

木材交差接合部の回転剛性増大金物に関する研究

A Study on High Rotational Rigidity Joint Metal of Timber Cross-Joint

構造デザイン/木材・鉄/面格子、金物、剛性増大

大学院 芸術文化科学研究科

星賀 崇匡

Hoshiga Takamasa

研究概要

大部分の木造床は構造用合板により剛性を確保するため、床デザインの多様性はなくなり、自由度が失われている。一般に、木造接合部は木材の繊維方向の剛性が圧倒的に高く、繊維と直交方向の剛性がその1/20 ~ 1/50と弱くめり込む。そこで、木材要素の剛性を最大限活かすために、各々相欠きした繊維方向同士を直接一体化して接合する接合金物を考案した。金物は繊維方向に交差する2本の部材を異相に配置し、直接連結するものである。(図1、図2参照)

本研究の最終目的は、現状より広い空間を提供できるような屋根・壁面・床面の開発を行い、その形式に対応した設計式を誘導することを目指す。

金物開発・改良試験

本研究における金物開発は、過去に行われた基礎的な金物を改良し、多様性をもたせることを目的として実施した。

試験方法は試験体の両端を固定し、垂直材上部に特定の変形角になるまで水平荷重を左右に順に加え、その際の荷重等を計測、それを反復することにより検証した。(図3参照)

要素試験

表1) 試験目的

| 回数 | 目的 |
|-----|--|
| 4回目 | 断面やスパンを変更した際、加圧面と非加圧面間にせん断変形が発生するかの確認 接合部端部へ金物を用いた際の効果を確認する試験 |

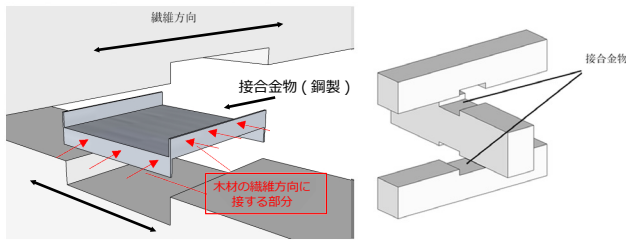


図1) 接合金物 詳細図(※1)

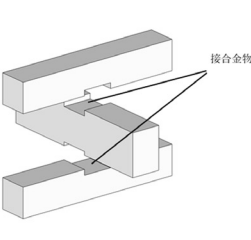


図2) 重ね合わせ状況(※1)

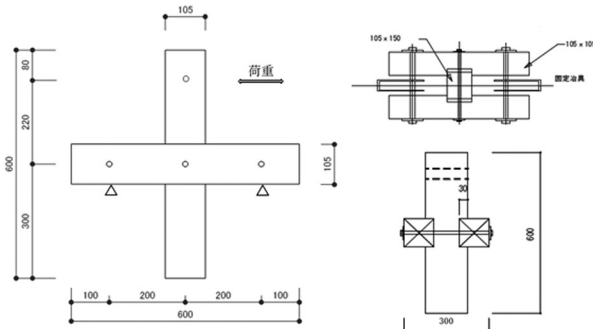


図3) 要素試験体 詳細図(※1)

試験結果

表2) 試験結果 剛性向上状況 (金物なしと比較)

| 3材(床・屋根) | | 2材(壁) | |
|----------|--------|--------|---------|
| 剛性差(倍) | | 剛性差(倍) | |
| 1.02 | 120角 | 0.10 | 相欠きなしw |
| 1.41 | 135角 | 1.88 | 120角w |
| 1.30 | 材長900 | 1.86 | 135角w |
| 0.99 | 材長1200 | 1.11 | 材長900w |
| | | 0.90 | 材長1200w |

| 3材(床・屋根) | | 2材(壁) | |
|----------|-------|--------|--------|
| 剛性差(倍) | | 剛性差(倍) | |
| | 接合部端部 | | 接合部端部 |
| 1.29 | 金物ありe | 0.58 | 金物ありwe |

3材(床・屋根)に関して、断面寸法を変更した場合の剛性は、予想よりも向上が見られなかった。また材の長さ寸法を変更した場合の初期剛性に関しては、向上は見られなかった。

2材(壁)に関して、120角を除き、3材(床・屋根)と同様の傾向が見られた。相欠きを行わなかった場合には、リブ部分が面外変形を起こして、接合金物が抜け出してしまい、剛性が確保できなかった。

接合部端部に関して、接合金物の効果があまり出なかった。また2材(壁)の場合、接合部に設けたピン支点の部分で破壊が生じ、部材が抜け出したため、剛性は低下した。

以上のことから、端部が固定されていないために、加圧面と非加圧面の間にせん断変形を生じさせ、そこで剛性の低下が起きている可能性は低いこと、接合部端部については試験結果からも分かる通り、現状の接合金物のままではあまり改善効果が期待できないことが確認できた。

解析シミュレーション

これまでの要素試験結果を踏まえた上で、重ね透かし格子の一部を対象に解析ソフト midas iGen を用いてモデル解析を行った。まず基本モデルを確立するために数種類の試験体モデルを作成し、最も本試験体に近いモデルを作成することから始め、剛性確保のメカニズムの解明を最終目的とした。

結果として、壁架構モデルは接合部端部についても妥当性の高いモデル作成を行うことができたが、床・屋根架構とその接合部端部モデルについては妥当性が高いと判断するには至らない結果となった。しかし、断面・長さ寸法変更の際の剛性が予想よりも向上しなかった理由を解析結果から推測することができた。

補足解説

表3) 各試験目的(※1)

| 回数 | 目的 |
|-----|---|
| 1回目 | 接合金物の効果を確認する試験 |
| 2回目 | 初期緩み防止のためのプレストレス効果と接合金物の厚さなどの程度必要かを確認する試験 |
| 3回目 | リブを内側に折り曲げた時の接合金物の効果と壁を想定した2材の際の剛性を確認する試験 |

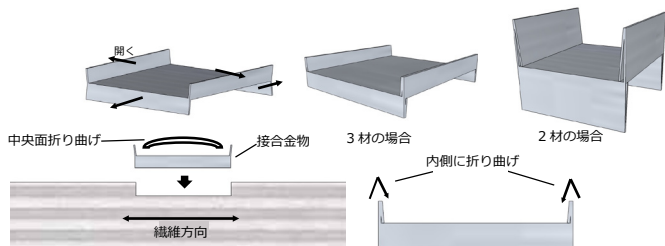


図4) プレストレス効果 詳細(※1)

図5) リブ内側折り曲げ 詳細(※1)

表4) 試験結果 剛性向上状況 (金物なしと比較) (※1)

| 3材(床・屋根) | | 2材(壁) | |
|----------|------|---------|------|
| 剛性差(倍) | | 剛性差(倍) | |
| 折り曲げ金物 | 1.38 | t2.3w | 1.64 |
| スチールブロック | 2.96 | t2.3リブw | 1.43 |
| t1.6 | 2.14 | | |
| t2.3 | 2.85 | | |
| t2.3リブ | 3.78 | | |
| t2.3α | 0.90 | | |

過去の試験について

過去の試験結果から、木材接合部に接合金物を用いることで、変形の抑制、剛性向上に寄与できることを確認している。また接合金物の厚さについては、金物の変形状況から 2.3mm 程度は必要なこと、プレストレス効果やリブ部分を内側に折り返すことは初期緩み解消に効果的であることが分かった。

今回行った4回目の要素試験は、前述した接合金物の効果を改良し、接合部端部への応用を確認したものになる。

研究成果の一つとして、格子のフレーム自体で剛性を確保できるため、構造用合板等で剛性を確保する必要がなくなり(図5参照)、空間デザインの自由度が広げることが可能になる。

解析シミュレーションについては、理論的に約20倍の剛性向上が見込めるはずだが、試験結果からも分かる通り、約3倍の向上しか確認できなかった原因を探るために行っている。表5~8に解析シミュレーション結果を示す。結果の見方として、試験剛性Eと理論剛性F、解析剛性Hと理論剛性Fの差が重要になる。

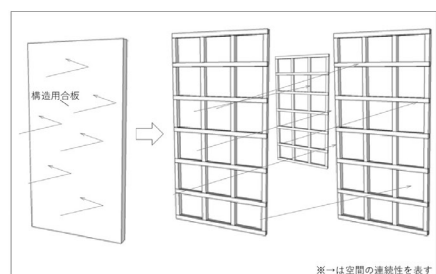


図5) 空間連続性の概念図

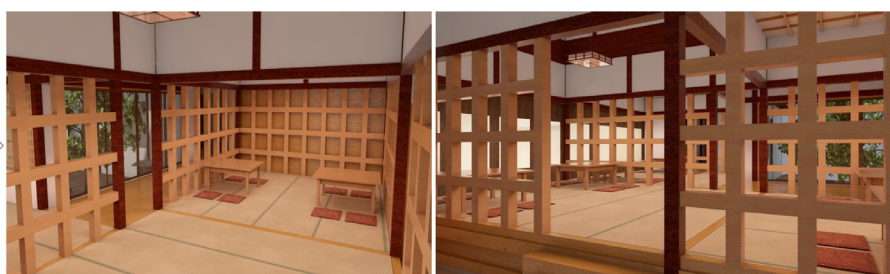


図6) 本研究成果を設計に用いたイメージ例

解析シミュレーション結果

表5) 板要素解析モデル(壁) 解析結果 比較

| 2材(壁) | 試験値・解析値における近似的な値: A | | 剛性差(倍): B | 理論剛性差(倍): C=(F/E) | 理論値における近似的な値: D=(A×C) | | 試験剛性: E | 理論剛性(摩擦あり): F |
|-----------|---------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------------------|---------------------|---------|---------------|
| | 試験 | 解析 | | | 試験剛性: H=(F/G) | 理論剛性(摩擦あり): J=(H×I) | | |
| 試験 t2.3 | 432.16 | 97286.20 | 1.00 | 2.43 | 1049.10 | 238047.98 | 51.5 | 125.02 |
| 600材,105角 | 1708.74 | 1183.69 | 1.00 | 1.64 | | | 141.06 | 125.02 |
| | | 266329.99 | 2.74 | 0.89: G=(D/A) | | | | |
| 2材(壁) | 解析値における近似的な値 | | 剛性差(倍) | 解析剛性差(倍): I | | | | |
| 120角 | 1563.33 | | 3.62 | 1.32 | 186.30 | | 186.62 | |
| 135角 | 2108.37 | | 4.88 | 1.78 | 251.25 | | 265.72 | |
| 900材 | 187737.71 | | 1.93 | 0.70 | 99.43 | | 125.02 | |
| 1200材 | 129429.17 | | 1.33 | 0.49 | 68.55 | | 125.02 | |
| t1.6 | 1801.32 | | 4.17 | 1.52 | 214.66 | | | |
| t2.3 | 1835.41 | | 4.25 | 1.55 | 218.72 | | | |

※赤文字はモーメントの場合

表6) 板要素解析モデル(床・屋根) 解析結果 比較

| 3材(床・屋根) | 試験値・解析値における近似的な値: A | | 剛性差(倍): B | 理論剛性差(倍): C=(F/E) | 理論値における近似的な値: D=(A×C) | | 試験剛性: E | 理論剛性(摩擦あり): F |
|----------|---------------------|---------|-----------|-------------------|-----------------------|---------------------|---------|---------------|
| | 試験 | 解析 | | | 試験剛性: H=(F/G) | 理論剛性(摩擦あり): J=(H×I) | | |
| 試験 t1.6 | 564.40 | 1207.82 | 1.00 | 2.77 | 1562.82 | | 25.8 | 71.44 |
| 試験 t2.3 | 1608.54 | 2108.37 | 2.85 | 1.78 | | | 111.01 | 71.44 |
| 金物なし | 2428.41 | | 4.30 | 0.64: G=(D/A) | | | | |
| 3材(床・屋根) | 解析値における近似的な値 | | 剛性差(倍) | 解析剛性差(倍): I | | | | |
| t1.6 | 2732.38 | | 4.84 | 1.125 | | | 124.90 | |
| t2.3 | 2751.29 | | 4.87 | 1.133 | | | 125.77 | |

表7) 板要素解析モデル(壁) 接合部端部 解析結果 比較

| 2材(壁) | 試験値・解析値における近似的な値: A | | 剛性差(倍): B | 理論剛性差(倍): C=(F/E) | 理論値における近似的な値: D=(A×C) | | 試験剛性: E | 理論剛性(摩擦あり): F |
|---------|---------------------|---------|-----------|-------------------|-----------------------|---------------------|---------|---------------|
| | 試験 | 解析 | | | 試験剛性: H=(F/G) | 理論剛性(摩擦あり): J=(H×I) | | |
| 試験 t1.6 | 428.63 | 248.61 | 1.00 | 2.37 | 1015.68 | | 26.38 | 62.51 |
| 試験 t2.3 | 1068.62 | 1068.62 | 2.49 | 0.95: G=(D/A) | | | 65.77 | 62.51 |
| 2材(壁) | 解析値における近似的な値 | | 剛性差(倍) | 解析剛性差(倍): I | | | | |
| 接合部端部 | 1726.40 | | 4.03 | 1.62 | | | 106.25 | |
| t2.3 | 1787.67 | | 4.17 | 1.67 | | | 110.02 | |

表8) 板要素解析モデル(床・屋根) 接合部端部 解析結果 比較

| 3材(床・屋根) | 試験値・解析値における近似的な値: A | | 剛性差(倍): B | 理論剛性差(倍): C=(F/E) | 理論値における近似的な値: D=(A×C) | | 試験剛性: E | 理論剛性(摩擦あり): F |
|----------|---------------------|---------|-----------|-------------------|-----------------------|---------------------|---------|---------------|
| | 試験 | 解析 | | | 試験剛性: H=(F/G) | 理論剛性(摩擦あり): J=(H×I) | | |
| 試験 t1.6 | 362.54 | 467.68 | 1.00 | 2.88 | 1042.67 | | 12.42 | 35.72 |
| 試験 t2.3 | 2306.00 | 2306.00 | 6.36 | 0.45: G=(D/A) | | | 79.00 | 35.72 |
| 3材(床・屋根) | 解析値における近似的な値 | | 剛性差(倍) | 解析剛性差(倍): I | | | | |
| 接合部端部 | 2620.73 | | 7.23 | 1.136 | | | 89.78 | |
| t2.3 | 2641.35 | | 7.29 | 1.145 | | | 90.49 | |

解析モデルの接合金物厚さによる剛性向上については、本解析において、金物の変形が1mm以下と顕著に表れなかったため、剛性差は僅かなものになったと推測している。

また、比較する際に用いた近似式は、あくまで目安を決めるために初期剛性の一部から作成したので、単純比較した本解析との剛性差については留意して扱う必要がある。

そして試験における金物なしと t2.3 の剛性差は 1.64 倍であったため、かなり近い解析結果(解析における金物なしと t2.3 は約 1.55 倍)になったのだが、これについては材の耐力がめり込みによって剛性を確保する前に限界に達するため、想定していたよりも剛性が向上しなかったのだと推定できる。

引用文献

(※1) 星賀崇匡「富山大学 令和2年度 卒業論文 面格子材の剛性増大金物に関する研究」