行われた。本研究を実施するにあたり、供試材の調整と加工は同センターから多大なご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 軽部正彦・原田真樹・林知行（2001）荷重変形曲線のモデル化とその問題点共有のための提案特徴点抽出の自動化ツールについて. 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）：215-216.
- 2) 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構森林研究本部 林産試験場（2012）道産材を用いた伝統的接合部の強度性能評価. 平成23年度林産試験場年報：p 25.
- 3) 中嶋康、東野正、谷内博規、澤口敬志（2009）クリ材を用いた梁受け金物接合部のせん断試験. 木材工業 64 (12) : 624-628.
- 4) 日本住宅・木材技術センター（2008）木造軸組