

樹状方杖架構の接合部耐力計算シート

森と木のクリエイター科 木造建築専攻 橋本 剛

1. 研究背景と目的

近年、中大規模木造建築物の建設が増えており、方杖架構を上に向かって枝が広がる「樹状方杖架構」による建設事例が増加している（図1）。トラス架構とは一線を画した構造である。自力建設2021では、樹状方杖架構により「木立のこみち」を建設した（写①）。その樹状方杖架構の接合部設計時のツールとして、表題を課題研究とした。

2. 接合部に働く力

樹状方杖架構の力学的特徴を把握するため、骨組構造解析プログラムにより応力解析を行うと、主に3つの力——軸力、せん断力、曲げモーメントの応力が発生することがわかる。それぞれの応力に対して接合部の各部分（ほぞやビス）の耐力が釣り合うことで破壊しない。

実際の建設事例である「屋久島町庁舎」などを、図面等の文献資料を元に筆者なりに骨組構造解析を行った（図2）。これにより方杖の角度によって力の鉛直・水平成分の比率が変わることや、接合部強度によって伝達される応力の強弱が変化することがわかった。

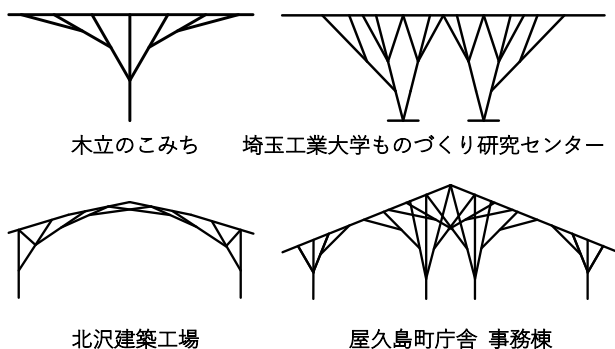
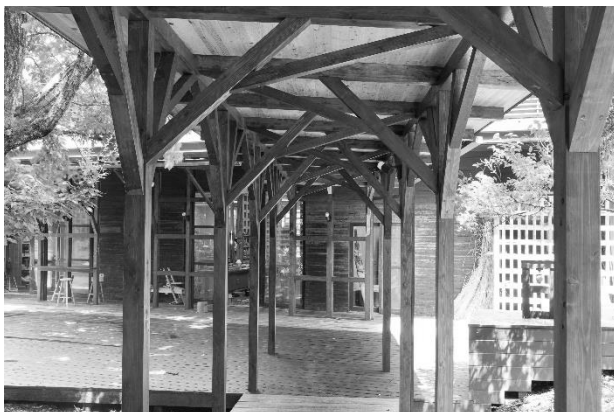


図1 樹状方杖架構による建設事例



写① 自力建設2021 木立のこみち

課題となったのが接合部に生じる曲げモーメント応力であった。図3のように、方杖の角度を寝かせていくと、方杖の根元に大きな曲げモーメントが生じる。接合部をピン節点に近い状態で解析した場合と、剛接合に近い状態に近づけていった場合を比較すると、ピン節点で解析した場合は接合部に生じる応力が大きくなることも分かった（図4）。

これら解析による応力の検証と併行して、接合部の設計方法と破壊形式（破壊モード）について、日本建築学会の規準書や接合部設計事例集を読み込み、圧縮破壊・引張破壊・せん断破壊など、応力がどのように接合部を破壊するかについて学び、接合部耐力計算シートの内容を考えていった。

接合部の仕様は、自力建設2021「木立のこみち」で採用した接合方法と同様の接合方法「木質構造用ビス+ほぞ仕口」とした。仕様を限定することで、検討点を明確にすることで、破壊形式（破壊モード）を具体的に想定できる。必要に応じて断面を大きくしたり、ビスの本数を増やした場合の検討もできるよう、検討を進めた（図5）。

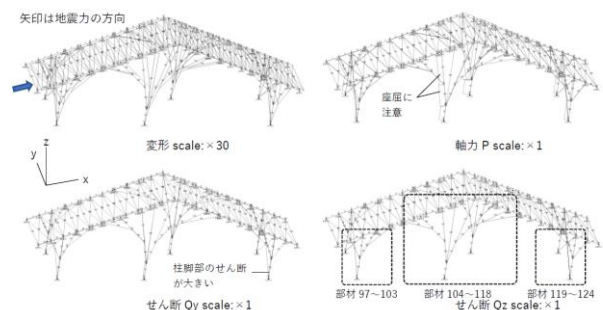


図2 建設事例の解析

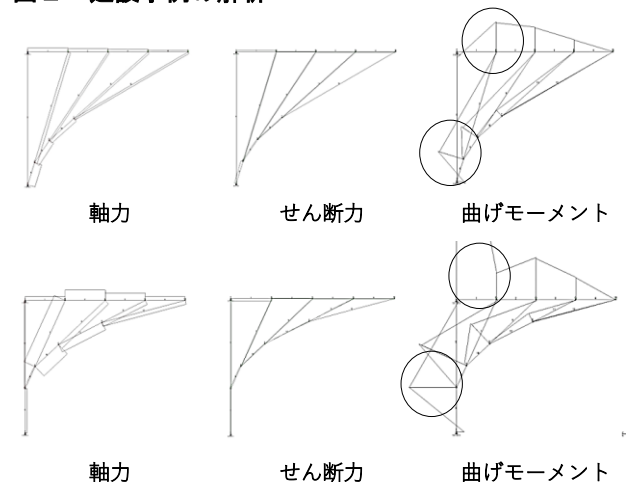


図3 方杖の角度を寝かせると曲げモーメントが大きい

3. 樹状方杖架構接合部耐力計算シート

想定し得る接合部破壊性状を決め、それに対する検定式をエクセルで作成した。作成は、①接合部に起き得る破壊モードを特定する、②破壊モードを図示する、③破壊モードに対する耐力要素の検定式を作成する、という手順で行った（図6）。

破壊モードはせん断力で3種類、圧縮力で2種類、引張力で1種類、座屈で2種類、曲げで2種類の計10項目となった（図7）。破壊モードの特定については岐阜県内の構造設計事務所2社（特定非営利活動法人WOOD AC、株式会社木構堂）にヒアリングしご助言いただいた。計算シートは主に基本情報入力部分に樹種・接合部のほぞの断面形状・方杖の角度・使用するビスなどを入力することで、各破壊モードに対する検定式に反映され、結果が出る仕組みである。なお、同計算シートは筆者が活用することを目的に作成しており、他者に活用してもらうことは想定していない。

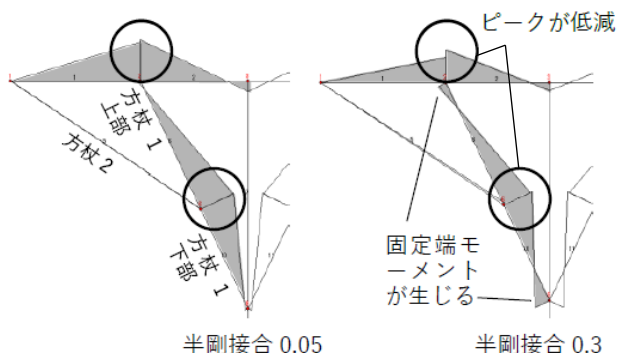


図4 左：ピンに近い 右：剛に近い接合（曲げM図）

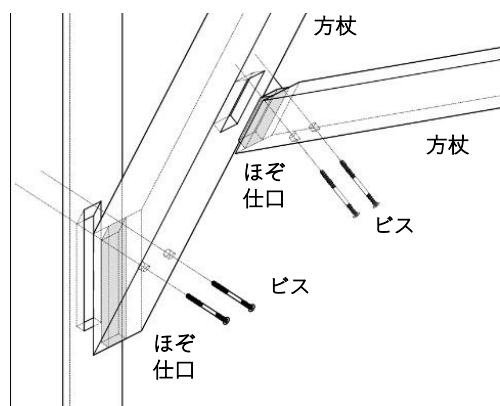


図5 木質構造用ビス+ほぞ仕口

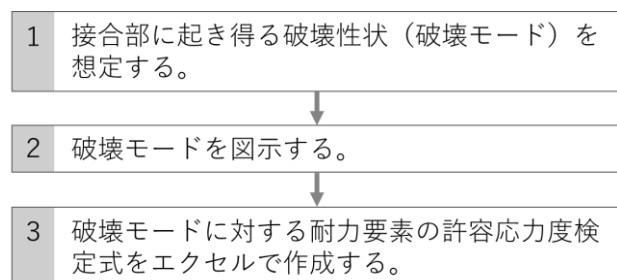


図6 接合部耐力計算シート作成手順

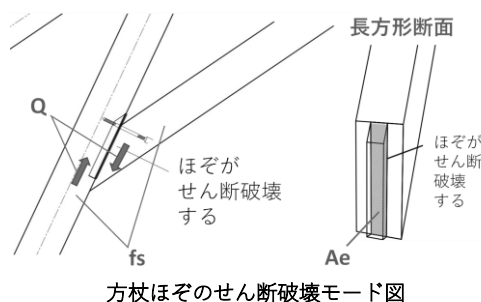
4. 接合部強度の意識啓発

同耐力計算シートは構造設計の実務で実際に検討する項目が網羅されている。それに加え、「曲げモーメント破壊」などの検討項目を追加していることが特徴である（図8）。通常、トラスや方杖架構の接合部は曲げモーメントを伝達しない「ピン節点」で検討される。しかし実際の接合部はピン接合ではなく、ある程度の曲げ強度や曲げ剛性を有する「半剛接合」であることが知られている。それを計算に考慮できれば、ピン接合での解析と比べて応力が小さくなり、適切な部材断面を選定でき構造設計上合理的である。

今回、同耐力計算シートの「曲げモーメント破壊」の検定では、方杖部材の許容曲げ耐力に対する接合部耐力の比を求め、接合部が部材と比較しどの程度耐力が低いかを確かめられるものとした。これにより実務においても接合部強度を意識した構造設計を啓発できればと考える。

せん断力	
1	方杖ほぞのせん断破壊
2	ビスのせん断破壊
3	ビス部の木材の割裂破壊
圧縮力	
1	主材のめり込み破壊
2	方杖のほぞ先端あごによる主材の支圧破壊
引張力	
1	ビスの引抜け破壊（主材から・方杖からの引抜け破壊）
座屈	
1	方杖の座屈破壊
2	主材の座屈破壊
曲げ	
1	ビスの曲げ破壊
2	方杖接合部の曲げモーメント破壊

図7 接合部耐力計算シート検討項目（破壊モード）



方杖ほぞのせん断破壊モード図

$$\frac{\alpha}{\text{長方形断面}} \times \frac{Q}{Ae} = \frac{1.5}{4200} \times \frac{2000}{1.2} = \frac{3000}{5040} \frac{N}{N} = 0.60$$

数値が1.0以下ならOK

図7 方杖ほぞのせん断破壊の検定

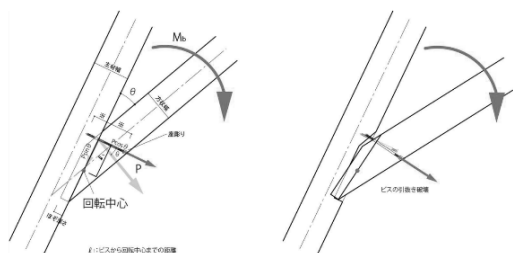


図8 方杖の曲げモーメント破壊モード図