

楔にばね機構を取り付けた伝統木造軸組柱-貫仕口の提案

Proposal of Nuki-to-Column Joint use of Enhanced Wedge for Japanese Traditional Wooden Frame

伝統木造軸組
ばね機構

柱-貫仕口
実大実験

楔
エネルギー吸収量

正会員 ○藤川 大輝* FUJIKAWA Daiki
同 小野 徹郎** ONO Tetsuro
同 井戸田秀樹*** IDOTA Hideki
同 羽生田善将**** HANYUDA Yoshimasa

1. 序

寺社や神社等の伝統木造軸組は主要な耐震要素の一つとして柱-貫仕口のモーメント抵抗機構を有し、大変形領域まで高い変形性能を持つことが特徴である。しかし、地震などの繰返し荷重時には、進行スリップ型の履歴形状となり、楔の抜け出しを拘束することにより進行を制御することはできるものの¹⁾²⁾、スリップ型の履歴特性自体を改善することは難しい。

本研究は、楔に取り付けたばね機構で楔の位置を制御し、繰返し荷重時にバイリニア型の履歴成分を柱-貫仕口に付与した、より高いエネルギー吸収性能を持つ改良型の柱-貫仕口を提案するものである。また、楔の位置の制御に影響を与える楔の樹種と形状に着目し、それらが柱-貫仕口の繰返し性能に与える影響を実験に基づいて検討する。本稿では、梁の反曲点位置を一定とし、柱-貫仕口部がモーメントのみを負担する十字型試験体及び隣り合う柱の影響を含めて検討できる門型試験体を用いた検討内容について報告する。

2. 改良仕口の提案

提案する改良仕口を図1に示す。楔の木口と貫の上端に鋼製のばね受け具を取り付け、2つのばね受け具の間にばねを挟むことで、仕口が開いたときに楔が入り込む機構とした。使用するばねは、自由長さ：140.0mm、密着長さ：52.5mm、ばね定数：11.67N/mmである。

3. 仕口の基本性能把握のための十字型試験体実験

3.1 実験概要

十字型試験体実験に使用した試験体一覧を表1に示す。柱・貫寸法は実際に社寺建築で用いられる寸法を参考に設計した。柱の樹種はケヤキ、貫の樹種はベイヒバである。十字型試験体実験では楔の樹種や形状等による改良仕口の基本性能を把握することが目的であるため、実験パラメータは貫の形状、楔上端面角度 θ_k 、楔樹種、渡りあご幅、ばね機構の有無とした。貫の形状は通し貫タ

イプと継ぎ手タイプ θ_k は 5° 、 10° 、 15° の3種類、楔樹種はベイヒバとケヤキの2種類、渡りあごの幅は261mm、40mm、0mmを用意した。

図2に十字型試験体の実験装置を示す。十字型試験体を用いた実験装置は、荷重時に貫に軸方向力が作用せずに仕口部がモーメントだけを負担するよう、柱頭と柱脚はメカニカルなピン接合とし、貫両端をピンローラー支点として試験体を支持している。荷重はH型鋼の載荷梁にオイルジャッキを用いて作用させた。

荷重方法は、層間変形角1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/15、1/10radで正負交番各3回の加力を行った。また、1/10radに達しても荷重が80%を下回らなかった場合、1/5radまで単調荷重を行った。

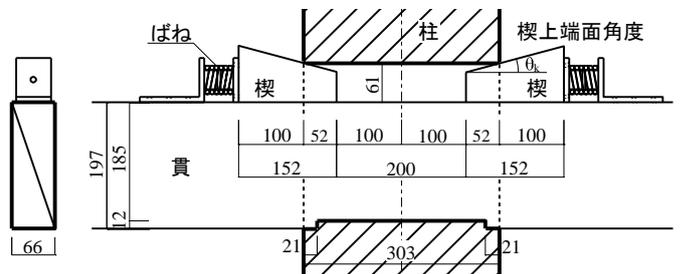


図1 改良仕口

表1 試験体一覧 (十字型試験体)

試験体名	貫形状	楔角度 (°)	楔樹種	ばね定数 (N/mm)	渡りあご幅 (mm)
T5B0-261	通し貫	5	ベイヒバ	11.67	261
T5B12-261					
T10B12-261					
T15B12-261		15	ケヤキ		0
T5K12-261					
T5K12-0					
T5K12-40	5	5	ケヤキ	0	40
S5B0-261					
S5B12-261	11.67				

* 名古屋工業大学大学院 博士前期課程
** 椙山女学園大学 教授・工博 (名古屋工業大学名誉教授)
*** 名古屋工業大学大学院 教授・工博
**** 亀山建設株式会社 専務取締役

Graduate Student, Nagoya Institute of Technology
Prof., Sugiyama Jogakuen Univ, Dr.Eng.
Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr.Eng.
Kameyama Construction

3.2 実験結果

各試験体の荷重変形関係を図3に示す。変形は柱を剛体と仮定し、柱頭の水平変位量を柱支点間長さで除した変形角とした。また、載荷梁の重量によるP- Δ 効果を補正している。

まず、ばね機構のない(a) T5B0-261 とばね機構を有する(b) T5B12-261~(h) S5B12-261 を比較すると、ばね機構が無い(a)は木造接合部特有の進行スリップ型の荷重変形関係であり、原点位置での復元力は繰返し載荷時も全く観察されなかったのに対し、ばね機構がある(b)~(h)はバイリニア型の履歴成分が発生した。

(b) T5B12-261、(c) T10B12-261、(d) T15B12-261 で θ_k の影響を考察すると、 θ_k が大きくなるほど楔位置制御によるバイリニア成分は小さくなる傾向が見られた。これは、 θ_k が小さいと楔が仕口内に入りやすく、繰返し載荷ごとに楔が移動するので楔上端面が均等にめり込むのに対し、 θ_k の大きな楔は最初のめり込みで生じた段差が柱に接触するため仕口内に入りにくく、ほとんど楔位置が制御できないことによる。また、 θ_k が大きいほど最大耐力は上昇した。これは、 θ_k が大きくなるとめり込み時の繊維方向の応力成分が増えるためと考えられる。

楔の樹種の影響については、楔樹種をケヤキとした(e) T10B12-261 で高い耐力が得られたが、変形角 0.08rad 近傍で貫的部分的な折損による耐力低下が観察された。さらに、0.12rad 近傍で写真1のように貫が折損し著しく耐力低下した。

貫の折損の原因として、渡りあご加工による貫下端の欠損が影響していると考え、渡りあごの幅を 0mm とした(f) T5K12-0、40mm とした(g) T5K12-40 の試験体による実験を行った。(e)が 0.8rad 付近で貫が折損したのに対して、(f)、(g)は 0.2rad まで貫の折損が観察されなかった。

貫の形状を継ぎ手仕口とした(h) S5B12-261 は、(b)と同様にバイリニア型の履歴成分が発生したが、0.15rad 付近で貫の折損により耐力が顕著に低下した。柱内部で継ぎ手加工を施してあるため、貫下端が引張力を受けたことが折損の原因と考えられる。

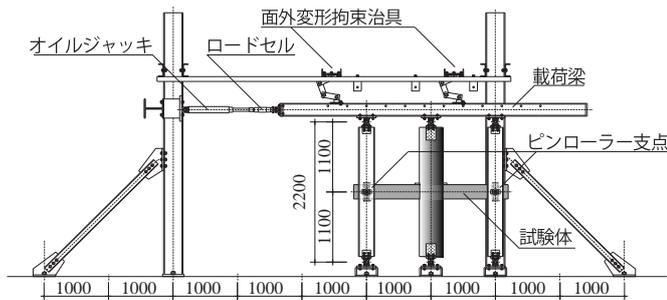


図2 実験装置(十字型試験体)

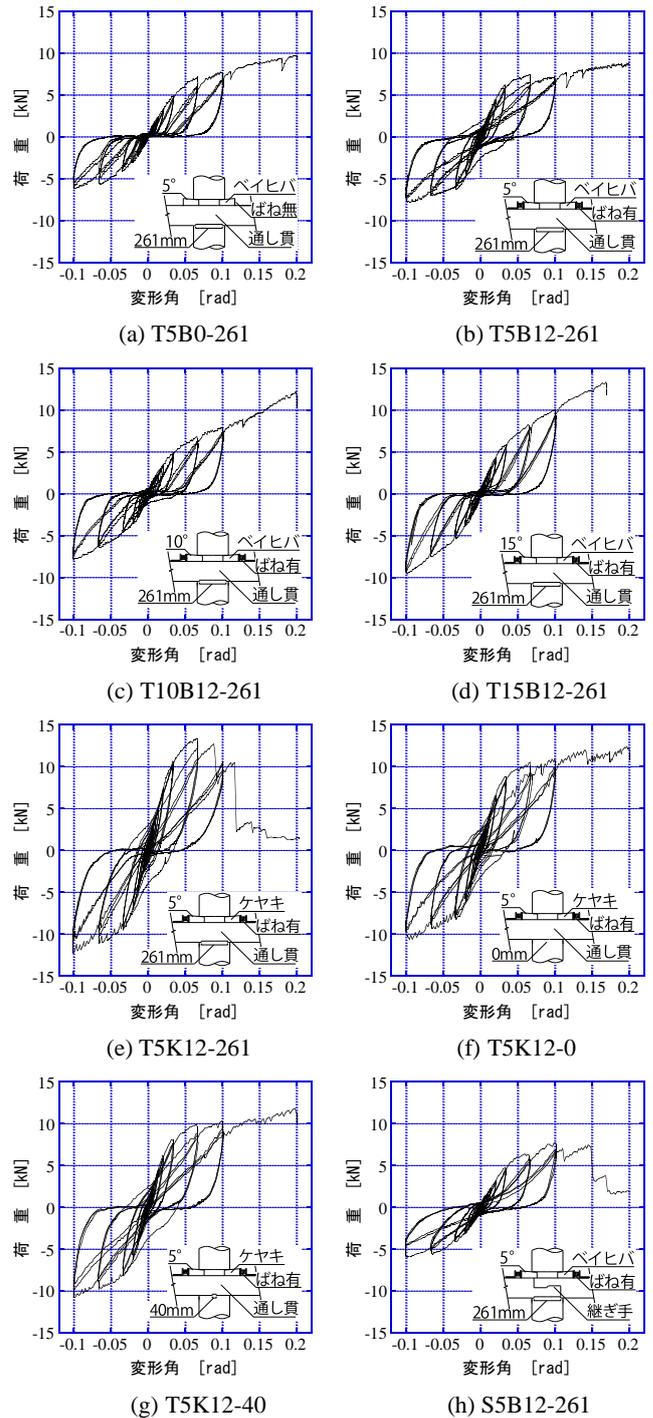


図3 荷重変形関係(十字型試験体)



写真1 0.12rad 載荷時の貫の破壊形状(T10B12-261)

4. 隣り合う柱の影響把握のための門型試験体実験

4.1 実験概要

門型試験体実験の試験体一覧を表2に示す。柱の樹種はケヤキ、貫・楔の樹種はベイヒバとした。試験体形状は1スパン、2スパン、柱頭をベイマツの桁で繋いだ3種類とし、柱スパンは2mとした。仕口タイプは、通し貫に渡りあごのある通し貫タイプと鯖の尾タイプの2種類を用意した。楔上端面角度 θ_k は 5° とし、柱側面からの楔の出は100mmとした。渡りあごの幅は261mm、40mm、0mmの3種類を用意した。

図2に実験装置を示す。門型試験体を用いた本実験装置は柱頭をベイマツの桁で繋いだ試験体を除き、載荷時に仕口部のみが水平抵抗要素とするよう、柱頭と柱脚はメカニカルなピン接合とした。なお、載荷方法は十字型試験体と同様とする。

3.2 実験結果

各試験体の荷重変形関係を図3に示す。縦軸の荷重は柱頭位置に作用させた水平荷重を、横軸は柱の変形角とし、載荷梁等の重量で生じるP- Δ 効果を補正している。

まず、通し貫タイプでばね機構の無い(a) $P_1T0-261$ とばね機構を有する (b) $P_1T12-261-1$ 及び(c) $P_1T12-261-2$ で比較すると、ばね機構がない(a)は十字型試験体と同様に進行スリップ型の荷重変形関係を示したのに対し、ばね機構がある(b)及び(c)は(a)よりも高い初期剛性を示すとともに繰返し挙動ではバイリニア型の履歴成分が発生した。最大耐力についてみると、ばね機構のない(a)では0.16rad 近くまで耐力が上昇し、貫の折損で最大耐力が決定されたが、ばね機構を持つ(b)では正載荷側の0.13 rad 近傍で貫の部分的な折損による耐力低下が観察された。(c)では0.06rad 近傍で貫の部分的な折損による耐力低下が観察された。(b)よりも早い段階で貫の折損が

表2 試験体一覧 (門型試験体)

試験体名	試験体形状	貫形状	バネ定数	渡りあご幅	
			(N/mm)	(mm)	
$P_1T0-261$	門型(1スパン)	通し貫	0	261	
$P_1T12-261-1$			11.67		
$P_1T12-261-2$			0	0	
P_1T0-0			11.67		
P_1T0-40			0	40	
$P_1T12-40$			11.67		
$P_1S0-261$		鯖の尾	0	261	
$P_1S12-261$			11.67		
$BP_1T12-261$		門型(桁ベイマツ)	通し貫	11.67	261
$P_2T0-261$		門型(2スパン)	通し貫	0	261
$P_2T12-261$	11.67				

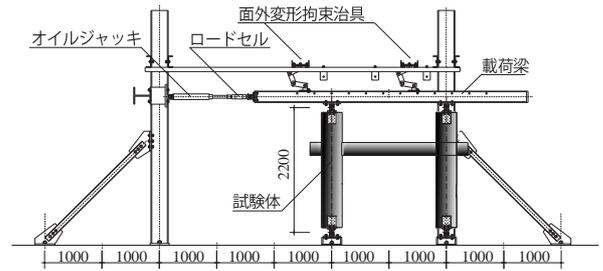


図4 実験装置 (門型試験体)

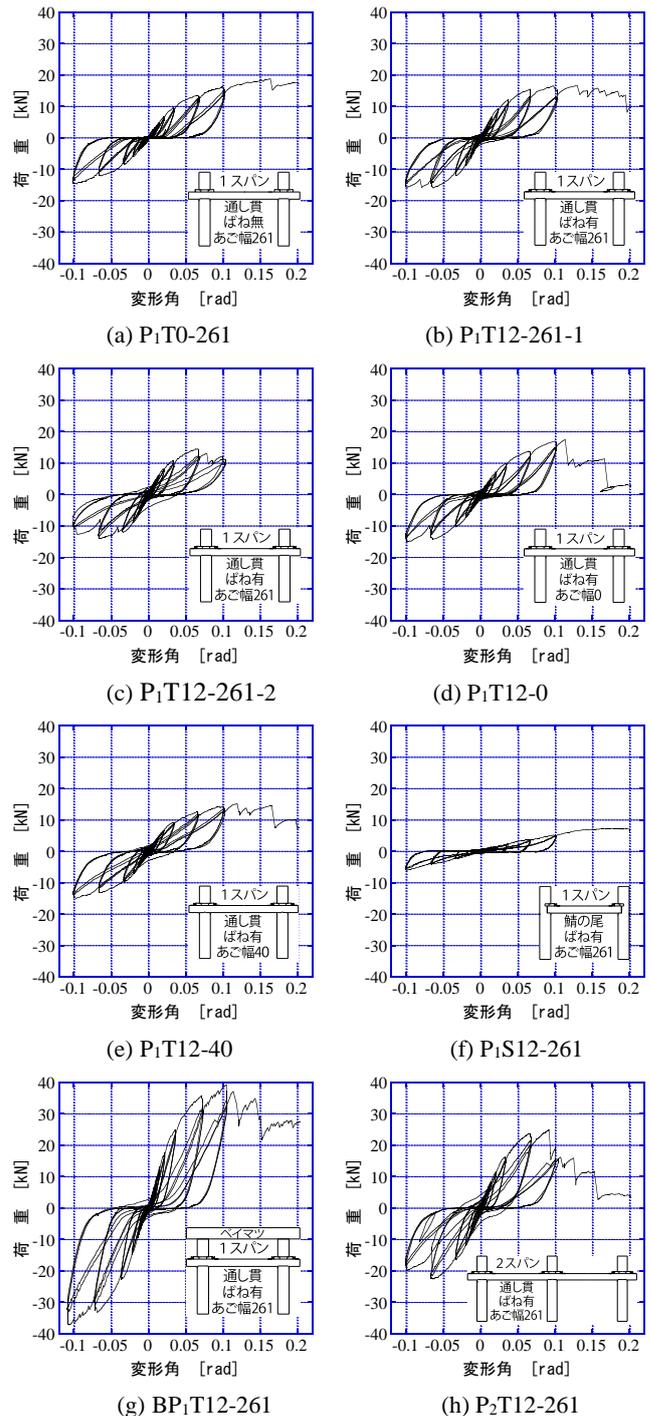


図5 荷重変形関係 (門型試験体)

生じた。いずれの試験体も最初の貫の折損は渡りあご形状に加工された通し貫下端の切り欠きから生じた割裂破壊である。

貫下端の割裂破壊を抑えるため、渡りあごの幅を 0mm にした(d) P₁T12-0 と 40mm とした(e) P₁T12-40 についても実験を行い、(b)よりも大きい変形角で貫下端の割裂破壊を観察することができた。

鯖の尾タイプの(f) P₁S12-261 はバイリニア型の履歴成分が発生した。最大耐力については、0.15rad 近傍まで耐力が上昇し、変形角が大きくなるにつれて鯖の尾が仕口から抜け出すことによって最大耐力が決定された。鯖の尾タイプの仕口は仕口内での鯖の尾のかかり部分だけでモーメントに対して抵抗しているため、通し貫タイプと比べて極めて低くなった。

(g) BP₁T12-261 は、柱頭をベイマツの桁で繋いでいるので柱頭が水平方向に拘束されていないが、ばね機構の挙動に影響は特に見られなかった。なお、柱頭仕口部のモーメント抵抗が生じ全ての試験体の中で一番高い剛性と最大耐力を示した。

柱スパンを2スパンとした(h) P₂T12-261 は1スパンの(b)よりも高い剛性を示し、最大耐力についても高い結果となった。

5. エネルギー吸収性能

5.1 十字型試験体

改良仕口の性能を吸収エネルギー量で考察するため、累積エネルギー吸収量を载荷プログラムとの対応で示したのが図6である。縦軸のエネルギー吸収量は、ばねがない従来型試験体(T5B0-261)のエネルギー吸収量との比率で示した。

ばね機構がある改良型の楔試験体はすべて縦軸が 1.0 を超え、従来型よりも高いエネルギー吸収性能を示し、耐力の高い T5K12-261 試験体は変形が 1/100 程度からエネルギー吸収量に差が現れ始め、その後も高いエネルギー吸収性能を示した。一方、 θ_k の影響は変形角 1/30 程度から観察され、 θ_k が小さいほど高いエネルギー吸収性能を示した。

5.2 門型試験体

門型試験体では、試験体によりスパン数や仕口形状が異なるので、エネルギー吸収性能は図7のように無次元化せずに示す。

ばね機構の有無で比較すると、ばね機構がない試験体(P₁T0-261)よりもばね機構がある試験体(P₁T12-261-1)の方が高いエネルギー吸収性能を示した。

鯖の尾タイプ(P₁S12-261)のエネルギー吸収量は、通し貫タイプよりは低い値を示したが、ばね機構の有無で

比較するとばね機構が無い試験体よりも高いエネルギー吸収性能を示した。

柱頭をベイマツの桁で繋いだ試験体(g) BP₁T12-261 は、柱頭が水平方向に拘束されていないが、ばね機構の挙動に影響は特に見られずバイリニア成分が発現した。

6. 結

本稿では、改良仕口の基本的な性能と隣り合う柱による影響を実験により把握した。さらに、最適な改良仕口の形状を得るには本稿では行っていない楔角度やばね定数等で実験を行い改良仕口の詳細な検討が必要である。今後は、試験体種類を増やすため、要素型試験体を用いて実験を行い、簡易的な弾塑性モデルを作成し改良仕口の評価を行う。

【参考文献】

- 1) 羽生田善将, 小島崇徳, 井戸田秀樹, 小野徹郎, 石原由美子: 仕口形状を考慮した柱-貫接合部のモーメント抵抗機構: その 1. 十字型接合部における仕口形状が耐力に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 構造Ⅲ, pp.435-436, 2012.9.
- 2) 楠寿博, 木林長仁, 伊藤正: 貫接合部の曲げ性能実験と性能向上のための一つの試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 構造Ⅲ, pp.509-510, 2009.8.

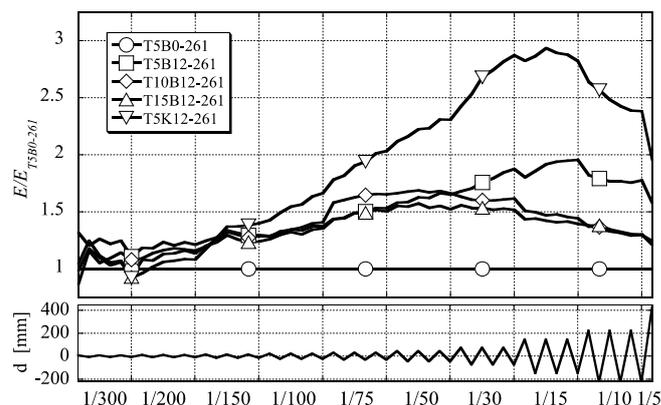


図6 エネルギー吸収量及び载荷プログラム(十字型試験体)

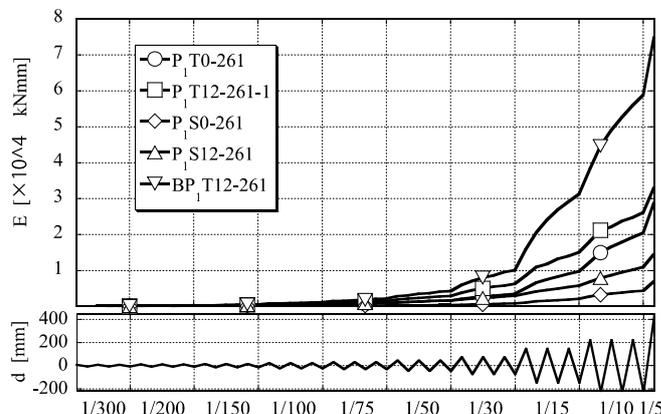


図7 エネルギー吸収量及び载荷プログラム(門型試験体)