

木材の強度異方性と接合性能

性能部 構造・環境グループ 戸田 正彦

■はじめに

木材が金属やコンクリートなど他の建築材料と大きく異なる特徴の一つに、力が加わる方向によって強度性能が異なる性質が挙げられます。これは強度異方性と呼ばれ、生物材料である木材の面白さの一つとも言えます。ここでは、木材の強度異方性が接合部の性能に及ぼす影響について紹介します。

■木材の強度異方性

木材は針葉樹であれば仮道管，広葉樹であれば道管や木繊維という細長い形状の要素によって構成されています。これらが髄を中心とした同心円状に層をなしている木材は，繊維方向・放射方向・接線方向の3方向（図1）で異なる力学的性質を有しています。ただし建築材料として見た場合は，放射方向と接線方向の中間の場合も多いことから，これらをまとめて直交方向として扱っています。木材の強度異方性とは，繊維方向と直交方向とで力学的性能が大きく異なることを意味しています。

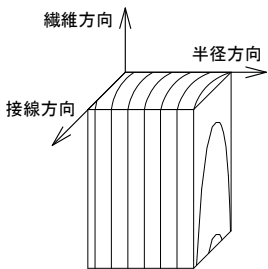


図1 木材の3方向

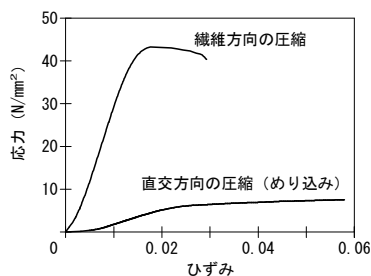


図2 繊維方向と直交方向での応力とひずみの関係

図2は断面が2cm角のトドマツを繊維方向と直交方向とに圧縮した場合の応力とひずみの関係を示したものです。繊維方向は直交方向に比べて変形しにくく、かつ破壊に要する応力も大きい、すなわち強度が大きいことがわかります。これは樹木の特性であると言えます。樹木が成長している間は、樹幹には主に樹冠などの自重が作用するため、これに抵抗する効率的な組織構造として鉛直方向を優先させた強度異方性が発現したと考えられます。ただし、直交方向のめり込みは、変形がすすんでも荷重が低下しないねばり強い性質があることから、それぞれ優位性があるといえます。

■繊維方向に対する任意の角度での強度性能

繊維方向に対する任意の角度での強度性能は，下記のハンキンソンの式で求めることができます¹⁾。

$$P_{\theta} = \frac{P_0 \cdot P_{90}}{P_0 \sin^n \theta + P_{90} \cos^n \theta}$$

ここで、

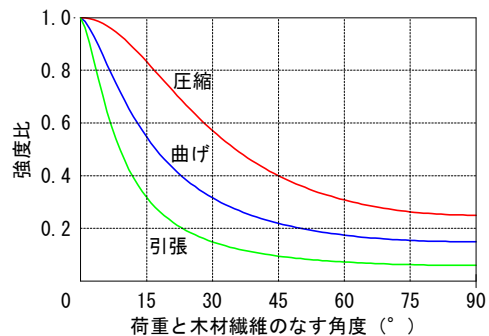
P_{θ} : 角度 θ のときの強度特性値

P_0 : 繊維方向の強度特性値

P_{90} : 直交方向の強度特性値

θ : 繊維方向に対する荷重角度 (°)

階乗の指数 n は応力の種類によって異なりますが，引張強度や曲げ強度は1.5~2，圧縮強度は2~2.5，弾性係数は2が用いられています。図3に $n=2$ とした場合の例を示します。角度が45° の場合は0° に比べて圧縮は4割，曲げは2割，引張は1割の強度となり，異方性の程度が異なることがわかります。



(P_{90}/P_0 は圧縮0.25, 曲げ0.15, 引張0.06)

図3 荷重と木材繊維のなす角度と強度比の関係

■木質構造物の接合部

一般に木質構造物は通直な部材同士を接合した骨組で構成されます。接合部のうち，縦方向の接合を継手，直交方向や角度をもった接合を仕口と呼びます。また接合方法には，木材同士を切り欠いて組み合わせる嵌（かん）合接合，釘やボルトなどの接合具を用いた接合，接着剤による接合などがあります。このうち嵌合接合と接合具による接合は，木材同士の接触や接合具のめり込みによって力が伝達されるため，異方性が発現しやすいと言えます。

部材同士を直角に接合する仕口は，どうしてもどちらかの部材が直交方向の力を負担することになるため，接合部としての強度は継手より劣ります。しかし，先述したようなねばり強さは，建物としての

ねばり強さにも寄与します。設計の際には、割裂やせん断破壊などの脆性的な破壊を起こす前にめり込みによる降伏が発生するよう寸法等を調整することで、地震時の建物の倒壊を防ぐことができます。

■柱と土台の接合部における異方性

仕口の例として、図4のような柱と土台の接合部について見てみましょう。この接合部は、自重や積載物による鉛直方向の荷重、または風や地震力などの水平方向の力が加わったときに壁が回転することによって、図4(A)のように柱が土台を圧縮するような力が発生します。よく見ると、柱はほとんど変形せず、土台が一方向的にめり込んでおり、木材の強度異方性が顕著に現れている事例と言えます。また水平力が加わった場合には図4(B)のように柱が土台から引き抜けるような引張力も発生します。このような力に抵抗するために金物を釘で留め付けた場合、柱に打ち付けられている釘は繊維方向にめり込み、土台のほうは直交方向にめり込むことによって力を負担します。釘のような比較的細い接合具は、繊維方向・直交方向とで初期の剛性はそれほど差はないのですが、直交方向の引張を伴う場合は図のように終局的に割裂破壊を生じる危険性があります。なおボルトやドリフトピンなど比較的太い接合具では、直交方向のめり込み性能は繊維方向の1/2として強度計算されています²⁾。



(A)圧縮力が加わる場合 (B)引張力が加わる場合
図4 柱と土台の接合部

■モーメント抵抗接合における異方性

一方向の荷重を負担する接合部として柱と土台の接合部を紹介しましたが、別な力を負担する接合部もあります。ラーメン構造と呼ばれる架構では、柱と梁の接合部を剛接合と呼ばれるような、曲がったり回転しないよう強固に一体化することによって、筋かいや壁がない広い空間をつくることが可能となります。この場合の接合部は、材軸方向の力だけでなく回転させようとする力（モーメント）に抵抗させることからモーメント抵抗接合と呼ばれます。

木質構造でのモーメント抵抗接合の方法として代表的なものに鋼板挿入ドリフトピン接合があります

(図5)。これは、接合部にモーメントが加わったときに、ドリフトピンが木材にめり込むことによって抵抗させる接合方法です(図6)。このとき、ドリフトピンは回転中心に対する位置によって、負担する力の大きさやめり込む方向が異なります。すなわち同じ本数であっても配置によって性能が異なります。

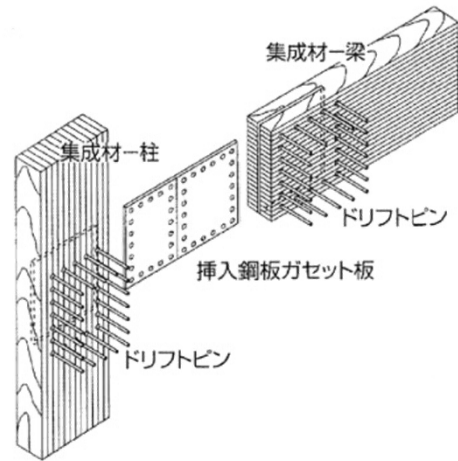


図5 鋼板挿入ドリフトピン接合³⁾

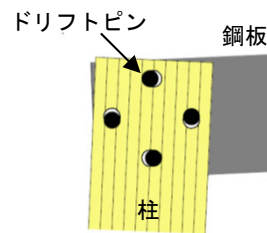


図6 接合部の回転とドリフトピンのめり込み

そこで、ドリフトピンの配置によって性能がどのように変化するかを確認するために、図7に示すような2種類の配置で実験で確認してみました。

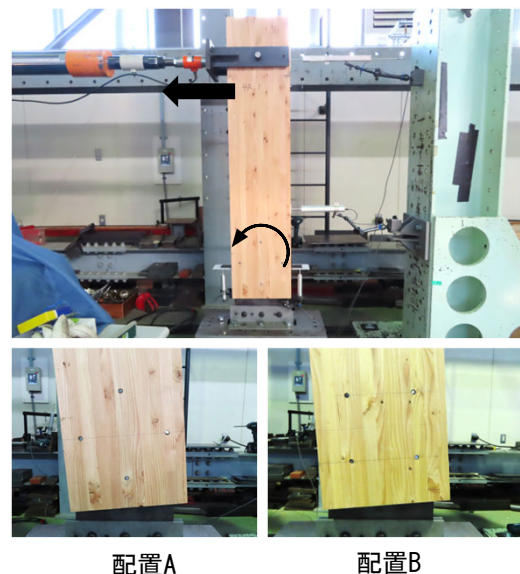


図7 モーメント抵抗接合部の加力試験

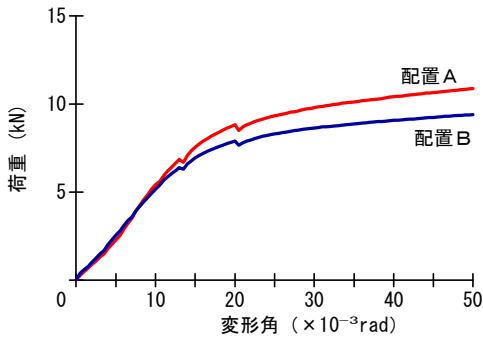


図8 モーメント抵抗接合部の荷重と変形角の関係

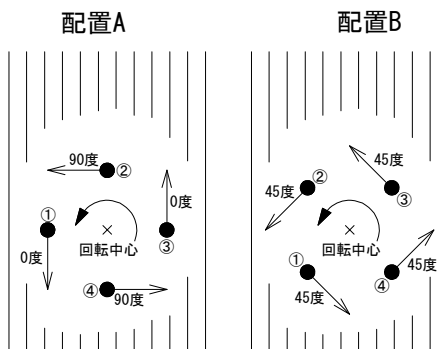


図9 各ドリフトピンのめり込み方向

実験の結果、配置Aのほうが配置Bよりも高い強度があることがわかりました（図8）。ここで各ドリフトピンがめり込む方向は図9のように、配置Aではドリフトピンの①と③が繊維方向に、②と④は直交方向にめり込むのに対して、配置Bでは①～④すべて45°方向にめり込みます。先ほどのハンキンソンの式からも分かるとおり、45°方向の強度は繊維方向と直交方向の平均値よりも小さいことから、配置Aのほうが高い性能となります。このように、木材の強度異方性を考慮して接合具の配置を工夫することによって、より効果的な接合部を設計することが可能です。

■CLTへの適用

ここまで木材または集成材を対象として説明してきましたが、近年普及が進んでいるCLT（直交集成

版）は、これらとは異なりやや複雑です。というのも、ラミナが直交して積層されているため、1本の接合具でもラミナの層によってめり込む角度が異なるためです。これまではCLT全体を平均化して均一な材料とみなすことによって簡便に計算していましたが、より正確に評価するために、各層ごとのめり込み特性を反映させる計算式が考案されています⁴⁾。興味のある方はご参照ください。

■おわりに

木材の強度異方性は建築材料としては扱いづらいものと考えがちですが、逆に同じ材料で異なる性質を有していることを利点として活用することができれば、鉄骨や鉄筋コンクリート造ではなし得ない構造性能を付与することも可能です。木材は再生可能な資源として、今後の建築・土木資材としての重要性が増すと考えられますが、木材の特性をさらに活かした利用方法を研究し、道産材の需要拡大に貢献していきたいと考えています。

■謝辞

本報告の一部は、科学研究費補助金（H28-30 基盤（C）16K07815：戸田正彦）により実施しました。

■参考文献

- 1) 日本建築学会：“木質構造基礎理論”，日本建築学会，pp. 10-11（2010）。
- 2) 日本建築学会：“木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—”，日本建築学会，p. 31（2006）。
- 3) 日本建築学会：“木質構造接合部設計マニュアル”，p. 196（2009）。
- 4) 富高亮介，戸田正彦，植松武是：CLTラミナの平行層・直交層の支圧強度比を考慮した鋼板添え板ボルト接合の降伏せん断耐力の評価，日本建築学会学術講演梗概集，広島（2017）。