

## 梁幅 180mm の試験体に対する解説

以下の仕様を対象とした解説である。(梁幅 180mm のもの)

- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 600・梁 180 × 600／シラカシ木栓  $\phi$  24・33 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 600・梁 180 × 600／シラカシ木栓  $\phi$  18・40 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 600・梁 180 × 600／パネリード X
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 600・梁 180 × 600／接合具なし

破壊性状に関しては、接合具のせん断と柱-梁のめり込みの両方で抵抗した木栓  $\phi$  24 のタイプは、木栓が降伏する前に梁のほぞに割裂が生じて荷重が低下した。木栓にはほとんど変形が見られなかったが引ききりで柱側にも繊維方向に割裂が生じたものもあった。

この結果を受け、当初  $\phi$  24 と同様に接合具のせん断とめり込みの両方を効かせる予定であった木栓  $\phi$  18 とビスのタイプは、柱と梁の木口側の接触面を各 20mm 欠き込むことでめり込みを効かないようにし、接合具のせん断のみで抵抗する仕様とした。

木栓  $\phi$  18 は  $\phi$  24 の時と同様靱性を発揮する前に梁のパネルゾーンが割裂破壊して荷重が低下した。 $\phi$  18 では、最初の破壊の様子を確認するために引ききりまで行わず、荷重が最大荷重の 8 割まで低下した時点で試験を終了した。ビスのタイプはビスが大きく降伏変形し粘り強さを発揮した。ビスのタイプも最後は梁のパネルゾーンが割裂破壊して荷重が急激に低下した。木栓の変形は  $\phi$  24 の時よりは大きかったが、それでもあまり目立った変形はなかった。ビスのタイプでは、引ききりの終盤で梁側の木口が柱に当たり若干めり込みが生じてしまった。また全て柱側にも繊維方向に割裂が生じた。

柱-梁のめり込みのみで抵抗することを期待した接合具なしのタイプは、合わせ柱の離れ止めとしてつけたパネルゾーン中心の太径ボルトがかなりのせん断力を負担して変形したことで、試験体にローブ効果が働き摩擦が強く効いたようであった。

モーメント-回転角曲線の傾向としては、木栓  $\phi$  24 と木栓  $\phi$  18 のタイプは、全ての試験体でほぼ木栓が降伏しないうちに梁側のパネルゾーンが曲げ破壊し急激にモーメントが低下したため、木栓の降伏がモーメント-回転角関係に現れなかった。ビスのタイプは木栓のタイプに比べて剛性は低くなったが、粘り強く変形したことで最大耐力は木栓  $\phi$  18 よりも高くなった。そこでビスのタイプについては bi-linear 型の二次勾配  $K_{\theta 2}$  を求め、見かけの降伏モーメント  $M_v$ 、見かけの降伏変形角  $\theta_v$  を求めた。このタイプも最後は梁側のパネルゾーンが割裂破壊してモーメントが急激に低下したため、最大モーメントに達した時点を終局として評価した。接合具なしのタイプは 4 種類の中で最も粘り強い挙動を示したが、一部は初期すべりが大きいものがあった。

前述の理論式、計算式に従い、要素試験の結果を用いて求めた実大接合部性能の計算値と、実大試験で得られた実験値の比較を以下に示す。表において  $\phi$  24 の dowel は木栓のせん断抵抗のみの性能、total は木栓のせん断とめり込みの両方を考慮した場合の性能である。実験値 (Exp.) は 3 体の平均値、赤で示した部

分は計算値 (Cal.) を実験値 (Exp.) で割った値である。

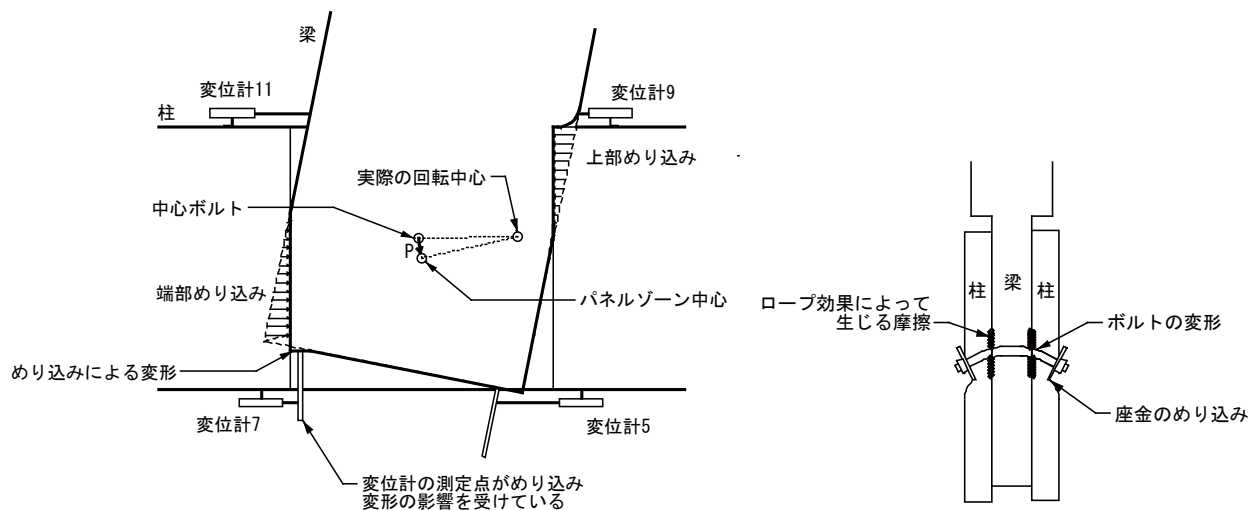
木栓  $\phi$  18 タイプは、回転剛性、降伏モーメントともに非常によく推定できている。ビスタイプは、降伏モーメントの計算値がやや高いが、剛性や終局モーメントはよく一致している。柱-梁のめり込みのみに期待した接合具なしタイプは、剛性、降伏モーメント、終局モーメントのいずれの計算値も実際の値より低く出ている。これは、接合具なしの試験では、梁部材の抜けを拘束するものがパネルゾーン中心の太径ボルトしかなかったために、他の仕様と比べてボルトがかなり大きなせん断力を負担したことと、それに伴うボルトの変形により試験体にロープ効果が働いて、めり込み式で考慮されないほぞ表面の摩擦が強く効いたことが原因と考えられる。接合具のせん断とめり込みの両方に期待した木栓  $\phi$  24 タイプにおいて、剛性の計算値が実験値より若干低くなっていることも、上記の理由によるものと考えられる。また実験では、梁のパネルゾーン端で柱梁の相対変位を測定していた変位計の測定点の位置が端に寄りすぎていたため、変位計がめり込みによる梁パネルゾーンの局所変形を拾ってしまった可能性がある。

接合部性能計算値

		$K_{\theta}$ (kNm/rad)	$M_y$ (kNm)	$\theta_y$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$M_u$ (kNm)	$Z_{fb}$ (kNm)
$\phi$ 24	dowel	11800	109	9.2	216	118
	total	15272	120	7.9	271	118
$\phi$ 18		9711	96	9.9	182	117
ビス		4596	78	17.0	155	143
なし		3472	27	7.9	55	162

実験値と計算値の比較

		$K_{\theta}$ (kNm/rad)		$M_y$ (kNm)		$\theta_y$ ( $\times 10^{-3}$ rad)		$M_u$ (kNm)	
$\phi$ 24	Exp.	21376	0.71	123	0.98	6.7	1.17	136	1.99
	Cal.	15272		120		7.9		271	
$\phi$ 18	Exp.	9516	1.02	86	1.11	10.8	0.91	109	1.66
	Cal.	9711		96		9.9		182	
ビス	Exp.	4113	1.12	55	1.43	13.1	1.30	135	1.15
	Cal.	4596		78		17.0		155	
なし	Exp.	5024	0.69	67	0.41	14.6	0.54	111	0.50
	Cal.	3472		27		7.9		55	



回転中心の移動とめり込みによるほぞ端部の変形

ロープ効果によって生じる摩擦

---

## 木栓の仕様についての解説

以下の仕様を対象とした解説である。(梁幅 120mm のもの)

- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／シラカシ木栓  $\phi$  24・4 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／シラカシ木栓  $\phi$  24・8 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／シラカシ木栓  $\phi$  24・12 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／シラカシ木栓  $\phi$  24・16 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／シラカシ木栓  $\phi$  18・8 本
- ・集成材／カラマツ／E105-F300／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／ケヤキ木栓  $\phi$  24・8 本
- ・集成材／スギ／E65-F225／柱 2-105 × 450、梁 120 × 450／シラカシ木栓  $\phi$  24・8 本

表および図に実験値と計算値の比較を示す。ただし図は代表して母材カラマツ・シラカシ  $\phi$  24・8 本の 2 体のみについて、試験での破壊がわかるように 1/5rad まで示した。

接合具なしの仕様については、パネルゾーン中心のボルトの影響を排除してめり込みだけの接合部性能を検証した。せいが 750mm の試験体のみ加力点が梁せいに対して端に寄りすぎてしまったため、1/20rad 付近で梁材にせん断破壊が生じたが、それ以外の試験体は引き切りまで荷重は低下しなかった。特性値の算出においては、試験体と同じ等級の集成材の等変位めり込み試験を行い、その結果から等変位めり込み式を逆算する形で繊維直交方向ヤング係数  $E_{90}$  およびめり込み降伏応力度  $F_m$  といった物性値を求めた。これらの値を用いることで、脆性破壊を生じた 750mm のものも含めて、初期剛性、降伏モーメントの計算値は実験値の 0.6~0.9 倍程度になり、概ね安全側で評価できた。設計の際は基本的には物性値は集成材の基準特性値を用いることになるが、今回と同様にめり込み試験を適切に行えばその値を用いて計算してよい。

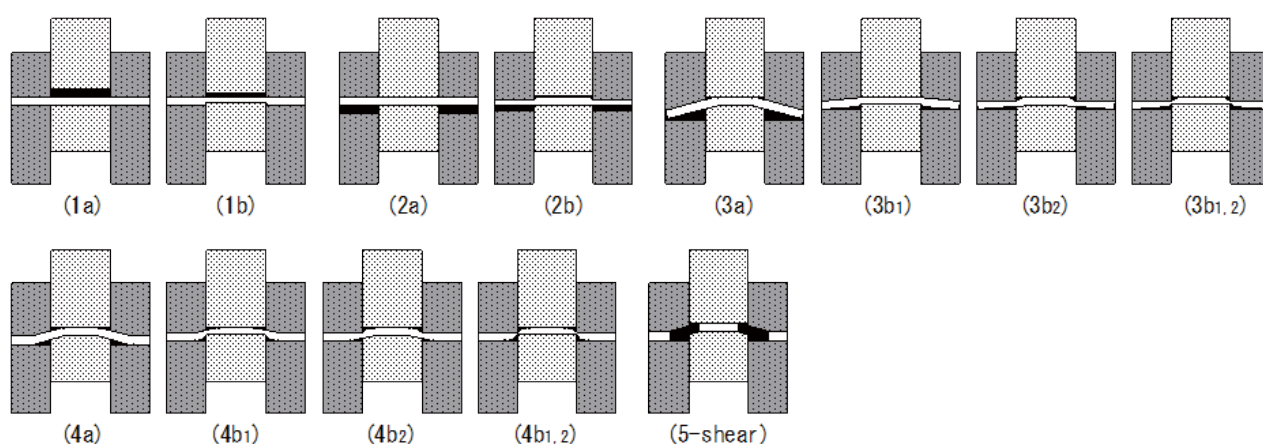
栓ありでは柱 - 梁のめり込みと木栓のせん断抵抗を併用した試験体について、母材樹種および木栓の樹種、径、本数をパラメータとして、接合部の回転剛性や降伏モーメントの実験値と計算値の比較、そして木栓の妥当な配置間隔の検証を行った。木栓の配置については、特に接合具間隔の影響を見るため、木栓の本数の変化が接合具間隔の変化と対応するように定めた。ここでは接合具間隔  $\geq 7d$  を目安としたが、必ずしも木栓そのものの径でこれを満たす必要はないと考え、木栓とドリフトピンの  $EI$  を比較し、使用する木栓と同程度の  $EI$  を持つドリフトピンの径を参考にした。具体的には最も本数の少ない 4 本のタイプは木栓自身の径 24mm でも接合具間隔  $\geq 7d$  を満足するように、逆に最も本数の多い 16 本のタイプはドリフトピンに置換した径 12mm でも接合具間隔  $\geq 7d$  を満足できないように設定し、母材の割裂が生じるクライテリアの検証を目指した。

結果として 12 本と 16 本のタイプで 1/15rad までに母材の木栓穴がつながる集合型の割裂破壊を生じ、変形がさらに大きくなると 8 本のタイプでも 1 体は割裂によって脆性的に破壊した。また母材をスギにしたタイプと木栓をケヤキにしたタイプも母材の割裂によって終局を迎えた。

表の  $M_0$  は母材の木栓穴による断面欠損を考慮した断面係数に基準曲げ強度を乗じたものであるが、最

大モーメント  $M_{max}$  が  $M_0$  に達した試験体はほとんどが母材の曲げ破壊で急激に荷重が低下したのに対して、達しなかった木栓 4 本のタイプと木栓径が 18mm のタイプは高い靱性を発揮した。試験体数が少ないので判断はしかねるが、今回検証した範囲では木栓 8 本のタイプのあたりが接合具間隔のクライテリアになるのではないと思われる。いずれにせよ木栓を増やすと、剛性が上がる一方で、母材の断面欠損が大きくなり脆性的な曲げ破壊を生じる可能性があることに留意して設計を行うべきである。

木栓の降伏モードは母材の面圧降伏が卓越するモード 1 および 2 を避け、接合具の曲げ、せん断が卓越するモード 4 または 5 になるように樹種、径を選択するか、あるいは半分の長さの木栓を両側から打ち込むことで、2 面せん断ではなく 1 面せん断にする等の対策が考えられる。



木栓 2 面せん断の各降伏モード

特性値の算定においては、めり込みの物性値は等変位めり込み試験の結果から求めた。木栓の諸物性値は密度からの回帰計算によるものとし、使用する木栓の密度を測定して平均値を用いた。今回測定した密度の値はシラカシ 0.90、ケヤキ 0.76 であった。また、柱 - 梁のめり込みを併用したことで回転中心位置がパネルゾーン中心と一致しないため、(a) 回転中心がパネルゾーン中心にあるとした場合、(b) 力の釣合いから回転中心を求めた場合、の 2 通りについて計算を行ったが、回転中心は比較的パネルゾーン中心に近く、(a)、(b) はいずれも近い値となったため、今回検証した範囲では回転中心はパネルゾーン中心にあるとして支障ない。表の計算値は (a) の場合の値である。木栓の降伏後の二次剛性は考慮していないが、めり込みの二次剛性は一次剛性の 1/8 として計算した。

表 実験値と計算値の比較

		$K_{\theta}$ (kNm/rad)		$M_y$ (kNm)		$\theta_y$ ( $\times 10^{-3}$ rad)		$M_{max}$ (kNm)	$M_0$ (kNm)
カラマツ 梁 120 × 300 接合具なし	Exp.	741	0.88*	17.0	0.65*	23.0	0.74*	42.0	
	Cal.	649		11.1		17.1		54.0	
カラマツ 梁 120 × 450 接合具なし	Exp.	2396	0.61*	33.1	0.70*	13.8	1.15*	63.4	
	Cal.	1459		23.2		15.9		116.1	
カラマツ 梁 120 × 600 接合具なし	Exp.	3865	0.67*	46.1	0.84*	11.9	1.25*	104.3	
	Cal.	2595		38.6		14.9		200.0	
カラマツ 梁 120 × 750 接合具なし	Exp.	6168	0.66*	66.8	0.85*	10.8	1.30*	103.4	
	Cal.	4054		57.0		14.1		304.8	
スギ 梁 120 × 450 接合具なし	Exp.	1554	0.74*	23.6	0.71*	15.2	0.96*	51.5	
	Cal.	1155		16.8		14.5		87.1	
カラマツ 梁 120 × 450 シラカシ木栓 φ 24・4 本	Exp.	4400	0.49*	44.2	0.76*	10.1	1.55*	79.3	
	Cal.	2165		33.6		15.5		93.6	
カラマツ 梁 120 × 450 シラカシ木栓 φ 24・8 本	Exp.	5051	0.57*	54.3	0.82*	54.3	1.45*	98.3	
	Cal.	2855		44.4		15.5		93.6	
カラマツ 梁 120 × 450 シラカシ木栓 φ 24・12 本	Exp.	5584	0.64*	64.8	0.85*	11.6	1.34*	107.6	
	Cal.	3553		55.2		15.5		93.6	
カラマツ 梁 120 × 450 シラカシ木栓 φ 24・16 本	Exp.	7748	0.55*	70.1	0.94*	9.1	1.72*	102.5	
	Cal.	4251		66.1		15.5		93.6	
カラマツ 梁 120 × 450 シラカシ木栓 φ 18・8 本	Exp.	4374	0.61*	47.1	0.70*	10.8	1.15*	92.3	
	Cal.	2657		32.8		12.4		96.5	
カラマツ 梁 120 × 450 ケヤキ木栓 φ 24・8 本	Exp.	4135	0.67*	47.9	0.80*	11.6	1.19*	93.9	
	Cal.	2769		38.1		13.8		93.6	
スギ 梁 120 × 450 シラカシ木栓 φ 24・8 本	Exp.	3385	0.65*	48.6	0.66*	14.4	1.01*	77.4	
	Cal.	2209		32.1		14.5		70.2	

\*:Cal./Exp.

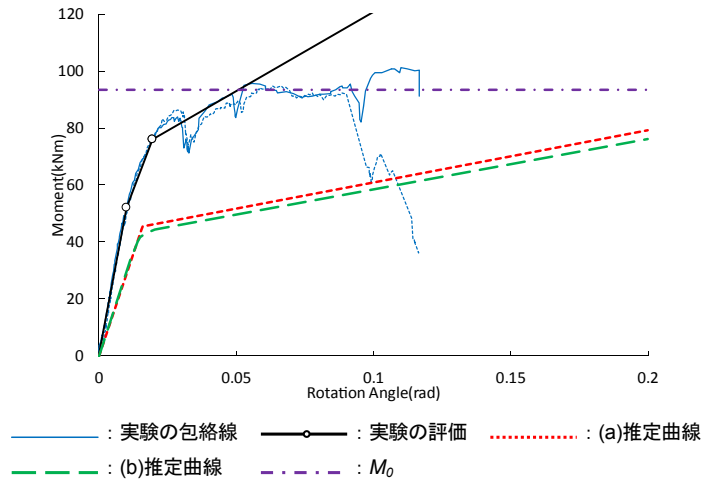


図 実験値と計算値の比較 (L-S24-8)

図において、(a) は回転中心がパネルゾーン中心にあるとして計算した場合、(b) は力の釣合いから回転中心を求めて計算した場合の計算値である。