道産材を用いた木造住宅における
接合部開発・設計の手引き

はじめに

現在、国内においては、消費型社会からストック重視型社会への転換が進んでおり、住宅供給においては、すでに大手ハウスメーカーから地域工務店まで、ストック重視型社会に対応したさまざまな取組が行われています。一般に、ストック重視型社会を形成する「長寿命住宅」を実現するためには、住宅を長期間にわたって使用できるように、躯体の高耐久化に加え、間取りの変更が容易に行える柱と梁で構成されるフレーム構造形式が有効であるとされています。このような構造形式を活用しながら、豊富な森林資源を有する北海道の地域特性と、これまで北海道の住宅事業者が育んできた住宅技術のノウハウと利点を生かしていけば、低負荷な「長寿命住宅」の全道展開が可能となります。

一方、フレーム構造形式の住宅は、これまで本道で普及定着している一般的な在来軸組構法の住宅とは構造計画上、異なる部分が多く、特にフレーム接合部は特別な対応が必要となります。しかし、木造住宅の設計者や工務店の方々を対象とした、耐震性能を確保するための接合部の設計・評価法の理解を深めるための資料や、道産材の柱・梁で構成されるフレームの接合方法を開発・設計するための技術情報はほとんど整備されていないのが現状です。

これらに着目し、当研究所は、道内の木造住宅設計者や建築技術者等による、道産材を活用した「長寿命住宅」の設計と構法開発を技術的に支援することを目的とし、重点研究「木造住宅の新構法開発のための部材接合部の応力伝達メカニズムと設計・評価手法に関する研究（研究期間：平成 21～22 年度、共同研究機関：林産試験場、北海道大学、北海道工業大学）」を実施しました。本書は同研究成果を踏まえ、道産材に対する接合具の抵抗特性を示す実験データを活用して具体的な接合部の設計事例を示し、道内の木造住宅の設計・施工に活かされるように技術者向けの資料としてまとめたものです。

本書の活用により、これからの時代にふさわしい良質な住宅供給が行われるとともに、道内の木造住宅設計者や建築技術者の技術力がさらに向上するものと期待しております。

平成 23 年 7 月 11 日

地方独立行政法人　北海道立総合研究機構
建築研究本部　北方建築総合研究所長　瀧田　裕道

目　次

本手引きの適用範囲と特徴・構成 …… 1

開発・設計のフロー …… 3

Step1 建物条件の設定 …… 5

Step2 接合部の回転剛性の設定 …… 6

Step3 必要モーメントと層間変形角の算出と層間変形角のチェック …… 9

Step4 接合形式の選択 …… 12

Step5 接合具と木材間の抵抗特性 …… 17

Step6 接合具の配置と実回転剛性・最大モーメントの算出 …… 19

Step7 接合部の実回転剛性・最大モーメント及び層間変形角のチェック …… 21

Ⅰ　ドリフトピン接合部の例 …… 24

Ⅰ-Step5　接合具と木材間の抵抗特性 …… 25

Ⅰ-Step6　接合具の配置と実回転剛性・最大モーメントの算出 …… 27

Ⅰ-Step7　接合部の実回転剛性・最大モーメント及び層間変形角のチェック …… 29

Ⅱ　ラグスクリューボルト接合部の例 …… 30

Ⅱ-Step5　接合具と木材間の抵抗特性 …… 31

Ⅱ-Step6　接合具の配置と実回転剛性・最大モーメントの算出 …… 34

Ⅱ-Step7　接合部の実回転剛性・最大モーメント及び層間変形角のチェック …… 37

Ref　資料

Ref-1　集成材の特性値 …… 39

Ref-2　ドリフトピン接合の回転剛性と最大モーメント算定式 …… 41

Ref-3　ラグスクリューボルト接合の構造特性値の算定式 …… 43

Ref-4　在来軸組構法に求められる接合性能 …… 46

Ref-5　在来軸組構法の接合部の仕様と耐震診断 …… 47

Ref-6　参考文献・引用文献一覧 …… 48

本手引きの適用範囲と特徴・構成

本手引きの適用範囲

本書は、一般の木造住宅設計者や、新たな住宅構造システムを開発しようとする技術者を対象としています。

ここで検討対象とした建物はフレーム構造形式で、規模などは次の通りです。

・フレームのスパン	：6m以下
・フレームの設置間隔	：2m以下
・階数	：2階建て以下
・階高	：3m以下
・屋根上積雪荷重	：3.9kN/m^2 以下
・柱・梁断面	：105×210～120×360mm（同一断面）
・柱・梁のヤング係数	：10.5×10^3N/mm^2
・半剛接接合部の配置箇所	：柱梁接合部、1 階柱脚（同一性能）

これらの設定は、大断面を用いた大スパン構造ではなく、各地域に根ざしている在来軸組構法の延長上にある住宅規模を想定して行ったもので、現実的かつ適用性の高い範囲を網羅しています。しかし、利用のし易さに配慮したため、本書だけで対応できる開発・設計の範囲は限られています。

このため、より大きな柱・梁断面や大スパンの開発などを行う場合は、別途、フレーム解析などの作業が必要となりますが、本書で示した開発・設計フローや、道産材と接合具との抵抗特性に関するデータは、そのまま使用することができます。

なお、「フレーム」に類似する言葉として「ラーメン」があります。「ラーメン」とは「各節点で部材が剛に接合されている骨組み」と定義されていますが、木質構造における接合部は、一般に半剛接合となりますので、ラーメンというよりは「フレーム」というのがより適切と考えられます。このため、本書では「フレーム」で統一しています。

本手引きの特徴・構成

一般に、接合部の開発・設計は、接合部の仕様を幾度も変更しての確認実験を繰り返す作業であり、大きな時間・費用・労力を要するものでした。

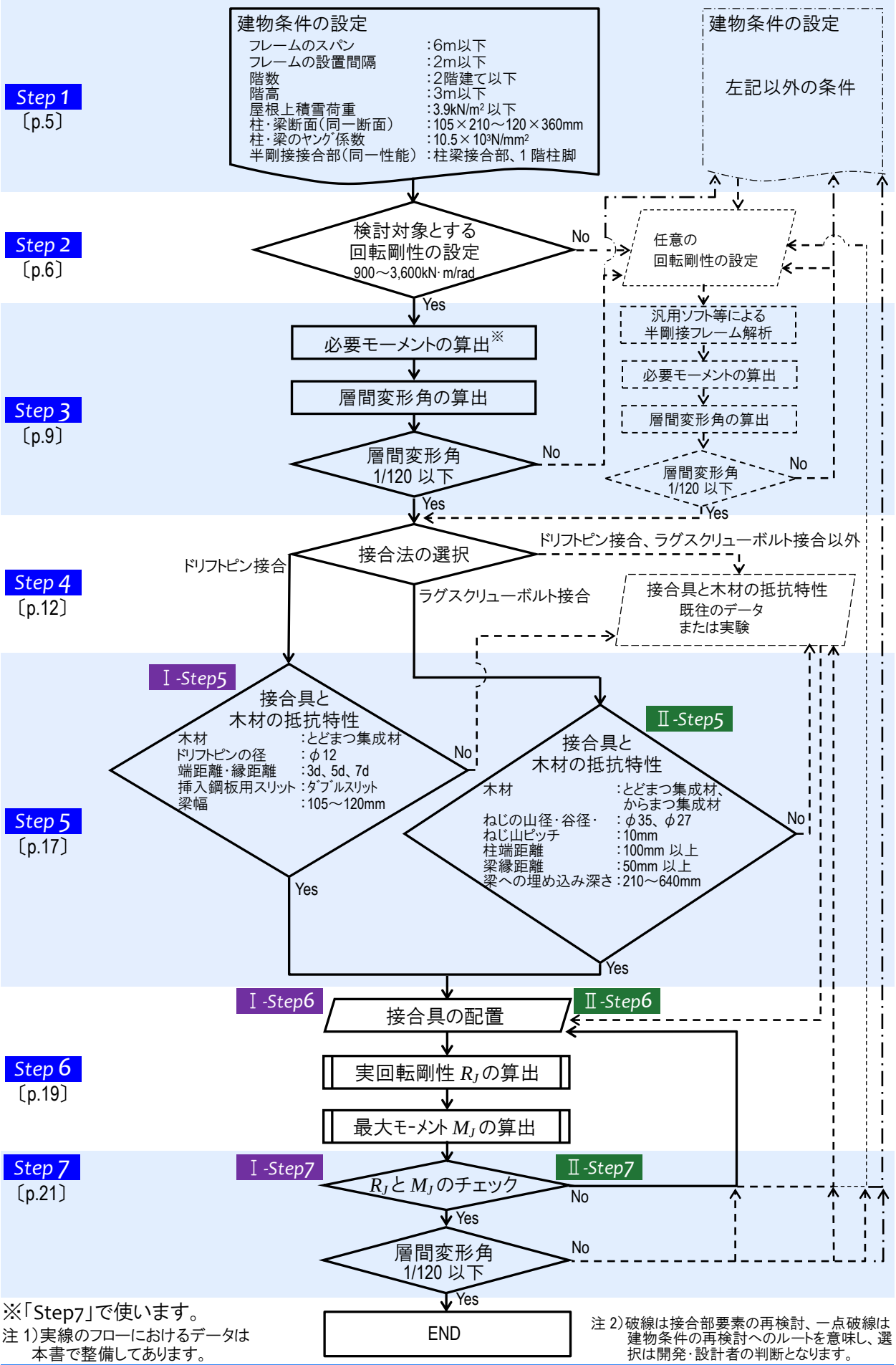
そこで本書では、次頁以降の「開発・設計のフロー」に従うことにより、木造住宅設計者などの方々が実験などを行わずに接合部の開発・設計を行えるようにしました。フローにおける各ステップ（Step）では、手順の説明だけでなく、木質構造の接合部に関する基礎知識も整理してあります。

また、開発・設計例を通して木質構造の開発や設計に携わる住宅技術者の方々が、接合部設計のポイントや応力伝達メカニズムなど、高度な内容の理解を深めることができるようにも配慮しています。

さらに、巻末では、本書で取り扱う計算式の解説や、在来軸組構法の接合部に関する情報などを紹介しています。

これにより、接合部実験の試行錯誤ではなく、どのような構造特性をどの程度向上させる必要があるかなどについて、机上での検討が可能となり、効率の良い接合部の開発・設計が行えると考えます。

開発・設計のフロー



※「Step7」で使います。

注 1)実線のフローにおけるデータは本書で整備してあります。

注 2)破線は接合部要素の再検討、一点破線は建物条件の再検討へのルートを意味し、選択は開発・設計者の判断となります。

Step 1

建物条件の設定

検討対象とする建物の規模などに関する条件を設定します。

本書では、2間(約 3.6m)から3間(約 5.5m)程度の2層フレーム構造を検討対象とし、建物条件を設定しました。これは、家族構成や生活様式の変化へ対応できる汎用性の高い開放的な空間へのニーズは高まっていますが、大断面を用いた超大スパン住宅構法のような、これまで取り扱ってきた在来構法と劇的に異なる構法ではなく、これまで培ってきた住宅構法の延長にある構法を開発・設計の目標としたためです。また、そのような位置づけの住宅構法の開発が普及の上でも有効ではないかと考えたためです。

以上を踏まえ、本書では建物の各種条件を下記の【適用できる建物条件】のように設定していますが、一般的な木造戸建て住宅のほとんどに適用できると考えています。

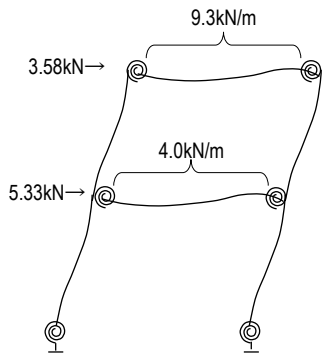


図 1-1 適用条件:スパン4m

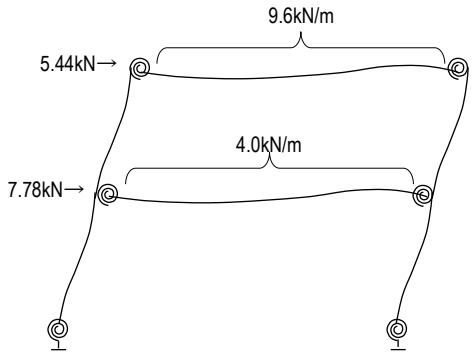


図 1-2 適用条件:スパン6m

表 1-1 適用できる建物条件

フレームのスパン	:6m以下
フレームの設置間隔	:2m以下
階数	:2階建て以下
階高	:3m以下
屋根上積雪荷重	:3.9kN/m^2 以下
柱・梁断面(同一断面)	:105×210～120×360mm
柱・梁のヤング係数	:10.5×10^{3}N/mm^2
半剛接接合部(同一性能)	:柱梁接合部、1 階柱脚

☜これらの条件は、接合部へ作用する力やフレームの変形を算出する際に使用します。

表 1-2 荷重条件等一覧

積雪単位荷重		30	N/m^2/cm
垂直積雪量		130	cm
積雪荷重		3.9	kN/m^2
屋根荷重		0.23	kN/m^2
小屋組自重		0.16	kN/m^2
梁・天井・断熱材等の自重		0.50	kN/m^2
外壁荷重		0.7	kN/m^2
床荷重		1.27	kN/m^2
大梁計算用床荷重		1.96	kN/m^2
スパン	L	4 or 6	m
単位骨組み間隔	B	2	m
屋根高		0.2	m
2階高		3	m
1階高		3	m
設計用固有周期	T	0.186	sec
	α	1	
地震係数	Z	0.8	旭川市
振動特性係数	Rt	1	
標準層せん断係数	C0	0.2	

接合部の回転剛性の設定

検討対象とする接合部の回転剛性の値を設定します。

回転剛性とは、半剛接合となる接合形式の構造特性の一つです。

フレーム解析を行うことができれば、接合部に作用するモーメントやフレームの層間変形角を把握することができます。

(1) 半剛接合とは

木質構造の接合形式は、①ピン(ヒンジ)接合、②剛接合、③半剛接合の 3 つに大きく分類できます。

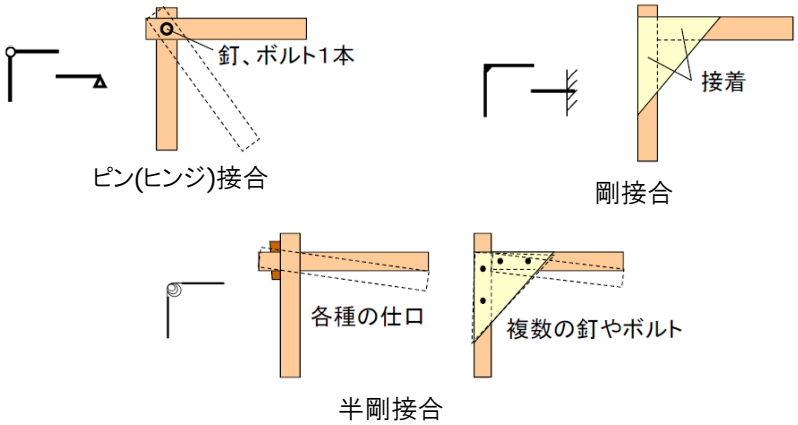


図 2-1 木質構造の接合形式

木質構造における接合部では、完全な「ピン(ヒンジ)接合」や、完全に固定された「剛接合」はほとんどなく、木材どうしを組み合わせた伝統仕口や、釘やボルトなどの接合具を用いた「半剛接合」が一般的です。半剛接合部では、回転やすべりを生じます。このような半剛接合部には、軸力だけでなく曲げモーメントも作用します。木材は異方性材料であるため、接合部がモーメントに抵抗すると、各接合具(釘やボルトなど)に加わる力の向きが変わり、耐力上不利になることがあります。

半剛接合部で構成された建物の変形の過半は接合部の変形です。したがって、いくら柱や梁といった部材の剛性を高めても、接合部の性能が不十分だと、変形を抑える効果はあまり期待できません。また、構造耐力も、筋かいの座屈で破壊するような場合を除いて、ほとんどの場合は接合部の耐力で決まります。このことは、同じ材料を使用しても、接合部の性能の良否で、出来上がった建物の構造性能に大きな差が生じることを意味します。

☜「座屈」
一定の力が作用している時、突然変形の様子が変わる現象を言います。

両端がピン接合、半剛接合、剛接合された梁の曲げモーメント分布の違いを比較すると次の図のようになります。

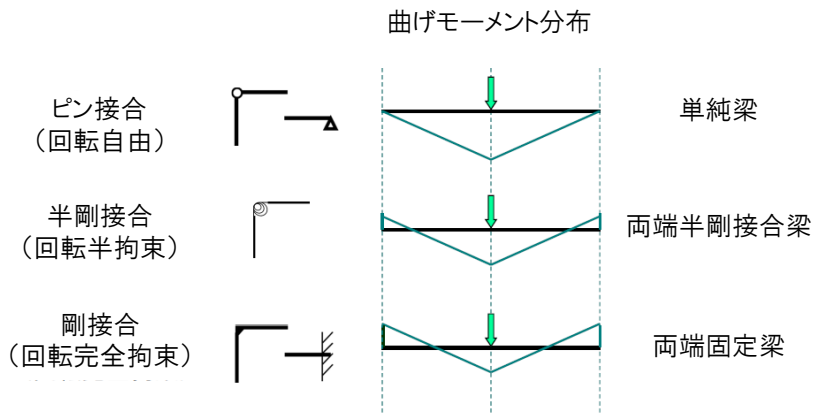


図 2-2　接合形式と力の伝わり方

半剛接合部に加わるモーメントは、剛接合部に加わるモーメントより必ず小さくなります。したがって、剛接合を仮定して算出したモーメントに耐えられるように接合具の配置を行えば、不経済であっても安全性は確保できます。しかしながら、剛接合の仮定では、層間変形角やたわみの計算はできません。逆に、ピン接合と仮定すると、梁のたわみは計算可能となりますが、フレームなどでは不安定構造となって、層間変形角の計算は不可能になります。

☜「不安定構造」
外力に抵抗できる要素が無い構造のことを言います。

(2) 半剛接合部の構造特性—回転剛性と最大モーメント—

半剛接合となる柱−梁接合部の構造特性を表す指標値には、回転剛性と最大モーメントがあります。

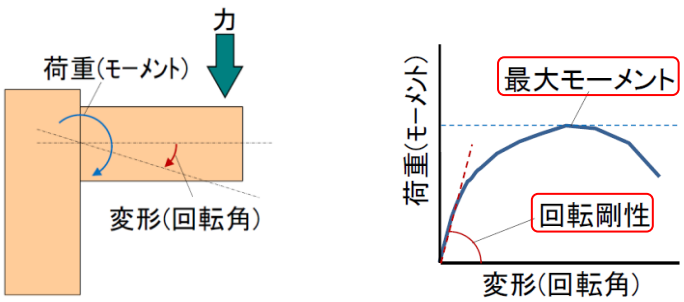


図 2-3　柱-梁接合部の回転剛性と最大モーメント

いずれも、接合部を回転させようとする力に対して抵抗する性能を表しますが、「回転剛性」は回転変形のしにくさを、「最大モーメント」は回転を起こす力に対して耐えることのできる最大値を意味します。

(3) 回転剛性の設定

フレーム解析において「半剛接合を仮定」するとは、柱と梁の角度が常に直角を保つのではなく、その接合部に作用するモーメントに応じて角度が変わるような設定をすることを意味します。具体的な回転剛性を設定しなければ半剛接フレーム解析は行えません。また、フレーム解析を行わなければ、フレームの層間変形のチェックも行えません。

☜フレーム解析に際して必要となる接合部の情報は回転剛性ですが、接合部の回転剛性と最大モーメントを評価する際には、接合具と木材との間の抵抗特性を把握する必要があります。

本書では、近年開発された接合部の構造特性などを参考に回転剛性を設定することとしました。近年開発された柱−梁接合部の構造特性を概観すると下図のようになります。

☜構造特性とは「回転剛性」と「最大モーメント」のことです。

現状ではガセットプレートを活用した接合法が多くを占めています。また、ガセットプレートを用いた接合法の2～3倍ほど回転剛性の向上を図った接合形式としてラグスクリューボルトなどを用いる引き抜き抵抗型の接合法が実用化されています。本書では、両タイプの接合部の検討が行えるように、回転剛性として、900、1,800、3,600kN·m/rad の3水準を設定しました。

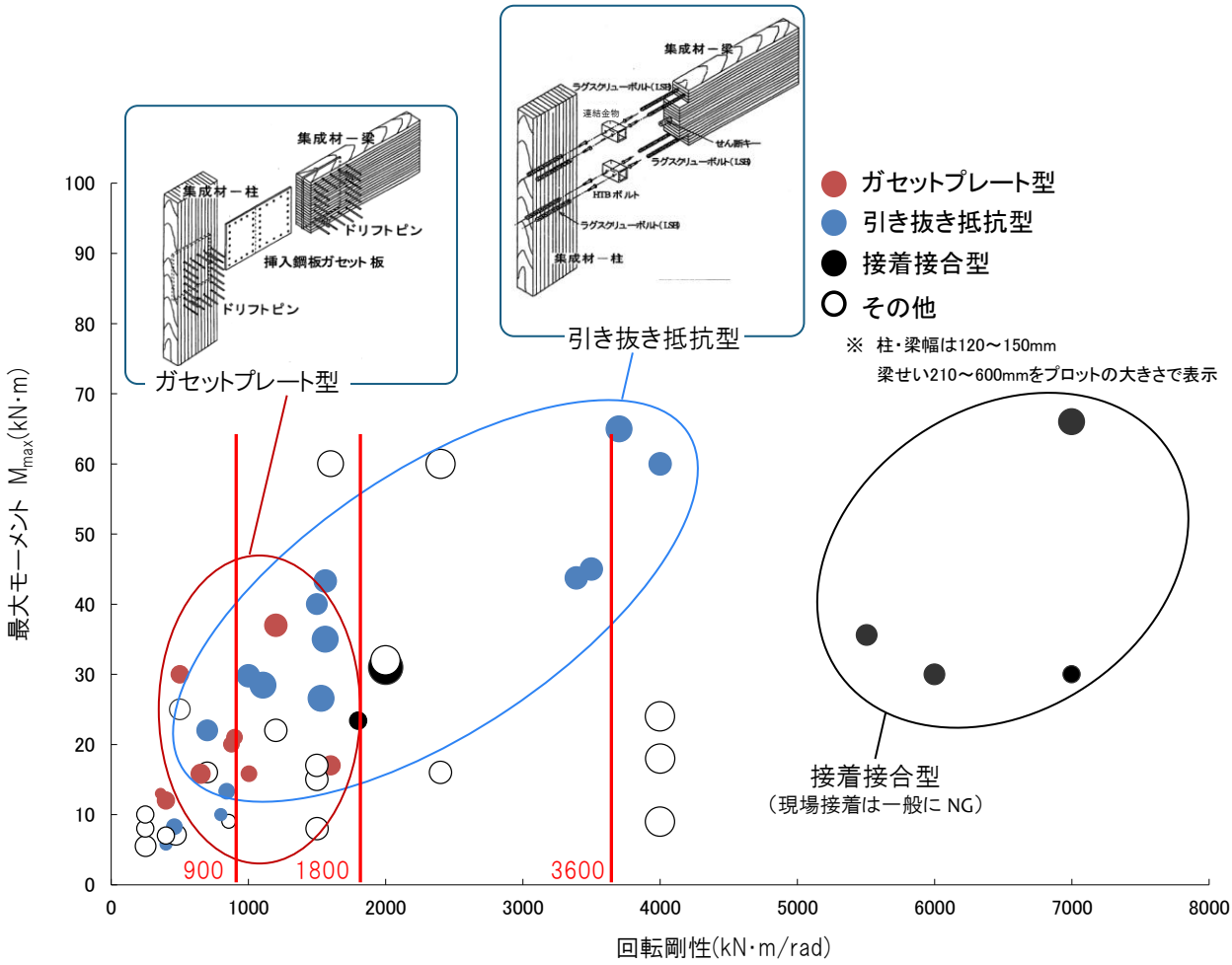


図 2-4 柱-梁接合形式と接合部の構造特性
(概略図の出典：参考文献 8)

必要モーメントと層間変形角の算出と層間変形角のチェック

フレーム解析を行い、接合部に作用するモーメント(必要モーメント)の算出と、層間変形角のチェックを行います。

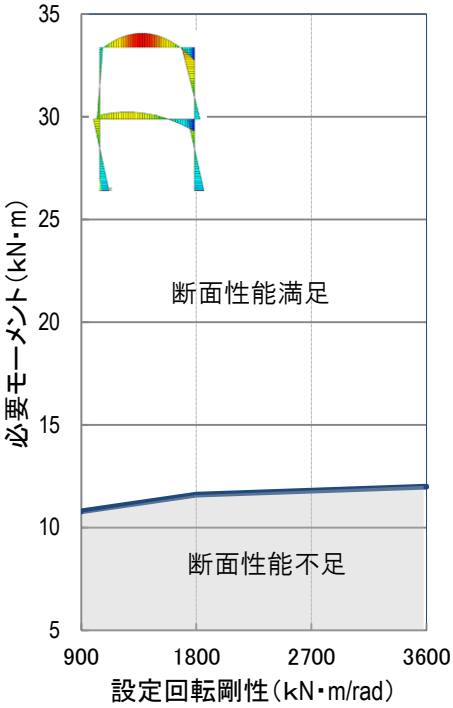


図 3-1 スパン4m、
柱・梁断面 105×210mm

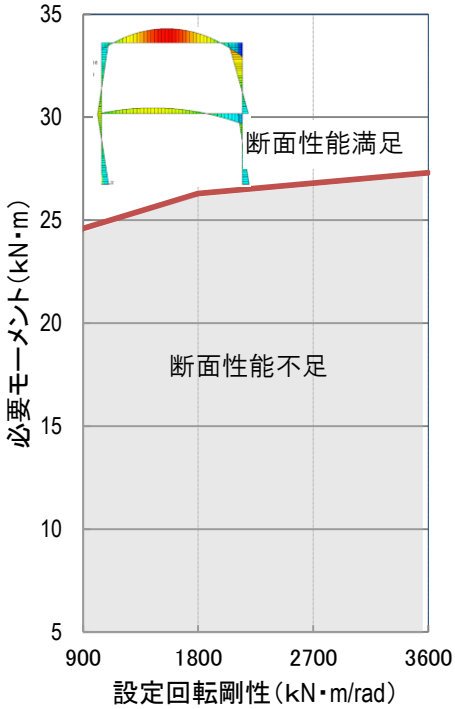


図 3-2 スパン6m、
柱・梁断面 105×210mm

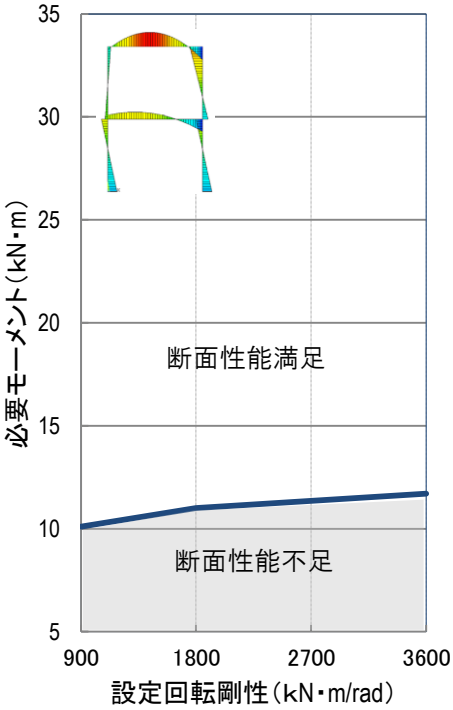


図 3-3 スパン4m、
柱・梁断面 120×240mm

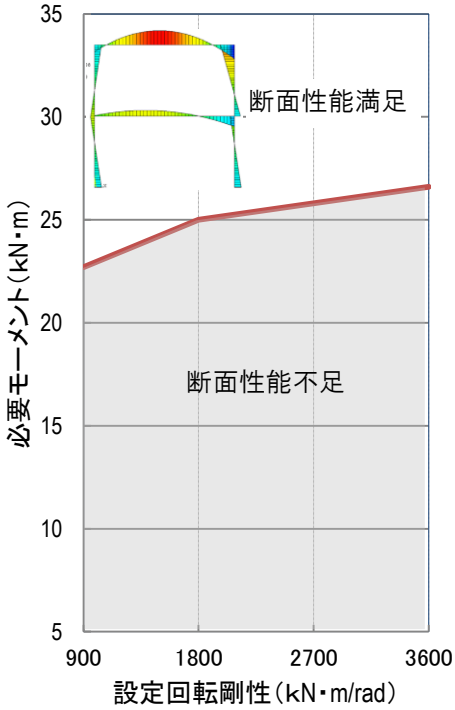


図 3-4 スパン6m、
柱・梁断面 120×240mm

【回転剛性と最大モーメント】と【層間変形角】の両方をクリアーしなければなりません。

ここでは、Step1 と Step2 で設定した条件に基づき、半剛接合を仮定したフレーム解析を行った結果を図示します。

フレーム解析には有限要素法解析プログラム（ANSYS10.0）を用いました。

図の見方
この図表から接合部の回転剛性、およびスパンの組み合わせで、接合部に必要なモーメントの大きさが変わることがわかります。必要モーメントとは、開発・設計する接合部に要求されるモーメントの大きさのことです。
同じ断面・同じスパン(個々の図中)では回転剛性が大きくなると接合部の必要モーメントが大きくなることがわかります。
同じ断面・同じ回転剛性(左右の図の比較)ではスパン4mよりもスパン6m の場合で必要モーメントが大きくなります。
同じスパン、同じ回転剛性(上下の図の比較)では断面が大きくなると接合部の必要モーメントが小さくなることがわかります。

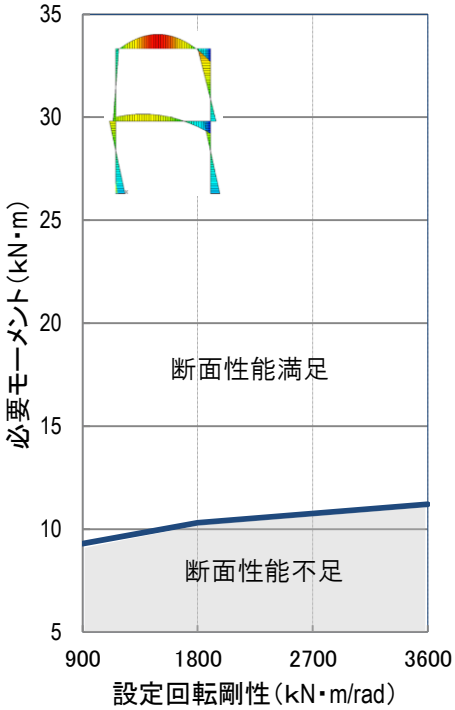


図 3-5 スパン4m、
柱・梁断面 105×300mm

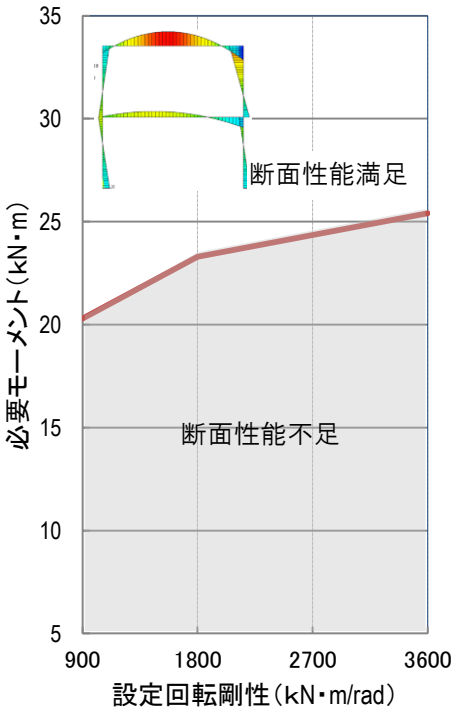


図 3-6 スパン6m、
柱・梁断面 105×300mm

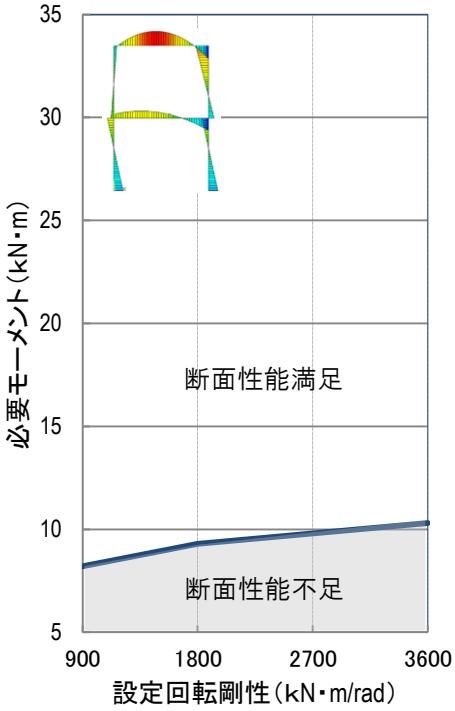


図 3-7 スパン4m、
柱・梁断面 120×360mm

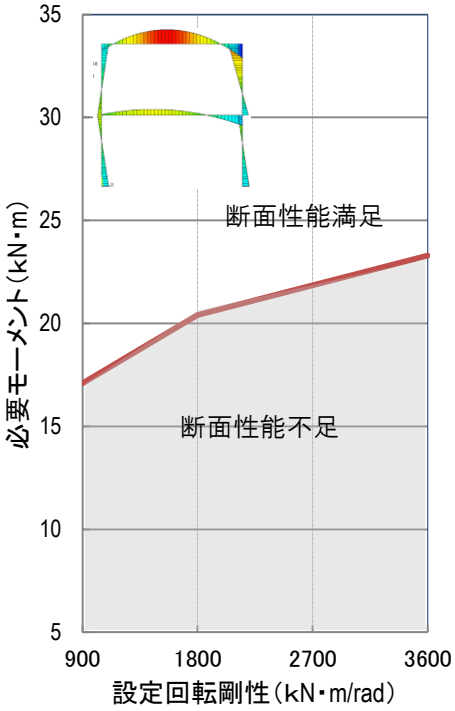


図 3-8 スパン6m、
柱・梁断面 120×360mm

【回転剛性と層間変形角の関係】

フレームの層間変形角のチェックを行います。回転剛性と層間変形角との関係は下図のとおりです。柱・梁断面を 105×210mm とした場合は、フレームの変形が大きくなり、4mのスパンを確保することが困難であることなどが分かります。

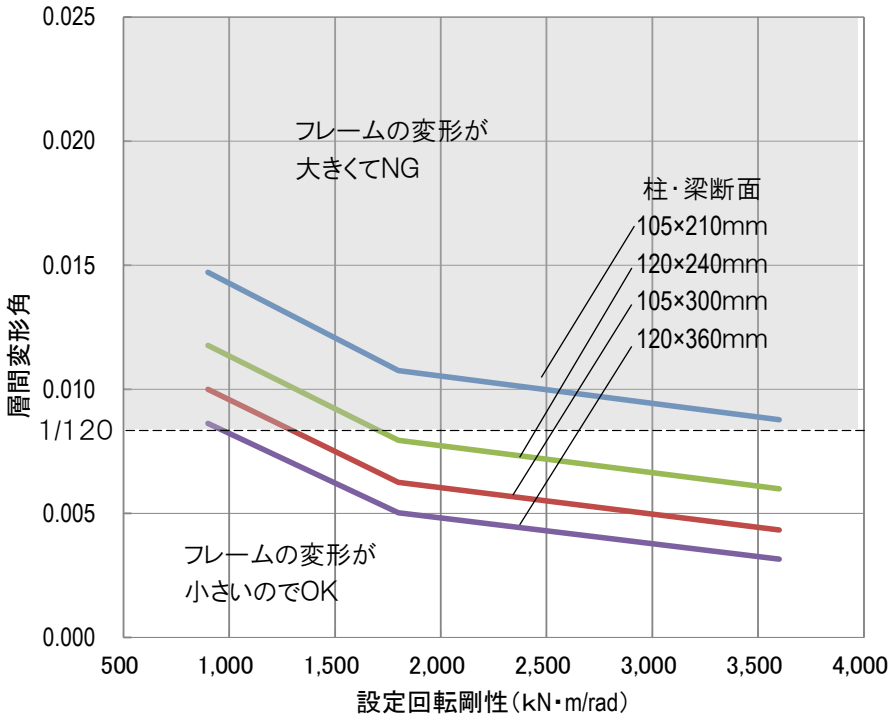


図 3-9 スパン：4m

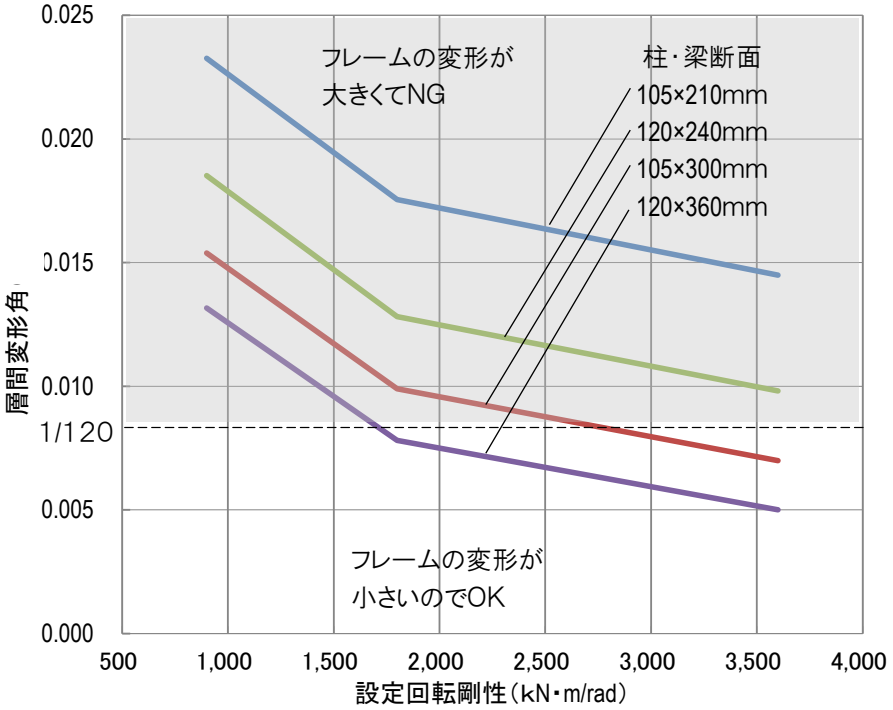


図 3-10 スパン：6m

☜200 分の 1 を基準にする場合もあります。

☜これらの図表から、設定した建物条件において、層間変形角を 1/120 以内におさめるために必要な接合部の回転剛性を、柱・梁断面との関係で整理すると、次の表のようになります。

柱梁断面	回転剛性	
	ｽﾊﾟﾝ 4m	ｽﾊﾟﾝ 6m
105×210	適用範囲外	適用範囲外
120×240	1750 以上	適用範囲外
105×300	1300 以上	2800 以上
120×360	1000 以上	1750 以上

☜ 200 分の 1 を基準にする場合もあります。

接合形式の選択

接合形式の特徴などを把握し、検討対象とする接合形式を選択します。

ここでは、様々な接合形式の中から、木造住宅に適したガセットプレート型と引き抜き抵抗型の接合形式の特徴を以下に解説します。

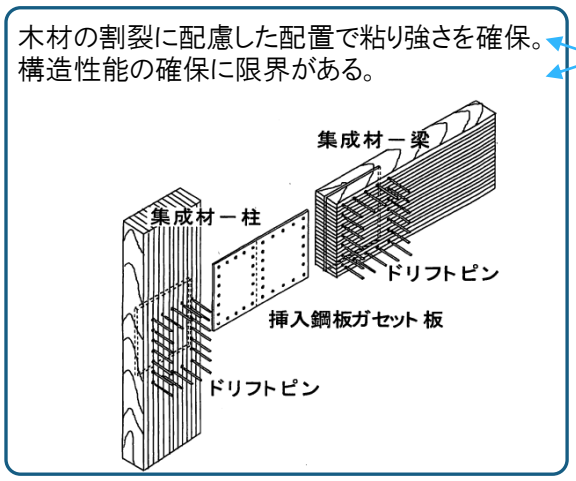


図 4-1 ガセットプレート型

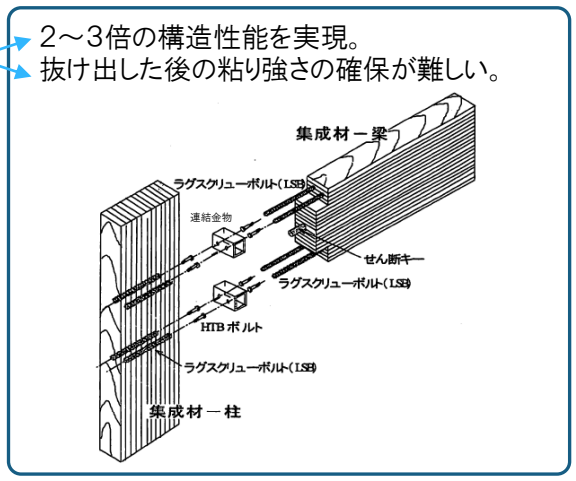


図 4-2 引き抜き抵抗型

ガセットプレート型に分類されるドリフトピンを活用した接合形式は、パイプ挿入型にも対応できるなど、応用範囲の広い接合形式です。

また、引き抜き抵抗型に分類されるラグスクリューボルト接合には、ガセットが不要(鋼材の経費が節減)、解体が容易(リユースも可能)、2方向ラーメンへの展開も可能であるなどといった多くの長所があります。

本書では、ガセットプレート型に分類される鋼板挿入ドリフトピン接合形式と、引抜き抵抗型に分類されるラグスクリューボルト接合形式を選択した場合のそれぞれについての検討例を示します。

なお、木質構造で剛接合として扱える可能性のあるのは接着接合です。接着接合は剛性、耐力ともに伝統継手・仕口や接合具による接合法に勝りますが、工程管理の問題から、現在のところ施工現場での接着は一般には認められていません。接着接合の短所としては、万が一接着不良があると非常に脆い壊れ方をすること、長期的な接着耐久性についてまだ十分に検証されていないことがあげられます。

(1) ドリフトピン接合の特徴

梁受け金物に用いられていますが、大断面構造物においてもモーメント抵抗接合の代表格として用いられてきました。

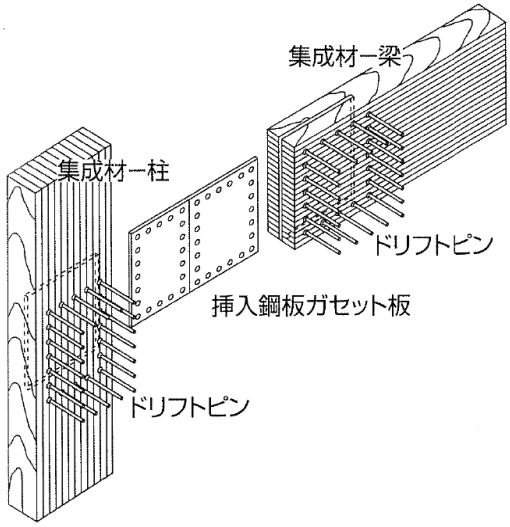


図 4-3 鋼板挿入式ドリフトピン接合の例 4)

ドリフトピンを用いた接合形式には、下図に示すような形式があります。住宅などで多くの実績のあるのは鋼板挿入式のドリフトピン接合です。

写真 4-1 ドリフトピン

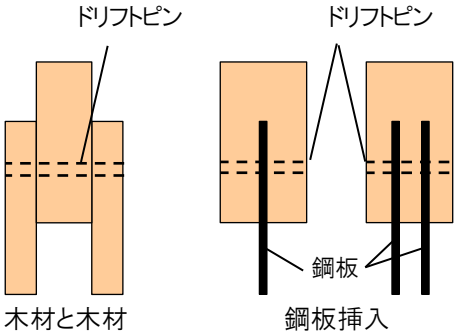


図 4-4 ドリフトピンを活用した接合形式

ドリフトピンはボルト接合と同様に、部材に孔あけ加工を施しますが、この先孔はドリフトピンの径よりも若干小さな径とします。そこへドリフトピンを打ち込みますので、ボルト接合よりもがたつきが小さく、初期剛性の高い接合方式とすることができます。

先孔へドリフトピンを打ち込むだけですので、施工も簡便です。また、ボルト頭やナットなどの突起物が出ません。更には、ピン孔を木栓で塞ぐこともできますので、美観を保ちながら、火災時のドリフトピンの変形な

どを防ぐための工夫も可能です。

打ち込まれたドリフトピンは、接合部が変形しようとする際に、木材にめり込んで抵抗します。ドリフトピン自体を変形させるように、木材のめり込み耐力を下回るようにドリフトピンの直径や長さを設定すると、粘り強い接合部となります。

繊維直交方向に力が加わると割裂を生じやすいので、割裂が生じないために留めつけ間や、端距離（木口からの距離）と縁距離（側面からの距離）を十分に確保する必要があります。

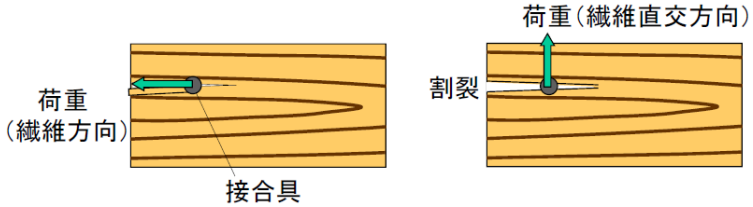


図 4-5　木材の繊維の方向と割裂

梁受け金物として使用する場合は鉛直荷重のみを対象として、繊維直交方向のみの性能検証で十分ですが、フレーム構造の接合部ではモーメントに抵抗する要素となるため、ドリフトピンがいろいろな方向にめり込むことを考慮しなくてはなりません。単純に大きなモーメント抵抗性能と回転剛性を確保するためには、できる限り大きな鋼板を挿入し、鋼板の周辺に沿ってドリフトピンを配置することが有効ですが、木材の同一繊維上にドリフトピンが並ぶと割裂に対して不利に働きます。このため、できるだけ同一繊維上にドリフトピンが並ばない配置を考える必要があります。

(2) ラグスクリューボルト接合の特徴

ラグスクリューボルト接合は、ラグスクリューボルトのネジ山が木材に引っかかることで引き抜きに抵抗します。

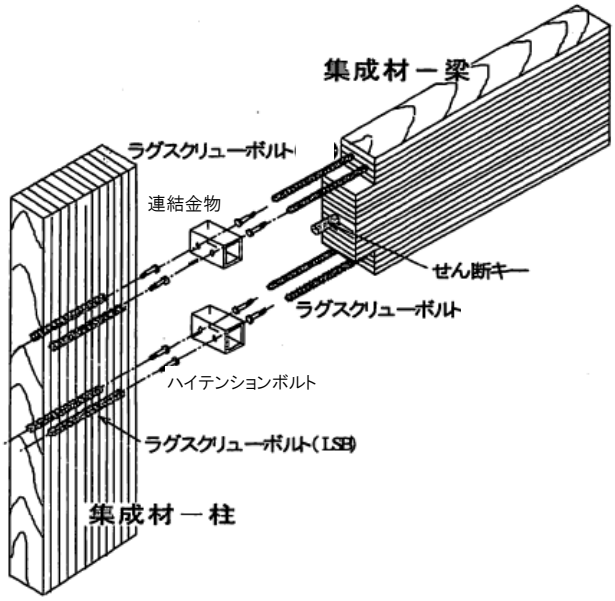


図 4-6 鋼板挿入式ドリフトピン接合の例 5)

ラグスクリューボルトとは、軸部には雄ネジが切られ、軸端の内部に雌ネジが設けられた接合具です。軸部を木材中にねじ込んで使用します。

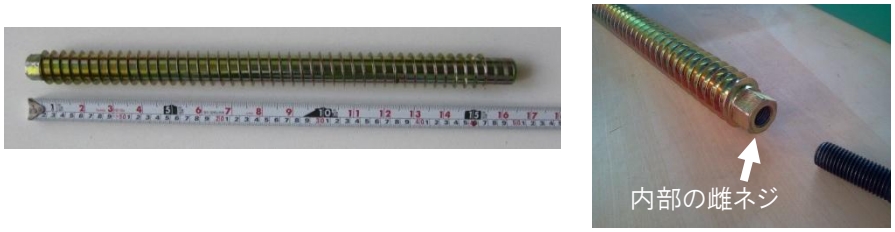


写真 4-2 ラグスクリューボルト

埋め込み長さは柱の断面の大きさ、また、埋め込み位置は梁の断面の大きさの制約を受けます。

柱と梁にそれぞれ埋め込んだラグスクリューボルトを現場で連結金物を用いて連結する方法が一般的で、この連結金物も柱梁部材にめり込み抵抗して接合性能に寄与します。梁中央にせん断キーを挿入するなどして、せん断力をせん断キーに負担させるような配置・設計が多く見受けられます。

☜ラグスクリューボルトは、柱に対しては柱の厚さまでしか埋め込み長さを確保できません。

上下配置されるラグスクリューボルトの距離が大きいほど、伝達できるモーメントが大きくなるので、梁の断面が大きい方が有利です。できる限り上端側あるいは下端側に近づけて埋め込むことも有効ですが、十分な縁・端距離が無いと引き抜き耐力を十分に発揮することなく、割裂してしまいます。

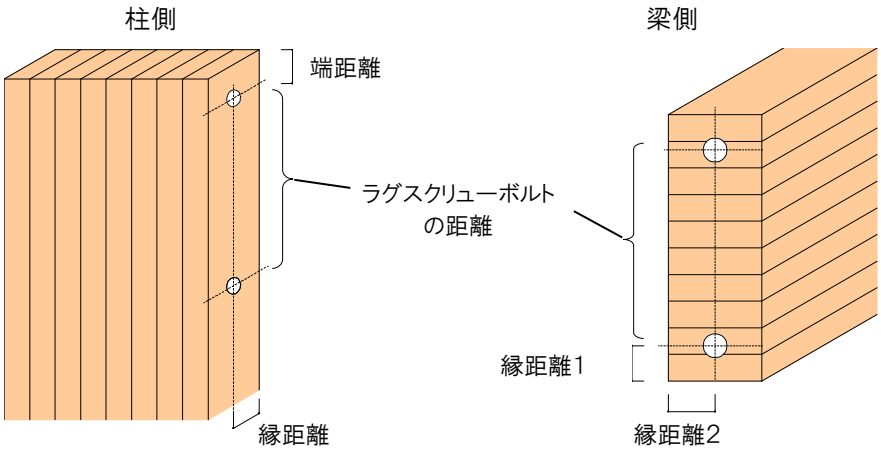


図 4-7 ラグスクリューボルトの配置

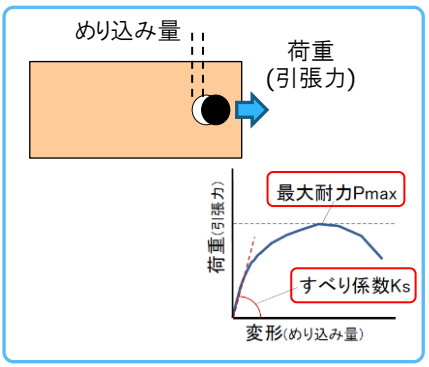
引き抜き耐力は、ラグスクリューボルトのネジ山径・谷径、ネジピッチの影響も受けますが、ネジの埋め込み長さ、木材の樹種（比重）、埋め込み方向（加力方向に対する部材の繊維方向）で大きく異なります。

接合具と木材間の抵抗特性

接合部を構成する接合具と木材間の「すべり係数」と「最大耐力」を把握します。

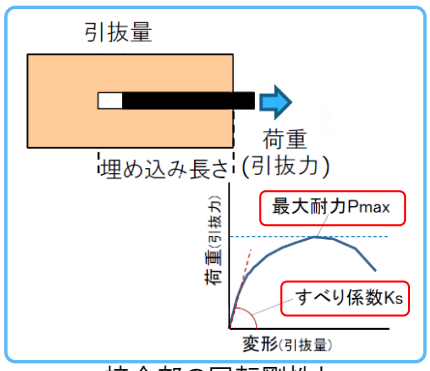
(1) 接合具と木材間の抵抗特性

接合部を構成する要素である接合具と木材間の抵抗特性を表す指標値には、接合具と木材間の「すべり係数」と「最大耐力」があります。これらが分かっていれば、多くの接合部実験を実施することなく、先ずは机上で接合部の構造特性を推定することができます。



接合部の回転剛性と
最大モーメントを算出

図 5-1 ドリフトピンと木材



接合部の回転剛性と
最大モーメントを算出

図 5-2 ラグスクリューボルトと木材

このすべり係数と最大耐力は樹種(特に比重)に依存し、同じ樹種でも大きなバラツキを持っています。また、木材が異方性材料であるため、繊維方向、繊維直交方向の違いでも大きく異なります。

(2) 接合耐力の異方性

接合部は、できるだけ強くて粘り強いものとすることが必要です。

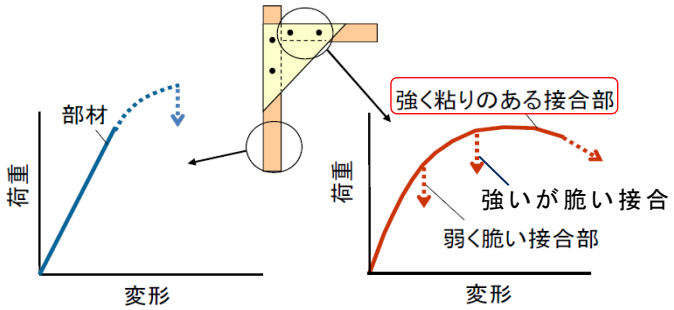


図 5-3 接合部の耐力特性

抵抗特性は実験によって把握できますが、本書では、ドリフトピンについてはとどまつ集成材、ラグスクリューボルト接合についてはとどまつ集成材とからまつ集成材との抵抗特性を整備しています。

☜ドリフトピンについては、とどまつ集成材を対象とし、様々な端距離・縁距離の組み合わせに対するドリフトピンの抵抗特性を整備しました（Ⅰ-Step5）。

☜ラグスクリューボルト接合については、とどまつ集成材とからまつ集成材を対象とし、様々な埋め込み長さに対するラグスクリューボルトの抵抗特性を推定する手法を紹介しています（Ⅱ-Step5）。

そのための重要な注意点の一つに、接合具に作用する力の方向があります。木材は異方性材料ですので、繊維方向に対する力の作用する方向によって力学的な性質が異なります。一般に、繊維直交方向に力が加わると、割裂を生じやすくなり、粘り強さは期待できません。

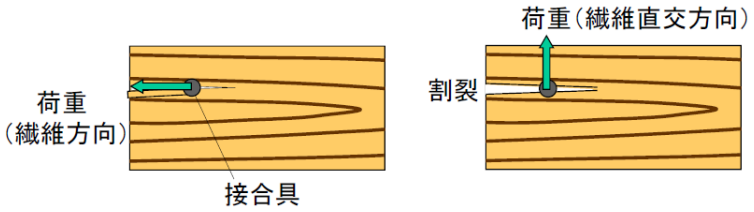


図 5-4　力の作用する方向によって抵抗特性・壊れ方が異なる

接合耐力の異方性は、接合具の種類や後出の径長比（接合具長さの接合具径に対する比）によって大きく異なります。太くて短い接合具を使用すると異方性が大きく、細長い接合具を使用すると異方性が小さくなります。この違いは、接合具の曲がりやすさ、木材のめり込み抵抗や割裂抵抗の違いによる変形破壊形態の差に依存しています。

(3) 接合具径長比（接合具長さの接合具径に対する比）

木材接合部の性能に大きな影響を与える要因の一つに、接合具径長比（接合具長さ(l)÷接合具径(d)）があります。径長比の大小と接合耐力特性の関係を接合具長さが一定の場合を例として、おおまかなイメージで示すと次の図のようになります。

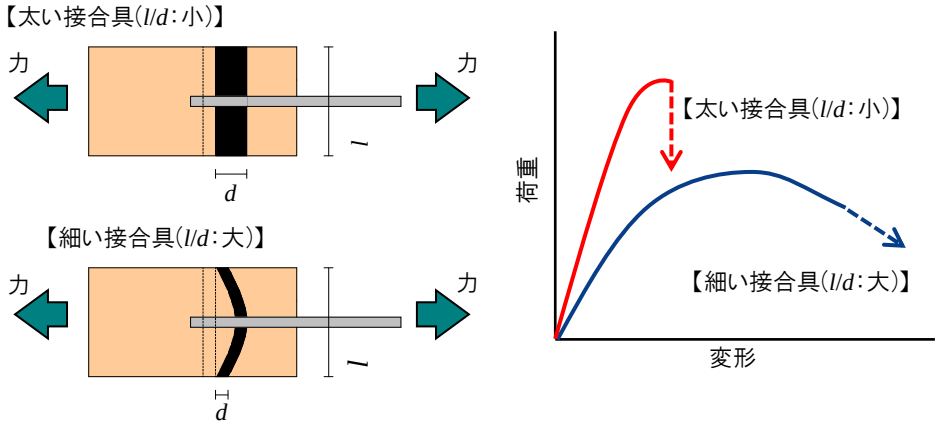


図 5-5　接合具の径長比と接合耐力特性

このイメージ図から分かるように、太い接合具では剛性と耐力は高いのですが、粘り強さが低下します。細い接合具では剛性と耐力は低いのですが粘り強さで優位性があります。なお、接合具 1 本あたりの最大変形能が大きいと、複数の接合具で接合部を構成する時に接合部全体の有効耐力の向上につながります。

接合具の配置と実回転剛性・最大モーメントの算出

接合具の配置を定め、Step5 で把握した接合具と木材との関係に基づき、接合部全体の実回転剛性と最大モーメントを算出します。

(1) 接合具の配置に関する基礎知識

実際の接合部開発・設計時には、太い接合具を少数使用するか、細い接合具を多数使用するかの選択になります。

複数の接合具を用いた実際の接合部では、初期のガタや接合具の位置による力の分配の偏りにより、すべての接合具が初めから有効に力を分担する訳ではありません。もし、接合具 1 本あたりの破壊時変位が小さいと、すべての接合具に力が分配される前に部分的な破壊が進行してしまい、計算上の接合耐力が発揮されません。したがって、施工手間に大きな問題が生じなければ、細い接合具を多数配置した方が安全です。

計算上は接合具を回転中心や中立軸からできるだけ離れた位置にとめつけることができれば、接合部はより大きなモーメントを負担できるようになりますが、木材の接合部の耐力特性は、接合具の材端、材縁からの距離（端距離、縁距離）や接合具間隔に大きく影響されます。

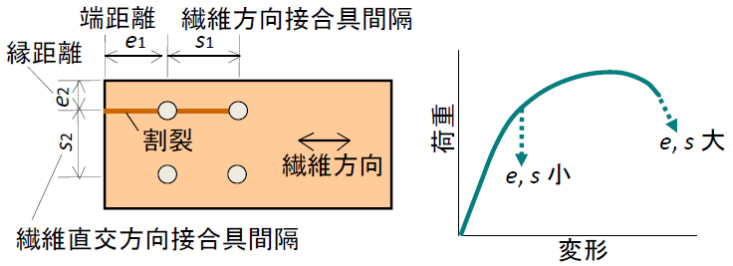


図 6-1 端距離、縁距離、接合間隔と接合部耐力特性

端・縁距離eや接合具間隔sが小さい場合、木材の割裂やせん断による脆い破壊を生じるようになります。割裂の生じる接合部は、最大耐力が低くなるだけではなく、同時に粘り強さが失われて、大地震時の倒壊危険性が高まります。また、割裂やせん断に対する性能は繊維直交方向に力が加わる場合の方が繊維方向に力が加わる場合よりも低いので、可能な範囲で各接合具に加わる力の方向を繊維方向に近づけると、同じ接合具を使用しても接合耐力を向上できます。

具体的な算出手法は、「Ⅰ-Step6」と「Ⅱ-Step6」で示します。

「端距離」
木口からの距離を言います。

「縁距離」
側面からの距離を言います。

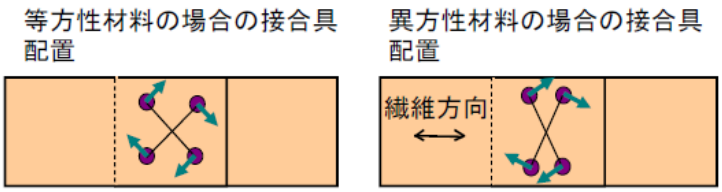


図 6-2 接合具に作用する力の方向を繊維方向に近づけることで耐力向上

(2) 回転剛性と最大モーメントの算出について

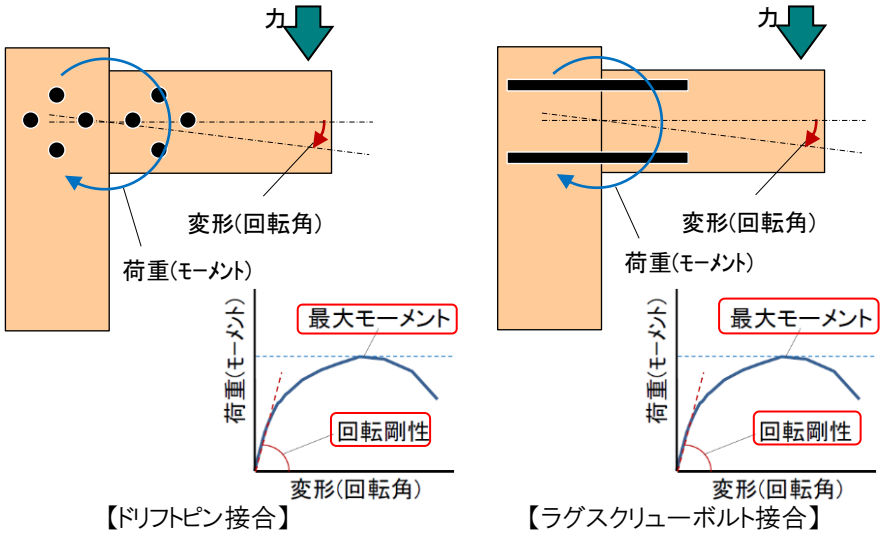


図 6-3 回転剛性と最大モーメント

☜接合部の構造特性とは「回転剛性」と「最大モーメント」です。

回転剛性は、接合部に損傷が生じる前の、接合部作用するモーメントと回転角の関係を表す構造特性値です。接合部を接合具の集合体ととらえ、個々の接合具が配置に応じてそれぞれ異なる変形を伴いながら外力に抵抗していると考えることにより、様々な接合形式についての回転剛性を、接合具の抵抗性能から算出することができます。

最大モーメントは接合部を構成している抵抗要素のうち最も弱い要素が最大耐力に達した時と定義します。この最も弱い要素が最大耐力に達した時の変位(すべり量)を、回転中心(中立軸)からの距離との関係に基づいて回転角に換算します。この時の回転角と回転剛性とを掛け合わせた値が最大モーメントになります。

いずれも、接合形式によって接合具への応力伝達メカニズムが異なりますので、検討する接合形式に応じた算定式を用いることになります。本書では、ドリフトピン接合とラグスクリューボルト接合に関するそれぞれの算定式を整備しました。

☜ドリフトピン接合の算定式は Ref-2 に、ラグスクリューボルト接合の算定式は Ref-3に示してあります。

接合部の実回転剛性・最大モーメント及び層間変形角のチェック

Step6 で算出した接合部の実回転剛性 R_J と最大モーメント M_J の値と、Step3 で算出したフレーム解析結果を用い、実回転剛性に対する最大モーメントと層間変形角のチェックを行います。

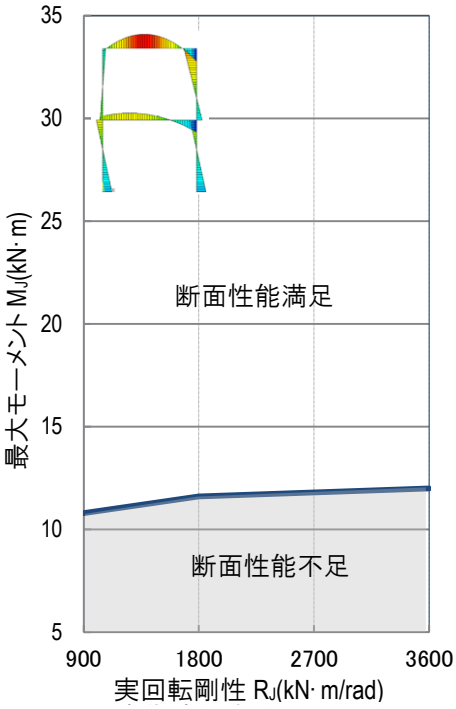


図 7-1 スパン4m、
柱・梁断面 105×210mm

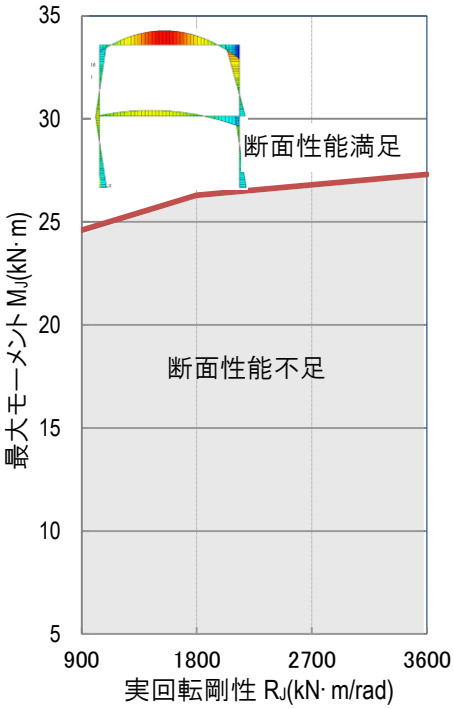


図 7-2 スパン6m、
柱・梁断面 105×210mm

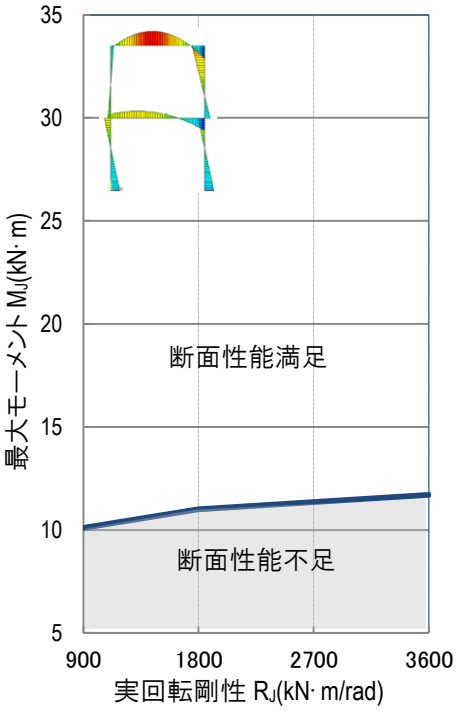


図 7-3 スパン4m、
柱・梁断面 120×240mm

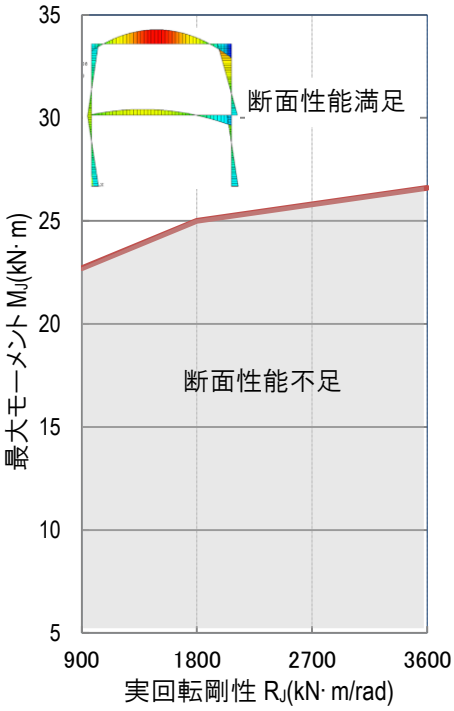


図 7-4 スパン6m、
柱・梁断面 120×240mm

☜チェック図の使い方
①接合部の設計に用いた断面の図表を選択します。（例えば、スパン６ｍを選んでください。）
② Ⅰ -Step6 や Ⅱ -Step6 で算出した実回転剛性（R_J）と最大モーメント（M_J）をその図表にプロットします。
③そのプロットした点が「断面性能満足」の領域にあれば、最大モーメントがフレームの必要モーメントを上回っていることを意味しますので、次の実回転剛性と層間変形角のチェック図表に行ってください。
④もし、その点が断面性能不足であった場合は、スパンが4mであれば可能か否かを同じ要領で確認してみてください。いずれも満足しない場合は、Step3 に戻ってください。それでも満足しない場合には Step1 から再考してください。

Step6 で算出した実回転剛性と最大モーメントが「断面性能不足」の領域へプロットされる場合、接合具の配置を再考します。それでも断面性能不足と判断される場合は、建物条件や柱・梁断面を変更しての検討が必要となります。

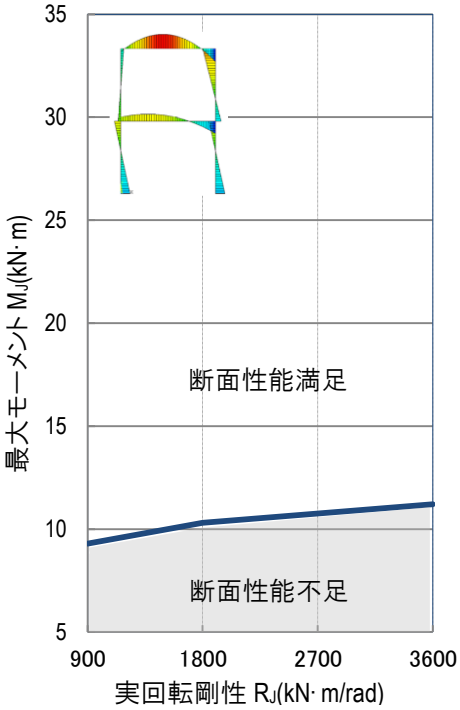


図 7-5 スパン4m、柱・梁断面 105×300mm

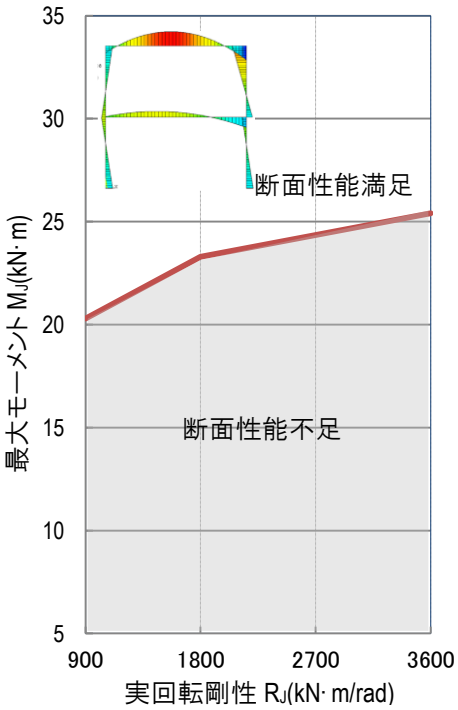


図 7-6 スパン6m、柱・梁断面 105×300mm

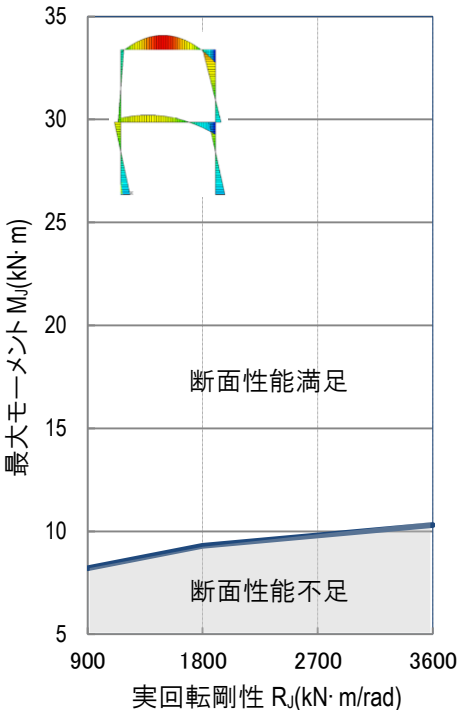


図 7-7 スパン4m、柱・梁断面 120×360mm

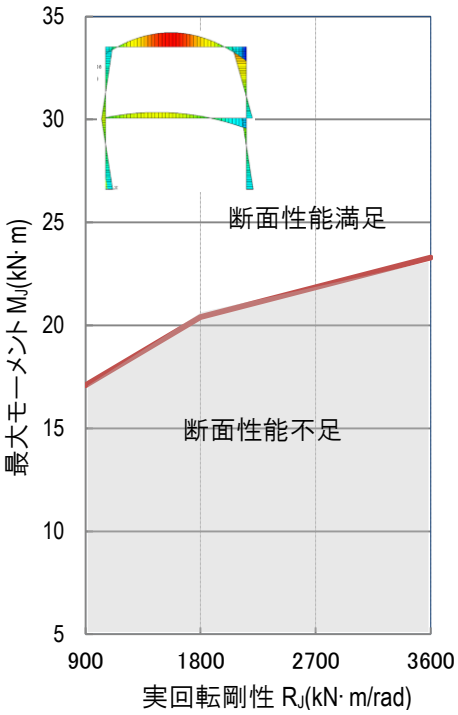


図 7-8 スパン6m、柱・梁断面 120×360mm

Step6 で算出した実回転剛性値（横軸）から立ち上げた直線が、検討対象とした柱・梁断面に対応した実線と交わる点が NG 領域にある場合、回転剛性を高めるように接合具の配置を再考します。それでも層間変形が大きいと判断される場合は、建物条件や柱・梁断面を変更しての検討が必要となります。

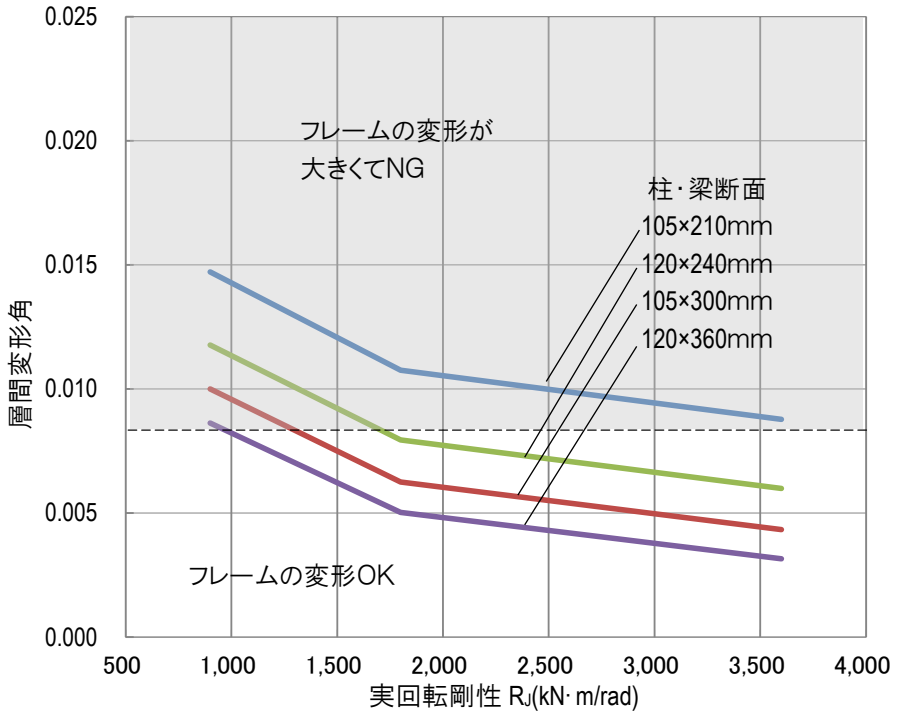


図 7-9 相間変形角のチェックースパン：4m

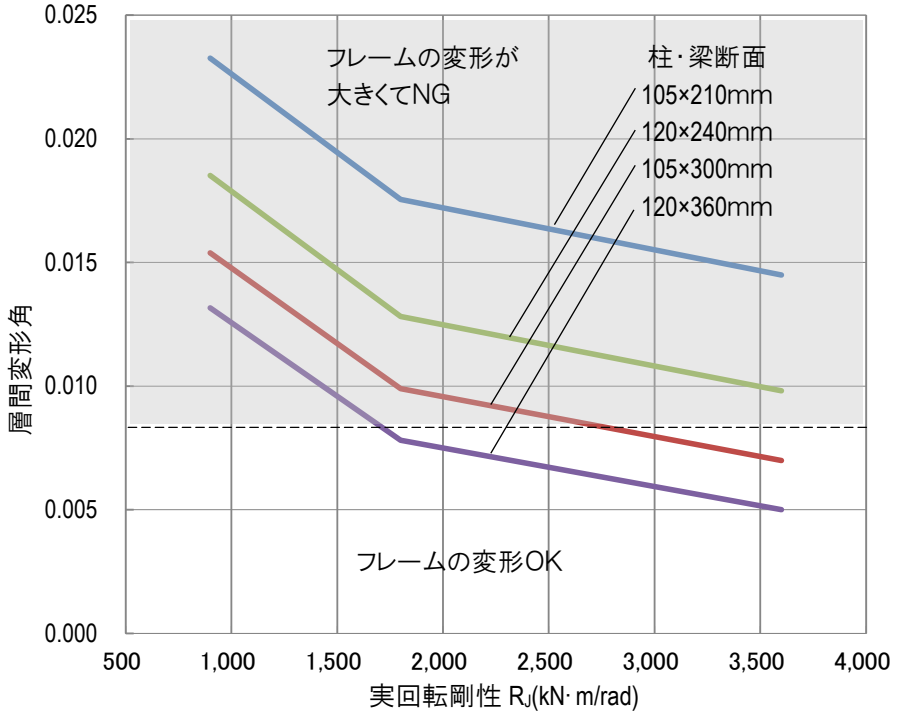


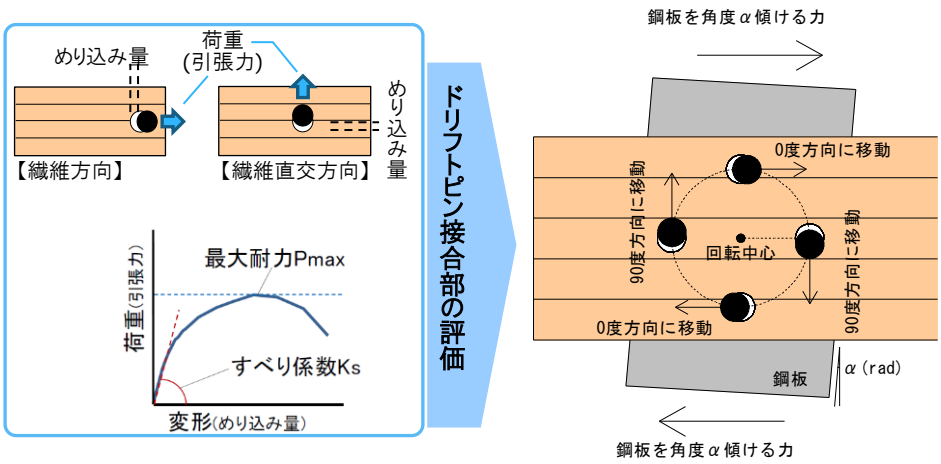
図 7-10 相間変形角のチェックースパン：6m

☜チェック図の使い方
①算出した実回転剛性（R_J）を横軸から直線を立ち上げます。
②その縦線と接合部の設計で用いた断面の折れ線との交点を見つけます。
③その交点が「フレームの変形 OK」の領域にあればフレームが成立します。
④もし、交点が「フレームの変形 NG」の領域にある場合には、step6 に戻り接合具の再配置を検討する、もしくは断面の選択からやり直してください。
⑤それでも成立しない場合は step4 に戻り他の接合を選択するか、Step1、2 に戻りフレームの設計条件を見直してください。

Ⅰ．ドリフトピン接合部の例

Step1～Step4 については、これまでの情報をそのまま活用します。

ドリフトピンの配置によって、変形時の回転中心が決まります。この回転中心を中心に、個々のドリフトピンがそれぞれの方向で木材にめり込みます。この時のすべり係数と最大耐力は、ドリフトピンが打ち込まれている木材の繊維方向との角度によって異なりますが、本書では、繊維方向と繊維直交方向のドリフトピン１本当たりの抵抗特性から任意の角度に対する抵抗特性を算出し（Ⅰ-Step5）、接合部全体の回転剛性と最大モーメントを算出します（Ⅰ-Step6）。



接合具と木材間の抵抗特性

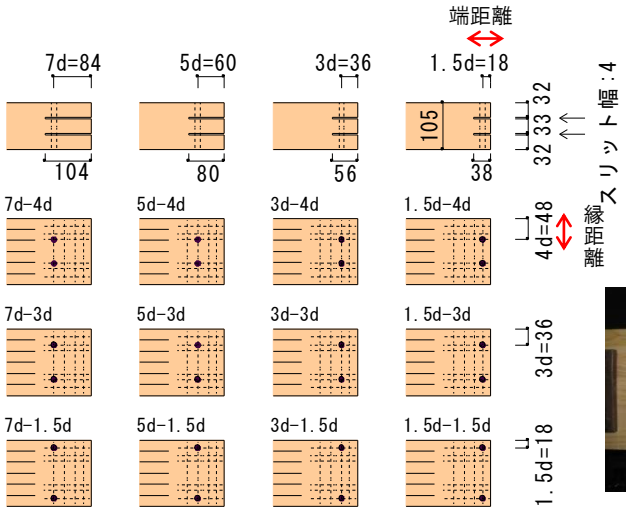
とどまつ集成材に対するドリフトピン１本当たりの抵抗特性

木材の繊維方向と繊維直交方向のそれぞれに対するドリフトピン 1 本当たりの抵抗特性は、試験によって求めます。

現行の構造設計規準類に端距離･縁距離の推奨値が示されていますが、スギやとどまつなどの比重の低い樹種はめり込みに対する変形特性に優れており、一般的な推奨値よりも緩和できる可能性があります。

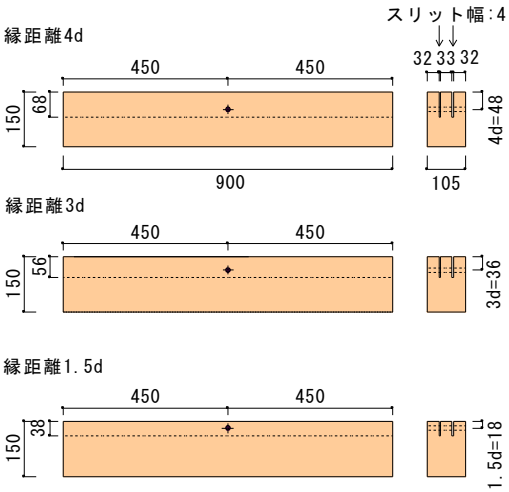
本書では、端距離と縁距離の影響を考慮できるよう、とどまつ集成材に対するドリフトピン 1 本あたりの抵抗特性の実験データを整備しました。

【繊維方向に対する抵抗特性】

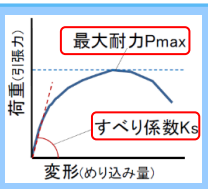


繊維方向の
引抜(めり込み)試験

【繊維直交方向に対する抵抗特性】



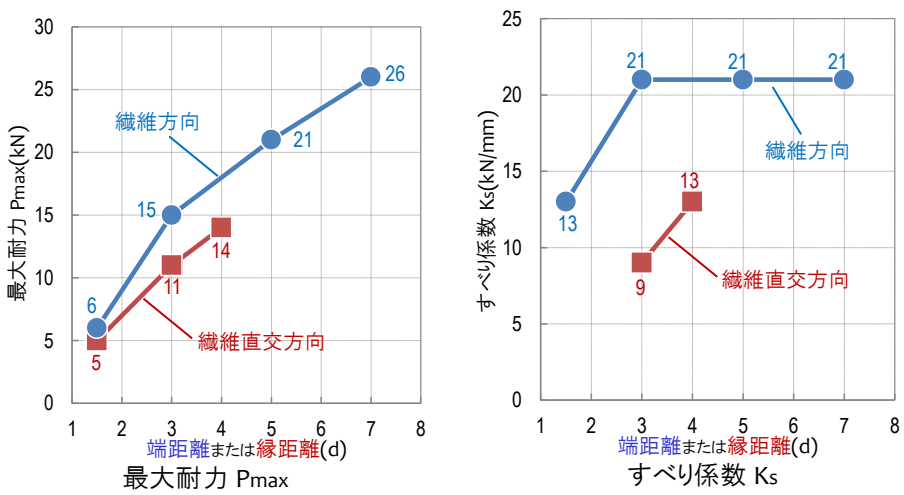
繊維直交方向の
引抜(めり込み)試験



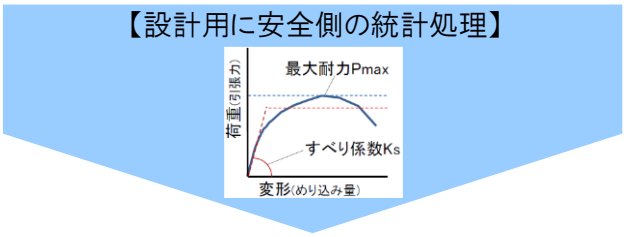
☜日本建築学会の木質構造設計規準における端距離・縁距離の推奨値は、端距離はドリフトピン径ｄの７倍、縁距離では４倍,ピン間隔は７倍となっています。この推奨値は樹種の区別無く設定された値ですが、比重の高いからまつについては割裂に配慮して推奨値を遵守するのが妥当です。

☜注意
ドリフトピンの径 d は 12mm、とどまつ集成材の等級は E75-F270、で、厚さ 3.2mm の鋼板を 2 枚挿入した場合のデータです。

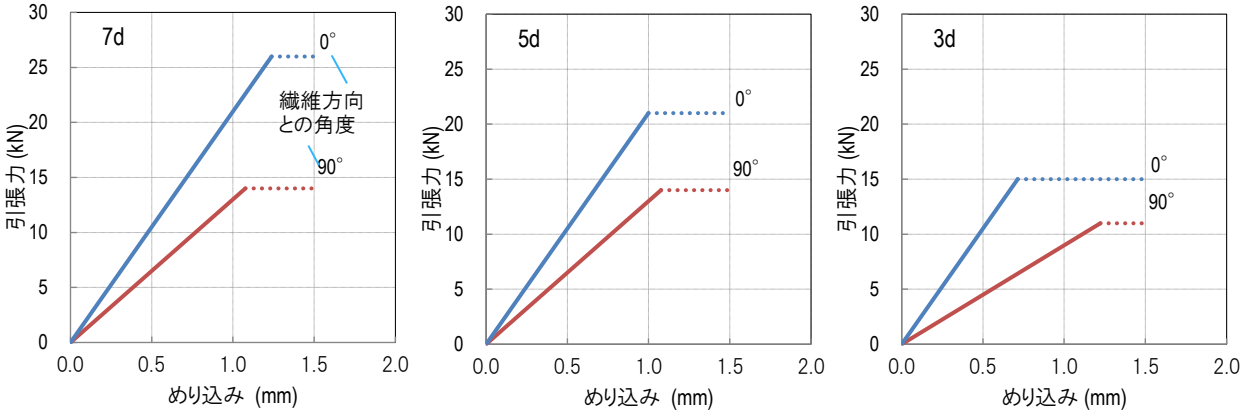
☜試験は各 6 体実施しました。



☜端距離 5d と 7d の場合において、接合具が変形する粘り強い破壊形式を確認できました。

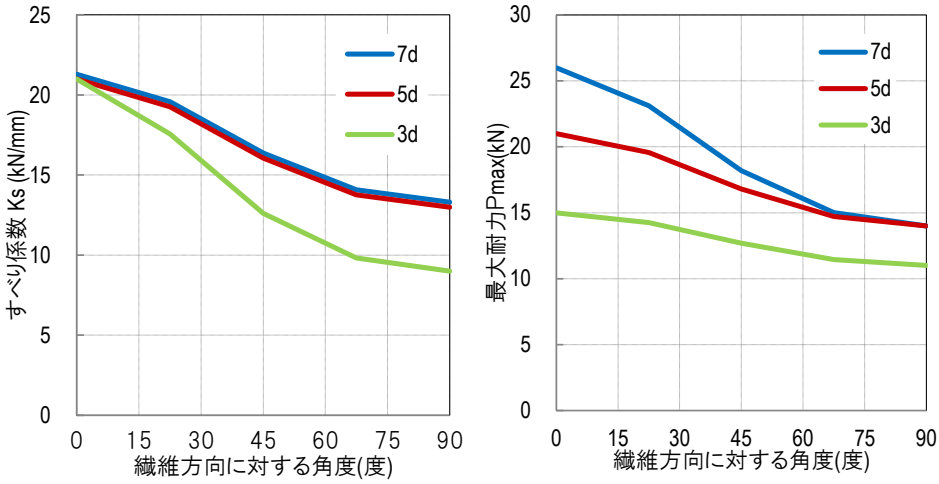


☜耐力については、信頼水準 75%の 95%下側許容限界値、すべり係数については信頼水準 75%の 50%下側許容限界値を採用します。



図Ⅰ-5-1 開発･設計に使用する引抜力と引抜量の関係

繊維方向と繊維直交方向の間の角度で作用する力に対する抵抗特性は、補完式によって推定します。



図Ⅰ-5-2 繊維方向の任意の角度に対するすべり係数と最大耐力

☜補完にはハンキンソン式を用いました。

ハンキンソン式

$$K_\theta = \frac{K_0 \cdot K_{90}}{K_0 sin^2\theta \cdot K_{90} cos^2\theta}$$

K_θ：角度 θ のときのすべり係数
K_0：繊維方向のすべり係数
K_{90}：繊維直角方向のすべり係数
θ：荷重角度（度）

$$P_\theta = \frac{P_0 \cdot P_{90}}{P_0 sin^2\theta \cdot P_{90} cos^2\theta}$$

P_θ：角度 θ のときの耐力
P_0：繊維方向の耐力
P_{90}：繊維直角方向の耐力
θ：荷重角度（度）

接合具の配置と実回転剛性・最大モーメントの算出

①柱−梁断面の設定

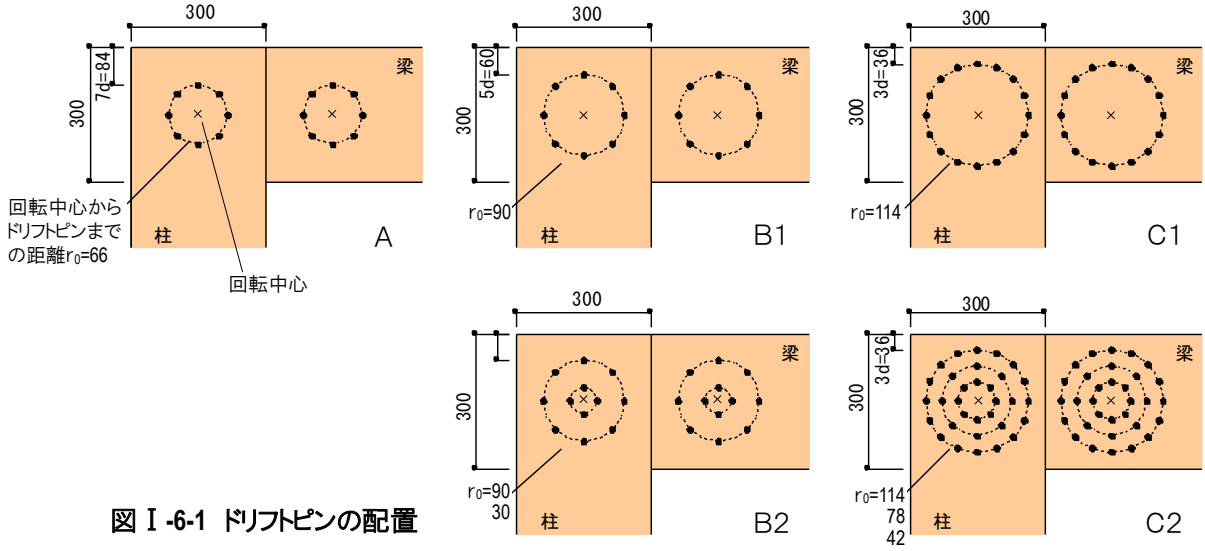
ここでは、断面 105×300mm を検討対象とします。

②ドリフトピンの配置

それぞれ端距離が 7d、5d、3d となる円形配置（下の図の A、B1、C1）と、B1と C1 のそれぞれ内側に更に円形配置を施す多重円配置となる場合（下の図の B2、C2）について検討します。

☜大きなモーメントを得るためには、回転中心からできるだけ離れたところにドリフトピンを配置することが有効です。

☜A は、日本建築学会の木質構造設計規準の推奨値に準じた配列です。



図Ⅰ-6-1 ドリフトピンの配置

③実回転剛性の算出

ドリフトピン1本が負担する回転剛性は次式で求められます。

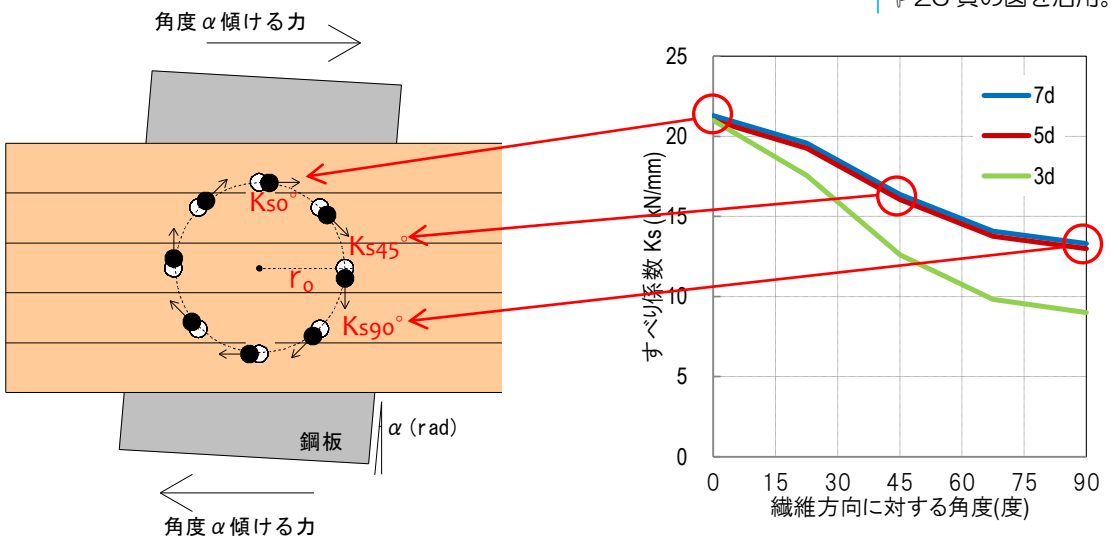
（回転中心からドリフトピンまでの距離r_0）^{2}×（すべり係数 K_s）

全てのドリフトピンに対して上式による値を算出し、それらを合計した値を回転剛性とします。

☝これらの場合、「回転中心」は円の中心となります。

☜算定式は「Ref-2」を参照。

☞26 頁の図を活用。



図Ⅰ-6-2 各ドリフトピンのすべり係数

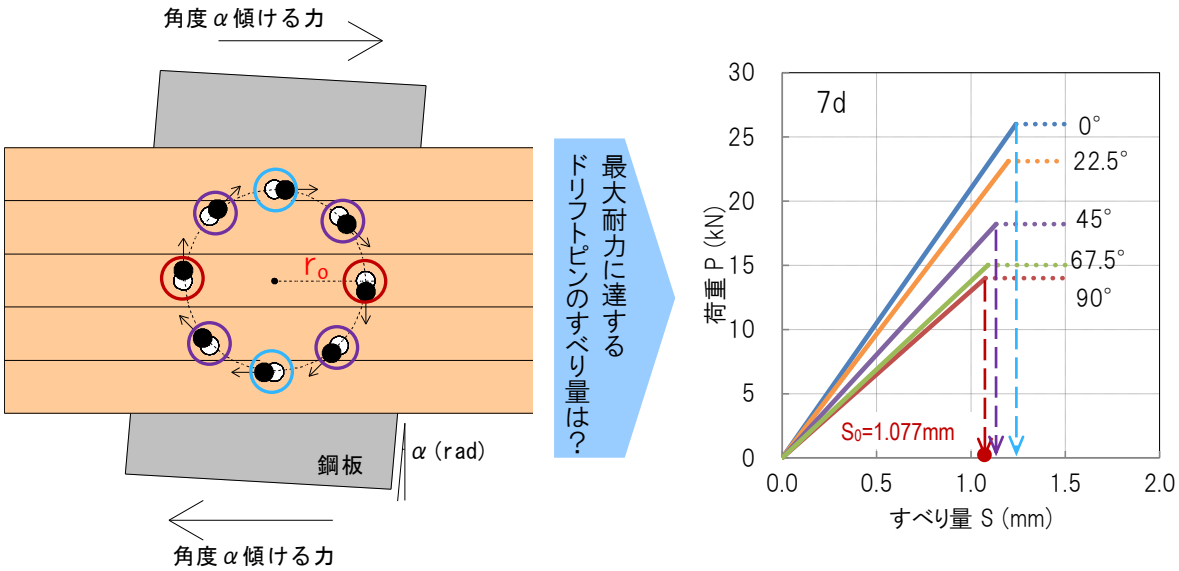
④最大モーメントの算出

最大モーメントは、回転変形が徐々に進行し、いずれかのドリフトピンが最大耐力に達した時のモーメントと考えます。この時の回転角は、最大耐力に達したドリフトピンのすべり量から算出します。

この回転角に回転剛性を乗じた値が、接合部を回転させる力、すなわち、最大モーメントの推定値となります。

☜算定式はの「Ref-2」を参照。

☞26頁より。



図Ⅰ-6-3 最大耐力に達するドリフトピン

$$\text{最大モーメント}=\text{回転剛性(③)}\times\frac{\text{最大耐力時のすべり量の最小値}(s_0)}{\text{回転中心からの距離}(r_0)}$$

⑤計算結果

以上の計算結果は下表の通りになります。

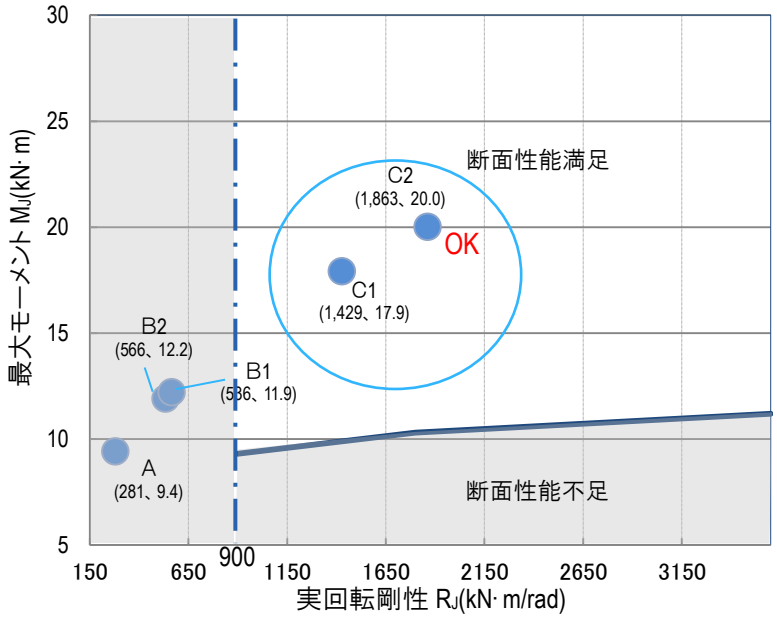
表Ⅰ-6-1 実回転剛性と最大モーメント

ピン配置	実回転剛性 R_J (kN・m/rad)	最大モーメント M_J (kN・m)
A	218	9.4
B1	536	11.9
B2	566	12.2
C1	1429	17.9
C2	1863	20.0

接合部の実回転剛性・最大モーメント及び層間変形角のチェック

①実回転剛性による最大モーメントのチェック

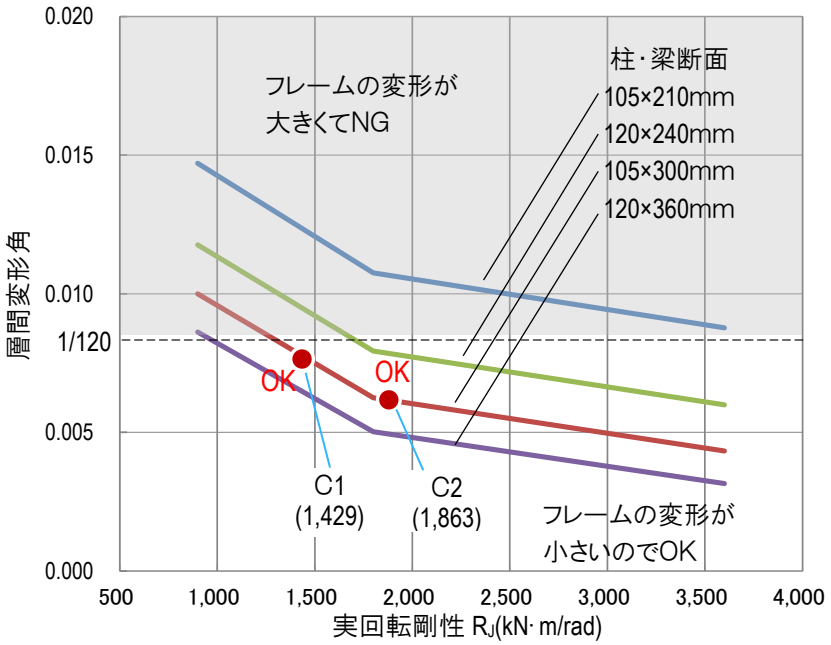
Step7(22 頁)のチェック図表を用いて、実回転剛性と最大モーメントの関係から、断面性能に問題が無いか否かをチェックします。



図Ⅰ-7-1 最大モーメントのチェック―スパン4m、柱・梁断面 105×300mm

②実回転剛性による層間変形角のチェック

Step7(23 頁)のチェック図表を用いて、実回転剛性と層間変形角及び断面寸法との関係から、断面性能に問題が無いか否かをチェックします。



図Ⅰ-7-2 層間変形角のチェック―スパン:4m

☜Ⅰ-Step6 で算出した実回転剛性と最大モーメントをプロットします。「断面性能不足」の領域へプロットされる場合、接合具の配置を再考します。それでも断面性能不足と判断される場合は、建物条件や柱・梁断面を変更しての検討が必要となります。

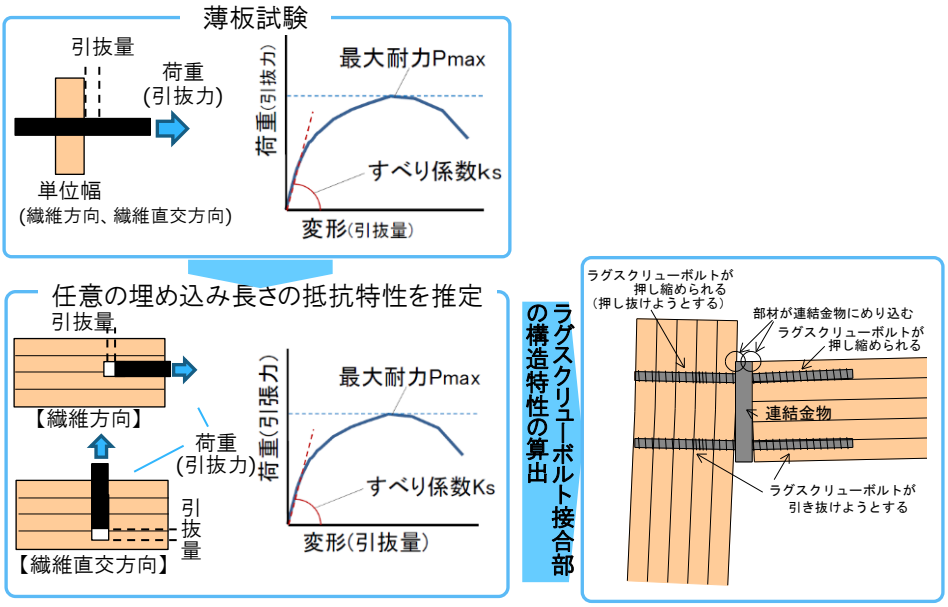
☜B1 と B2 では性能にあまり差がありません。これは、回転中心に近いところへドリフトピンを配置しても効果が小さいことを意味します。

☜A と B シリーズはすでに回転剛性不足で NG。

Ⅱ．ラグスクリューボルト接合部の例

Step1～Step4 については、これまでの情報をそのまま活用します。

梁側は木口からの引き抜き、柱側は側面からの引き抜きであることから、木材の繊維方向、繊維直交方向の引き抜き力と引き抜け量の関係が必要になります。引き抜き性能はラグスクリューボルトの長さによって変わりますので、薄板による試験を実施することで、任意の埋め込み長さの抵抗特性を推定し（Step Ⅱ-5）、接合部全体の実回転剛性と最大モーメントを算出します（Step Ⅱ-6）。

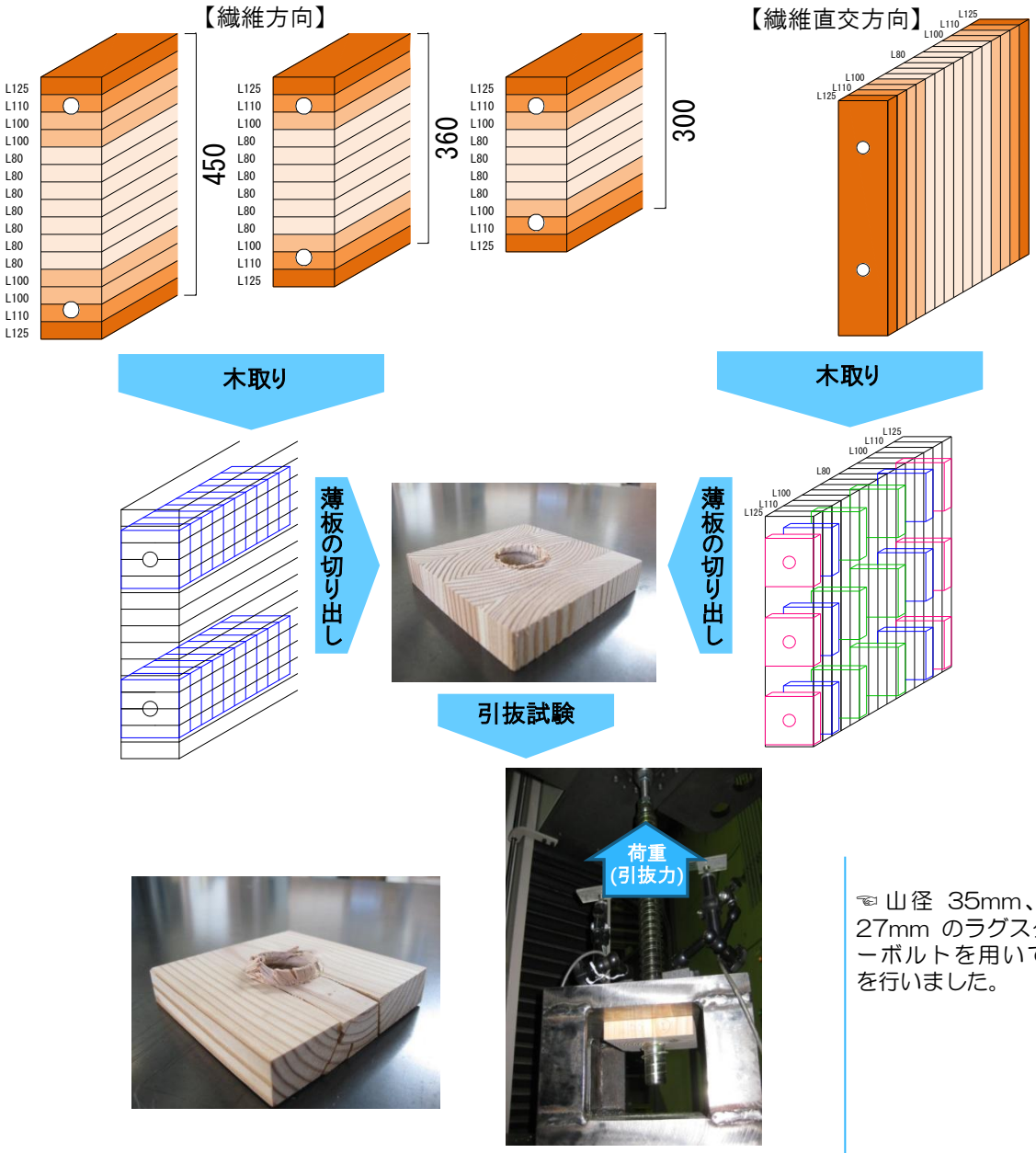


接合具と木材間の抵抗特性

①薄板試験による抵抗特性の把握

本書では、単位幅による薄板試験を実施することで、任意の埋め込み長さの引き抜き耐力を推定しました。繊維方向(梁への埋め込み)については、縁距離を 50mm と設定した場合、ラミナの等級が L110～L100 のところにラグスクリューボルトを挿入する事になることから、L100 を選択して薄板を切り出して、引き抜き試験データを整備しました。なお、繊維直交方向(柱への埋め込み)については、すべてのグレードのラミナを貫通します。

☜ ここでは対称異等級構成集成材(E105-F300)を対象としています(Ref-1参照)。
薄板試験体は断面が 105×450mm の集成材から切り出して作成しました。

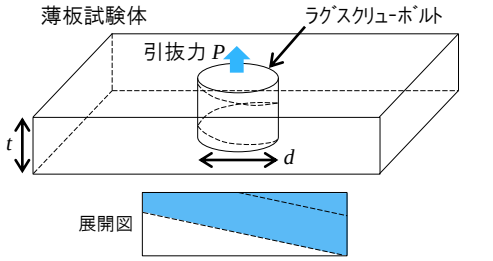


繊維直交方向引抜時の破壊性状

図Ⅱ-5-1 抵抗特性の把握のための薄板試験

☜ 山径 35mm、谷径 27mm のラグスクリューボルトを用いて試験を行いました。

薄板試験によって得られた引き抜き力と引き抜け量の関係を用いて、各試験体のせん断強さ f_v'とせん断剛性係数 Γ'を算出し、統計処理を行ってせん断強さ f_vとせん断剛性係数 Γ を設定しました。



着色部がネジ山と集成材の界面でせん断を起こしていると考える面積 A_e

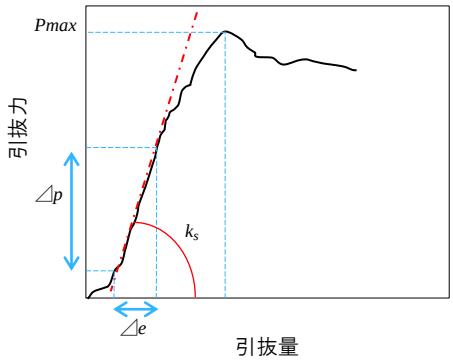
図Ⅱ-5-2 薄板試験体においてせん断を負担する面積 *Ag*

【各試験体のせん断強さ f_v'】

薄板とラグスクリューボルト間のせん断強さ f_v'は次式により求ます。

$$f_v' = \frac{P_{max}}{A_e} \qquad ただし、A_e = \pi R\left(t - \frac{p}{2}\right)$$

ここで、R:ラグスクリューボルトの山径(mm)
p:ラグスクリューボルトのピッチ(mm)
t:薄板の厚さ(mm)



図Ⅱ-5-3 薄板とラグスクリューボルト間のすべり係数 *ks*

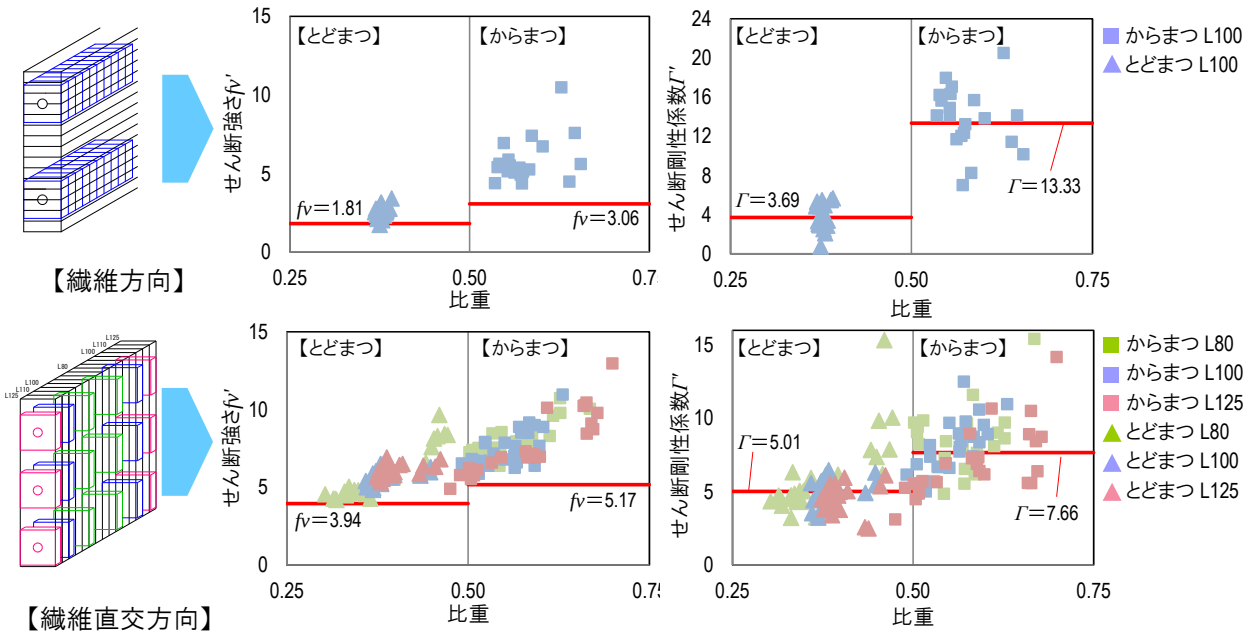
【各試験体のせん断剛性係数 Γ'】

薄板とラグスクリューボルト間のすべり係数 k_sを、初期の引抜力 P と引抜量 e の関係が線形となる範囲において、有効面積 A_e で除してせん断剛性係数 Γ'を求めます。

$$k_s = \triangle P / \triangle e \quad \Rightarrow \quad \Gamma' = k_s / A_e$$

【せん断強さ f_v とせん断剛性係数 Γ】

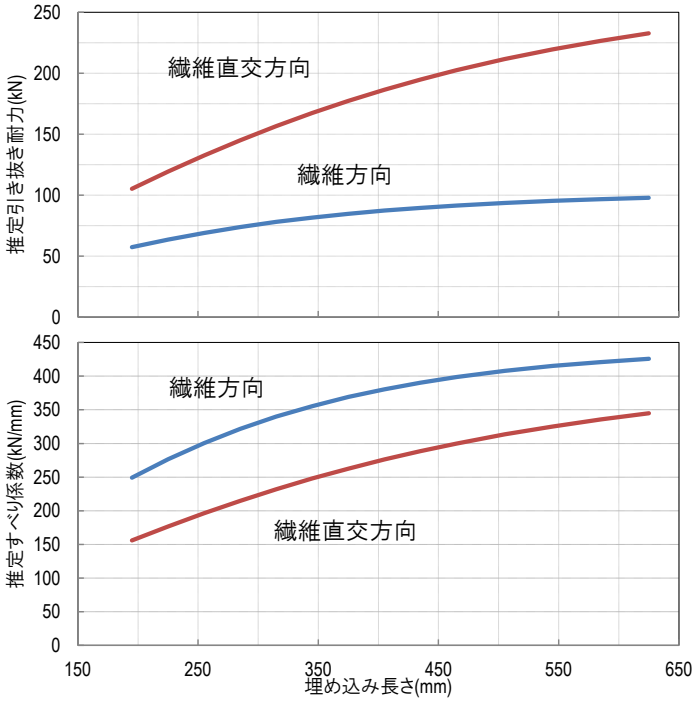
せん断強さ f_vは、各薄板試験のせん断強さ f_v'から信頼水準 75%の 95%下側許容限界値を、また、せん断剛性係数 Γ は、各薄板試験のせん断剛性係数 Γ'からから信頼水準 75%の 50%下側許容限界値を、それぞれ正規分布を仮定して算出しました。



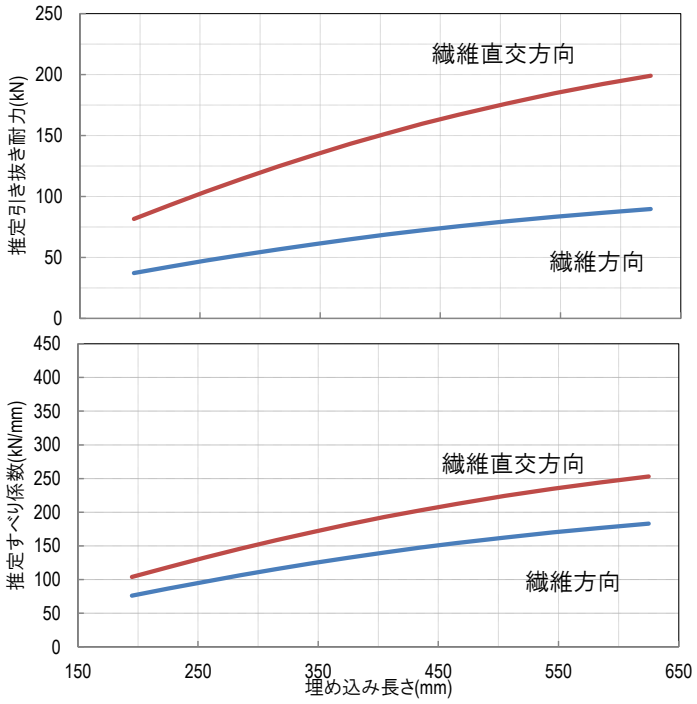
図Ⅱ-5-4 せん断強さ *fv* とせん断剛性係数 *Γ* の算出

②任意埋め込み長さの抵抗特性の算出

薄板試験よって得られたせん断強さ f_v、せん断剛性係数 Γ から導いた任意の埋め込み長さと引き抜き耐力との関係、埋め込み長さおよびすべり係数との関係は次の通りです。



図Ⅱ-5-5 からまつ集成材に対するラグスクリューボルト1本の抵抗特性



図Ⅱ-5-6 とどまつ集成材に対するラグスクリューボルト1本の抵抗特性

☜薄板試験ではラミナのグレードよりも比重との相関が強いことが分かりました。

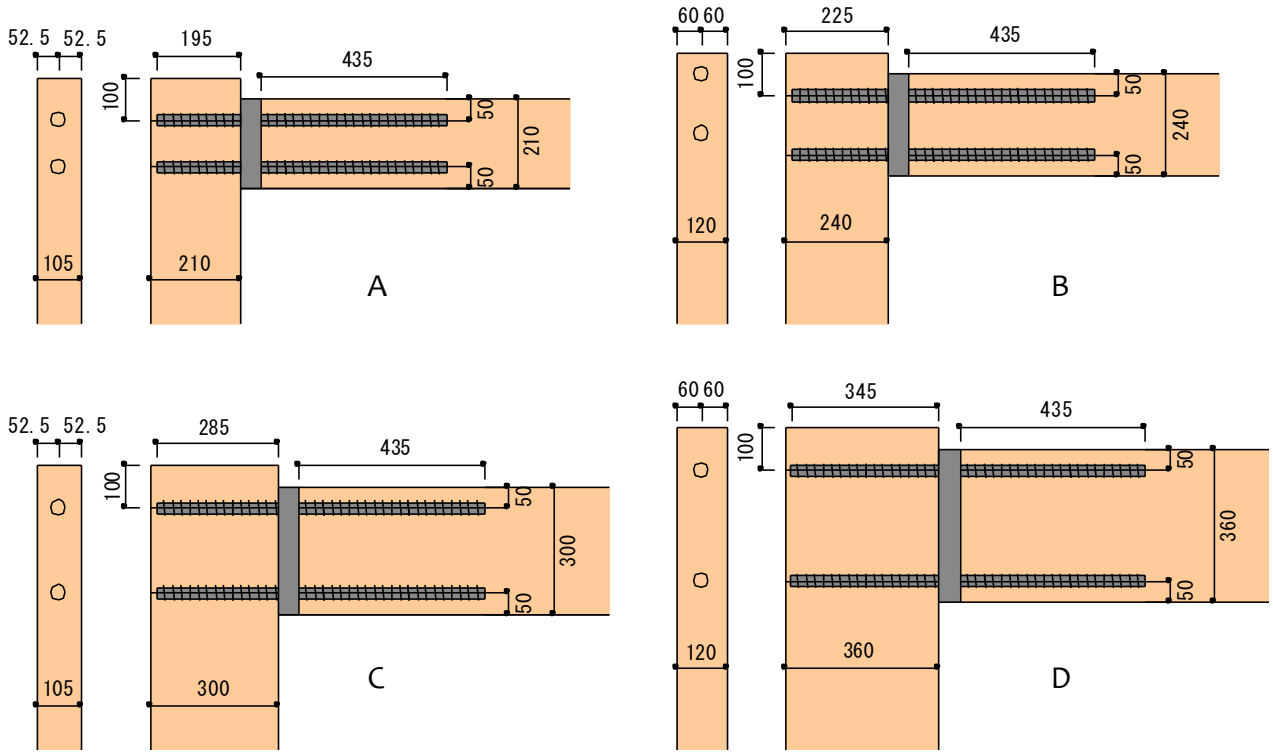
☜設計値として、せん断強さ：72 体の信頼水準75%の 95%下側許容限界値、せん断剛性係数：72 体の信頼水準75%の 50%下側許容限界値を採用しています。

☜実験ではとどまつ集成材の繊維方向の抵抗特性がかなり低い評価となりました。比重の低い樹種に対しては、薄板試験による推定ではなく、実際の埋め込み長さを確保しての引き抜き抵抗を確認する方が、樹種と接合具との関係を把握しやすい可能性があります。

接合具の配置と実回転剛性・最大モーメントの算出

①ラグスクリューボルトの配置

ここでは、ラグスクリューボルトを縦に 2 本挿入することとし、断面寸法が下図の A～D の 4 種類を検討対象とします。



図Ⅱ-6-1 ラグスクリューボルトの配置

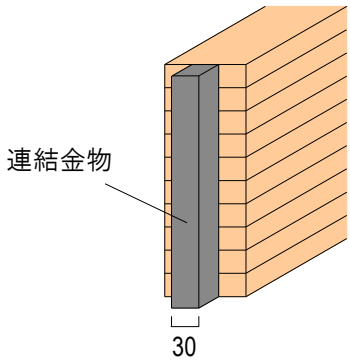
ここで使用するラグスクリューボルトの山径（外径）は 35mm ですので、幅が 105mm～120mm の一般流通集成材では、横配列するのに十分な幅がありません。梁断面においては、上端から 50mm 離した位置に挿入することとし、埋め込み長さも全て 435mm としました。また、柱側面の端距離は 100mm とし、埋め込み長さは柱幅を最大限活用しました。

☜ラグスクリューボルトの有効長さは、先端部分の形状を考慮し、柱では柱幅より 15mm 短く見積もっています。

☜本書では金物自体の変形は考慮しません。

②連結金物の幅の設定

施工現場で柱と梁を接合するために用いる連結金物の幅を設定します。ここではラグスクリューボルトが中央に縦配列されることに対応させて 30mm としました。連結金物は圧縮される側の木材へ三角形にめり込むと仮定し、その面圧定数を剛性に換算して計算に使います。



図Ⅱ-6-2 連結金物の幅の設定

☜面圧定数
〔繊維方向〕

$$k_0 = \frac{E_0}{(31.6 + 10.9b)}$$

〔繊維直交方向〕

$$k_{90} = \frac{k_0}{3.4}$$

E_0:木材の繊維方向のヤング係数
b:連結金物の幅(mm)

③実回転剛性の算出

梁端部は、中立軸の高さの位置を中心に回転角αだけ回転していると仮定します。

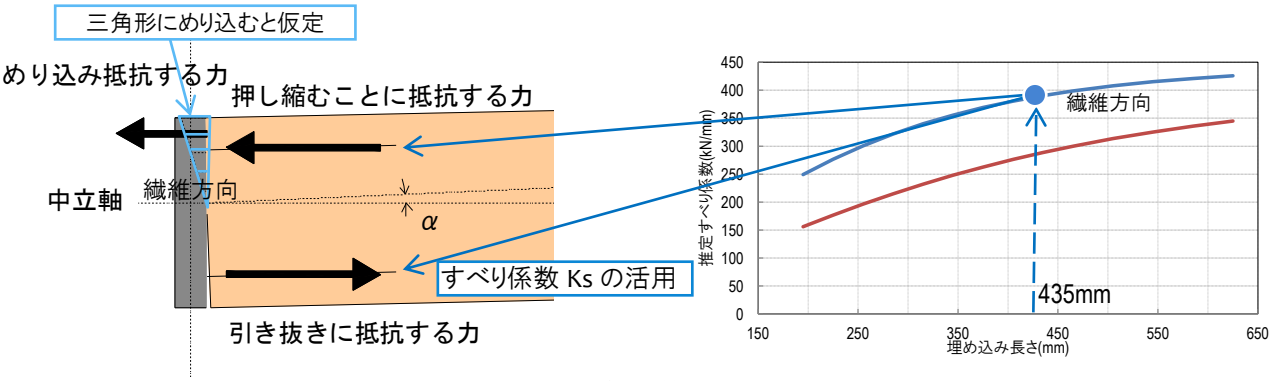
中立軸の位置は、梁断面の力のつり合い式から求めることができます。具体的には、「下側のラグスクリューボルトが引き抜ける力」が、「上側のラグスクリューボルトが押し縮む力」と「連結金物が梁木口にめり込む力」の和とつり合っていることを利用して求めます。

中立軸の位置が分かれば、これら3つの力のそれぞれに中立軸までの距離を乗じて合計し、その値をM_bとします。このM_bが、梁端部に回転角αを生じさせようとする外力とつり合っていることになります。梁端部に生じる回転角をαとすれば、M_b/αが梁端部の回転剛性となります。

☜「中立軸」
引張力が作用する領域と圧縮力が作用する領域の境界。

☜算出される中立軸位置は連結金物のめり込みが考慮されることで集成材の対称軸よりも上側に存在します。

☜算出式は「Ref-3」参照。



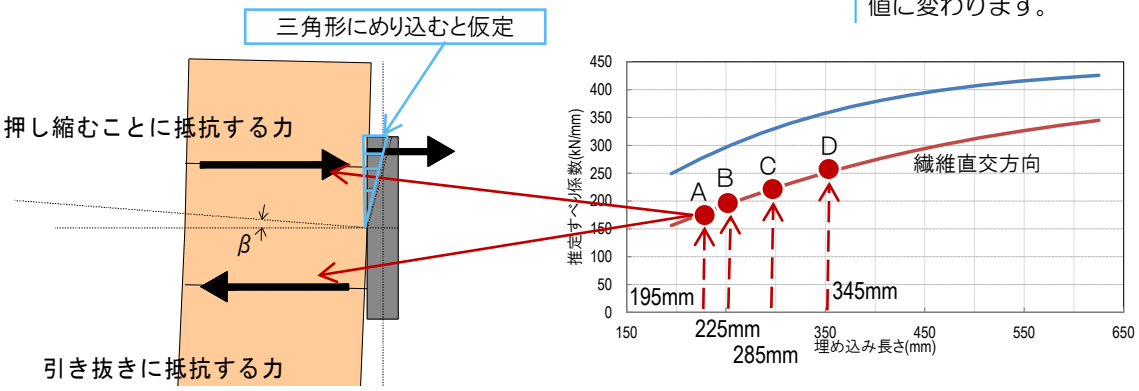
図Ⅱ-6-3 梁端部の回転剛性の算出

上記の3つの力のうち、「下側のラグスクリューボルトが引き抜ける力」と、「上側のラグスクリューボルトが押し縮む力」は、梁端部の回転角αと中立軸の位置が分かれば、それぞれのラグスクリューボルトのすべり量も分かるので、そのすべり量にすべり係数を乗じることで抵抗力を得ることができます。

☜33 頁の図(実験データ)を活用。ここではからまつのデータを図示しています。

同様の方法で、柱の回転剛性を求めることができます。

☜柱の場合は、すべり係数だけでなく、めり込み剛性も繊維直交方向の値に変わります。



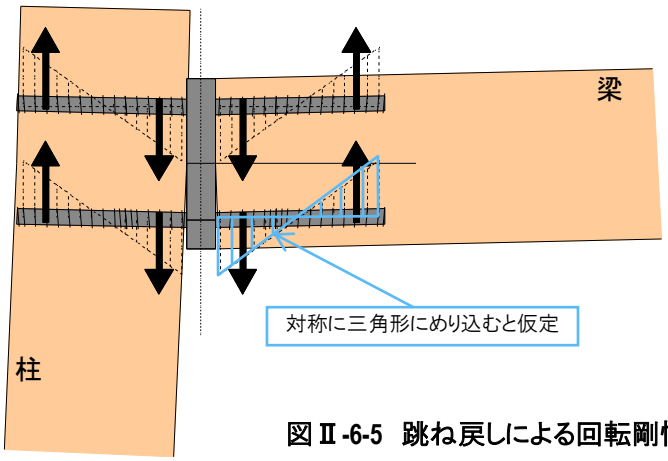
図Ⅱ-6-4 柱の回転剛性の算出

下図のように、ラグスクリューボルトが元の位置を保持しようとして木材の中で変形角に対して跳ね戻る力が働いています。この抵抗力による接合部の回転剛性も考慮します。

☜連結金物と同様に面圧定数の式を用います(34 頁)。その際、b の値にはラグスクリューボルトの谷径を用います。

☜跳ね戻しの効果を考慮する時も、本書では金物自体の変形は考慮していません。

☜算出式は「Ref-3(2)」参照。



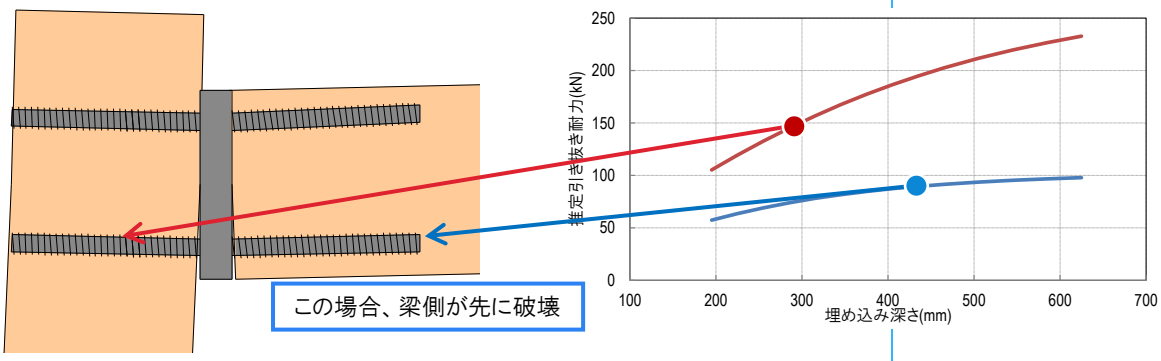
図Ⅱ-6-5 跳ね戻しによる回転剛性の算出

以上の「柱の回転剛性」と「梁の回転剛性」と「跳ね戻しによる回転剛性」を1つの剛性に総和した値が、ラグスクリューボルト接合部の回転剛性になります。

④最大モーメントの算出

接合部の最大モーメントは引き抜き側で決まります。引き抜き力が柱か梁のラグスクリューボルトの小さい方の引き抜き耐力に達した時のモーメントになります。

☜算出式は「Ref-3(2)」参照。



図Ⅱ-6-6 接合部の最大モーメントの算出

⑤算出結果

以上の計算結果は下表の通りになります。

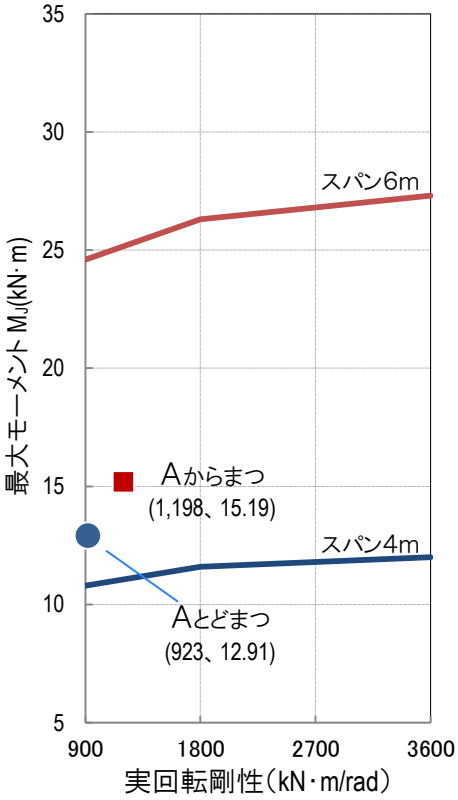
☞33 頁の図(実験データ)を活用。ここではからまつのデータを図示しています。

表Ⅱ-6-1 実回転剛性と最大モーメント

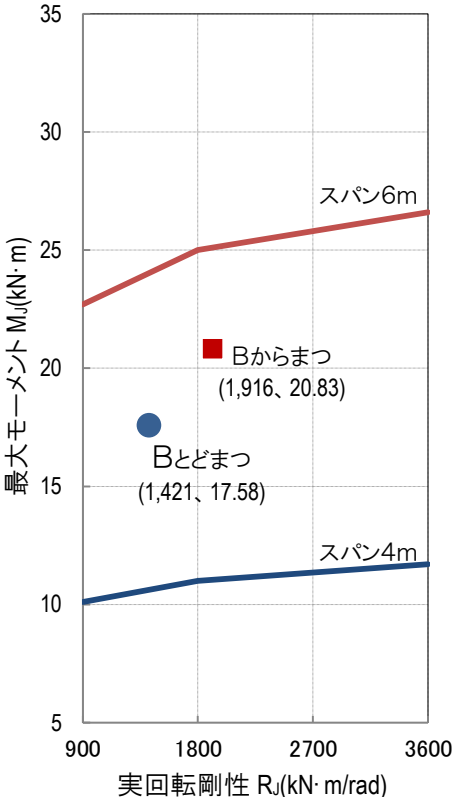
	柱梁断面 (mm×mm)	からまつ 実回転剛性 R_J (kN・m/rad)	からまつ 最大モーメント M_J (kN・m)	とどまつ 実回転剛性 R_J (kN・m/rad)	とどまつ 最大モーメント M_J (kN・m)
A	105x210	1198	15.19	923	12.91
B	120x240	1916	20.83	1421	17.58
C	105x300	3952	24.59	2728	27.31
D	120x360	6835	28.25	4462	28.44

接合部の実回転剛性・最大モーメント及び層間変形角のチェック

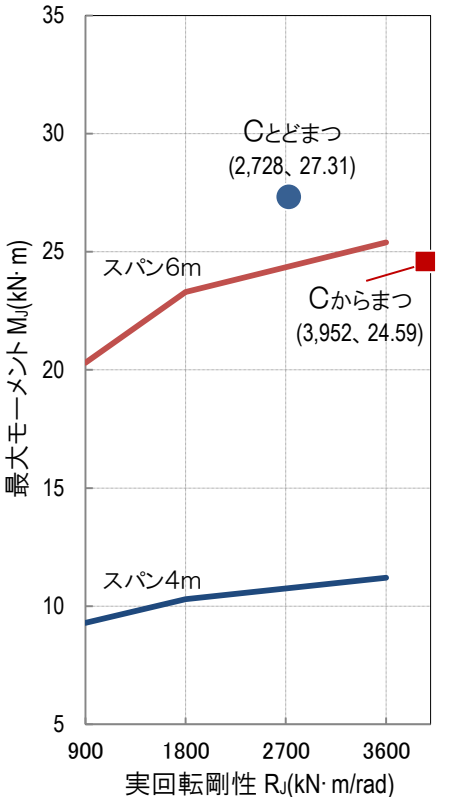
①実回転剛性による最大モーメントのチェック



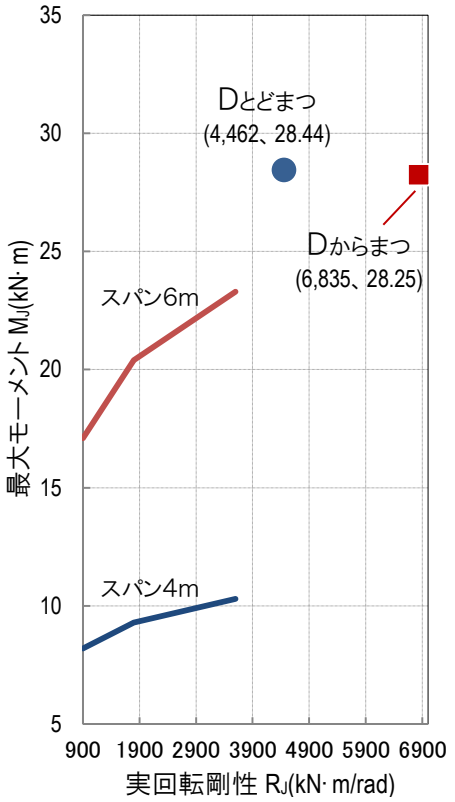
図Ⅱ-7-1 柱・梁断面 105×210mm



図Ⅱ-7-2 柱・梁断面 120×240mm



図Ⅱ-7-3 柱・梁断面 105×300mm



図Ⅱ-7-4 柱・梁断面 120×360mm

☜21、22 頁のチェック図表を活用。

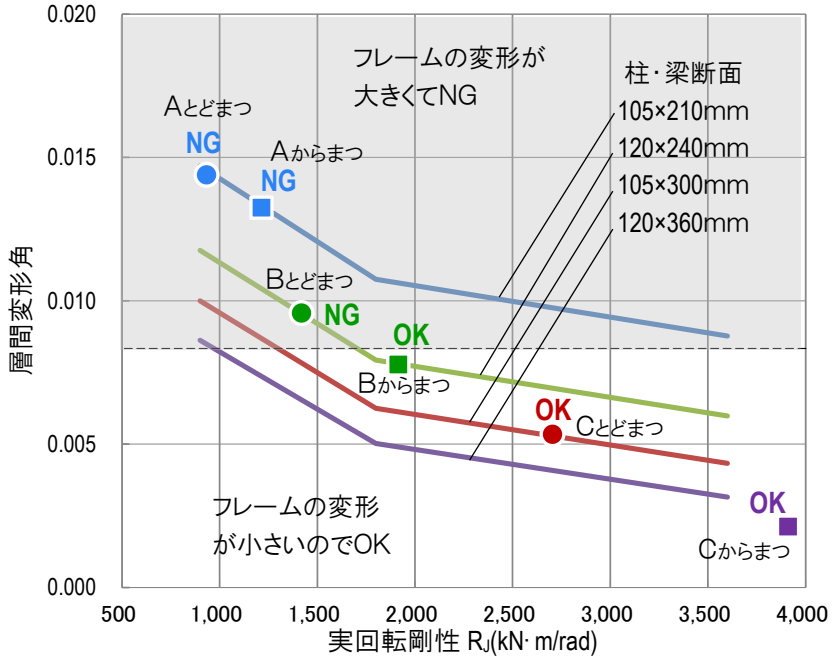
☜A、Bは、スパン4mはOKですが、6mはNGとなります。

☜Dは6mをクリアーしています。

②実回転剛性による層間変形角のチェック

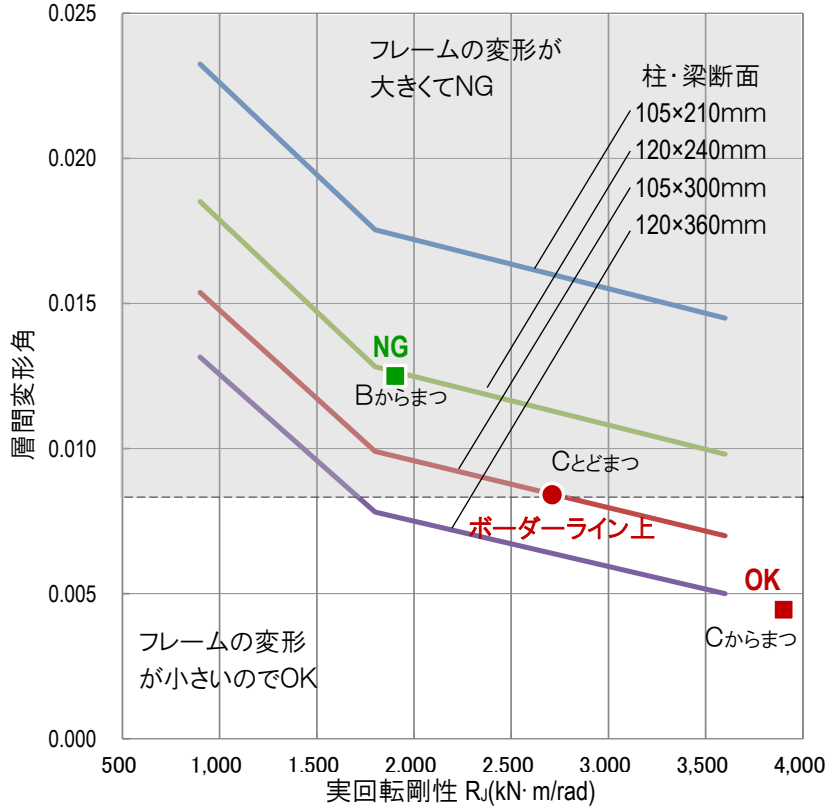
Step7(23 頁)のチェック図表を用いて、実回転剛性と層間変形角及び断面寸法との関係から、断面性能に問題が無いか否かをチェックします。

☜23 頁の図を活用。



図Ⅱ-7-5 層間変形角のチェックースパン:4m

☜D(とどまつ集成材)の回転剛性は 4,462kN・m/rad、また、D(からまつ集成材)の回転剛性は6,835kN・m/rad ですので、両者共に大きな余裕度を持ってのOKと判断できます。



図Ⅱ-7-6 層間変形角のチェックースパン:6m

☜23 頁の図を活用。

☜ Aは4mで既にNGとなっています。

☜Bのとどまつは4mで既にNGとなっています。

☜ D(とどまつ集成材)の回転剛性は4,462kN・m/rad、また、D(からまつ集成材)の回転剛性は6,835kN・m/rad ですので、両者共に大きな余裕度を持ってのOKと判断できます。

資料

Ref-1 集成材の特性値

(1) 集成材の一般知識

建築物等に使用される構造用集成材は、「集成材の日本農林規格（JAS）」において強度等級や品質が規定されています。

構造用集成材はラミナの構成により、同一等級構成と異等級構成の2種類に大別されます。同一等級構成集成材は、文字通り構成するラミナの等級が同じものであり、多くの場合、小断面集成材として、柱などの曲げ性能がそれほど必要とされない部位に用いられます。

一方、異等級構成集成材は、曲げ応力の断面内分布を考慮して、外層には高い等級、内層には低い等級のラミナを配置する構成となっており、多くの場合、中・大断面集成材として、梁などの高い曲げ性能が必要となる部位に用いられます。異等級構成集成材のラミナの等級の構成が中心軸に対して対称であるものを、特に対称異等級構成集成材といいます。

対称異等級構成集成材の強度等級と断面構成の例を図1に示します。強度等級はこのようにE△△-F○○という形で表されます。E は基準曲げヤング係数、Fは基準曲げ強度にそれぞれ対応する値となっています（表1、表2参照）。

強度等級は樹種ごとに規定されておらず、樹種には関係なく単純に E95 よりは E105 の方が強度性能が高いということになります。

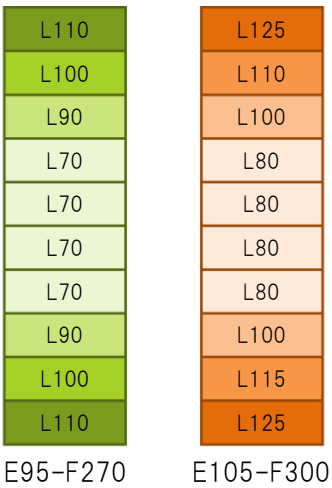


図1　集成材の強度等級と断面構成
（対称異等級構成集成材）

(2) からまつ・とどまつの設計特性値

構造用集成材の各種特性値を表1～表4に示します。圧縮、引張、曲げについては、特性値は集成材の等級ごとに定められていますが、せん断、めり込みについては樹種ごとに定められています。

☜「集成材の JAS」

☜「ラミナ」
ラミナとは集成材を構成する一枚一枚のひき板のことで、グレーディングマシン等によりヤング係数で等級区分され、L○○という等級付けがされています。

☜ 対称異等級構成集成材を柱に使う場合には積層方向と幅方向の特性値が異なることに配慮する必要があります。

	ヤング係数（kN/mm^2）		
L125	12.5	～	14.0
L110	11.0	～	12.5
L100	10.0	～	11.0
L90	9.0	～	10.0
L80	8.0	～	9.0
L80	7.0	～	8.0

表1 対称異等級構成集成材の圧縮･引張･曲げの特性値

集成材の等級	基準強度（N/mm²）				基準弾性係数（kN/mm²）					
	F_c	F_t	F_b		E_c, E_t		E_b			
			F_{bx-x} *	F_{by-y}	E_c, E_t	$E_{c\,0.05}$, $E_{t\,0.05}$	E_{bx-x}	E_{by-y}	$E_{bx-x\,0.05}$	$E_{by-y\,0.05}$
E120-F330	25.9	22.4	33.0	24.0	11.0	9.0	12.0	11.0	10.0	9.0
E105-F300	23.2	20.2	30.0	21.6	9.5	8.0	10.5	9.5	9.0	8.0
E95-F270	21.7	18.9	27.0	20.4	8.5	7.0	9.5	8.5	8.0	7.0
E85-F255	19.5	17.0	25.5	18.0	7.5	6.5	8.5	7.5	7.0	6.5
E75-F240	17.6	15.3	24.0	15.6	6.5	5.5	7.5	6.5	6.5	5.5

＊:それぞれの数値に、集成材の厚さ方向の辺長が対応する集成材 JAS の第五条表 3 の左欄の区分に応じて、同表右欄の数値を乗じたものとする。

表2 同一等級構成集成材の圧縮･引張･曲げの特性値

ひき板の積層数	集成材の等級	基準強度（N/mm²）			基準弾性係数（kN/mm²）	
		F_c	F_t	F_b *	E_c, E_t, E_b	$E_{c\,0.05}$, $E_{t\,0.05}$, $E_{b\,0.05}$
4 枚以上	E105-F345	28.1	24.5	34.5	10.5	9.0
	E95-F315	26.0	22.7	31.5	9.5	8.0
	E85-F300	24.3	21.2	30.0	8.5	7.0
	E75-F270	22.3	19.4	27.0	7.5	6.5

＊:それぞれの数値に、集成材の厚さ方向の辺長が対応する集成材 JAS の第五条表 4 の左欄の区分に応じて、同表右欄の数値を乗じたものとする。

表3 集成材のせん断の特性値

樹種	基準強度（N/mm²）		基準弾性係数（kN/mm²）
	F_{sx-x}	F_{sy-y}	G
ひのき、ひば、あかまつ、くろまつ、からまつ、ダフリカからまつ、べいまつ、サザンパイン、べいひ、ホワイトサイプレスパイン	3.6	3.0	Eの値の 1/15
つが、アラスカイエローシーダー、べにまつ、ラジアタパイン、べいつが	3.3	2.7	
もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンデローサパイン、おうしゅうあかまつ、ラワン、ジャックパイン	3.0	2.4	
すぎ、べいすぎ	2.7	2.1	

表4 集成材等のめり込みに対する基準強度

樹種	基準強度（N/mm²）
	F_{cv}
あかまつ、くろまつ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン、ラワン	9.0
ひのき、ひば、からまつ、べいひ	7.8
つが、アラスカイエローシーダー、べにまつ、ラジアタパイン、べいつが、もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンデローサパイン、おうしゅうあかまつ、すぎ、べいすぎ、ジャックパイン	6.0

【出典】
◆基準強度
平成 13 年国土交通省告示 1024 号

◆基準弾性係数
木質構造設計基準・同解説（日本建築学会）

【添字の意味】
c：圧縮
t：引張
b：曲げ
s：せん断
cv：めりこみ
x-x：積層方向
y-y：幅方向
0.05：信頼水準 75%における 95%下側許容限界値

☜集成材の JAS 第五条表 3（抜粋）

厚さ方向の辺長(mm)		係数
200超	250以下	1.02
250超	300以下	1.00
300超	450以下	0.96

☜集成材の JAS 第五条表 4

厚さ方向の辺長(mm)		係数
	100以下	1.00
100超	150以下	0.96
150超	200以下	0.93
200超	250以下	0.90
250超	300以下	0.89
300超		0.85

Ref-2 ドリフトピン接合の回転剛性と最大モーメント算定式

(1) 回転剛性の算出

①梁側の回転剛性 R_b

梁側の接合部の回転角を α、そこに作用するモーメントを M とすると、回転剛性は次式で表せます。

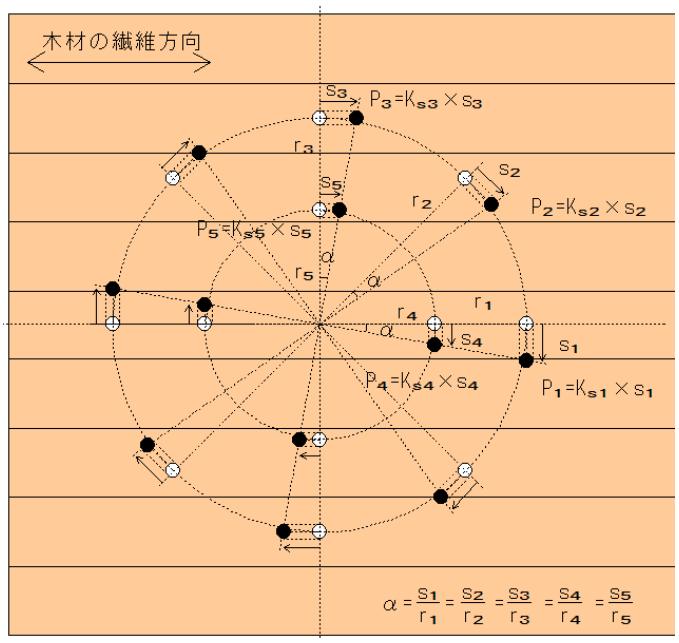
$$R_b = \frac{M}{\alpha}$$

モーメント M は、それぞれのドリフトピンが負担する力 P と、回転中心からの距離 r との積の総和と釣り合います。

$$M = \sum P_i \cdot r_i$$

この時、ドリフトピンが負担する力 P は、すべり係数 K_s とめり込み量 s を用いた次式で表すことができます。

$$P = K_s \cdot s$$



また、ドリフトピンのめり込み量 s は微小量ですので、梁側の接合部の回転角 α とそのドリフトピンの回転中心からの距離 r を用いて、次式で表すことができます。

$$s = \alpha \cdot r$$

以上の関係式をまとめると、梁側の接合部の回転剛性 R_b は次式で表すことができます。

$$R_b = \frac{M}{\alpha} = \sum r_i^{\,2} \cdot K_{si}$$

②柱側の回転剛性 R_c

柱側の接合部の回転剛性 R_c も、柱側の回転角を β として、同様に導くことができます。

$$R_c = \frac{M}{\beta} = \sum r_i^{\,2} \cdot K_{si}$$

③接合部の回転剛性 R_J

①と②で算出した、梁側の接合部の回転剛性 R_b と柱側の接合部の回転剛性 R_c を合成することで、接合部全体の回転剛性 R_J を得ることができます。R_b と R_c は直列の関係にあるので、逆数の足し合わせが R_J の逆数に等しくなります。

$$\frac{1}{R_J} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \quad \rightarrow \quad R_J = \frac{R_b \cdot R_c}{R_b + R_c}$$

(2) 最大モーメントの算出

①梁側の接合部の最大モーメント M_{b_max}

梁側の接合部を構成しているいずれかのドリフトピンが最大耐力に達するときのモーメントを、梁側の接合部の最大モーメント M_{b_max} と定義します。この時の回転角を α_{Mb_max} とすると、M_{b_max} はRef-2(1)で求めた回転剛性 R_b を用いて次の式で表すことができます。

$$M_{b_\max} = R_b \cdot \alpha_{Mb_\max}$$

もっとも早く最大耐力に達するドリフトピンの回転中心までの距離を r_0、そのめり込み量を s_0 とすると、最大モーメントに達した時の接合部の回転角 α_{Mb_max} は次の式で表すことができます。

$$\alpha_{Mb_\max} = \frac{s_0}{r_0}$$

ドリフトピンに作用する力とめり込み量の間には、Ref-2(1)で示した通り、$P=K_s \cdot s$ が成り立ちます。この関係を用い、それぞれのドリフトピンについて、最大耐力 P_{max} の時のめり込み量 s_{Pmax} を求めます。

$$s_{P\max} = \frac{P_{\max}}{Ks}$$

s_{Pmax} の中の最小値が s_0 になり、このドリフトピンの回転中心までの距離が r_0 になります。

$$s_0 = \min\left(s_{P\max 1}, s_{P\max 2}, s_{P\max 3}, \cdots, s_{P\max n}\right)$$

②柱側の接合部の最大モーメント M_{c_max}

柱側の接合部の最大モーメント M_{c_max} も、回転角を β_{Mc_max} として、同様に導くことができます。

$$M_{c_\max} = R_c \cdot \beta_{Mc_\max}$$

③柱梁接合部の最大モーメント M_{max}

①と②で得られた梁側の接合部の最大モーメント M_{b_max} と柱側の接合部の最大モーメント M_{c_max} を比較し、小さい方を全体の最大モーメントとします。

$$M_{\max} = \min\left(M_{b_\max}, M_{c_\max}\right)$$

Ref-3 ラグスクリューボルト接合の構造特性値の算定式

(1) 薄板試験に基づくラグスクリューボルト 1 本あたりの抵抗特性の算出

埋め込み長さが l となるラグスクリューボルト 1 本あたりの引抜耐力 P_{max} およびすべり係数 K_s は、薄板試験より得られたせん断強さ f_v とせん断剛性係数 Γ を用いてそれぞれ次式で求めます。

$E_wA_w \le E_sA_s$ のとき、

$$P_{\max} = \frac{f_v \pi R(E_wA_w + E_sA_s)\sinh kl}{k(E_sA_s \cosh kl + E_wA_w)} \qquad K_s = \frac{\Gamma \pi R(E_wA_w + E_sA_s)\sinh kl}{k(E_sA_s \cosh kl + E_wA_w)}$$

$E_sA_s \le E_wA_w$ のとき、

$$P_{\max} = \frac{f_v \pi R(E_wA_w + E_sA_s)\sinh kl}{k(E_wA_w \cosh kl + E_sA_s)} \qquad K_s = \frac{\Gamma \pi R(E_wA_w + E_sA_s)\sinh kl}{k(E_wA_w \cosh kl + E_sA_s)}$$

ここで、

l ：埋め込み深さ(mm)

E_s ：ラグスクリューボルトのヤング係数(N/mm^2)

E_w ：ヤング係数(N/mm^2)

繊維方向のとき、： $E_w = E_0$

繊維直交方向のとき、$E_w = E_0/25$

E_0：集成材のヤング係数

A_s ：ラグスクリューボルトの谷径(r)の断面積

A_w ：ラグスクリューボルトを保持する木部有効断面積(mm^2)

繊維方向にラグスクリューボルトが埋め込まれた場合

$$A_w = \pi(cR)^2 - \pi(0.5R)^2$$

繊維直交方向にラグスクリューボルトが埋め込まれた場合

$$A_w = (nR)(4R) - \pi(0.5R)^2$$

(cR) ：繊維方向にラグスクリューボルトを埋め込んだ場合の有効断面積 A_w を計算するための半径(mm)

c ：1.5(実験により安全が確認された場合は～3.0 とすることができる。)

$(4R)$ ：縁距離を $2R$ とした場合の有効断面積算定用の短辺の長さ

(nR) ：繊維直交方向の引き抜き力を受ける木部の有効断面積算定用の長辺の長さ

n ：l と部材せい(h_c)の関数 $n = 2.683\exp\left\{3.591\left(\frac{l}{h_c}\right)\right\}$

R :ラグスクリューボルトの山径(mm)

k ：$k = \sqrt{\Gamma \pi R\left(\frac{1}{E_wA_w} + \frac{1}{E_sA_s}\right)}$

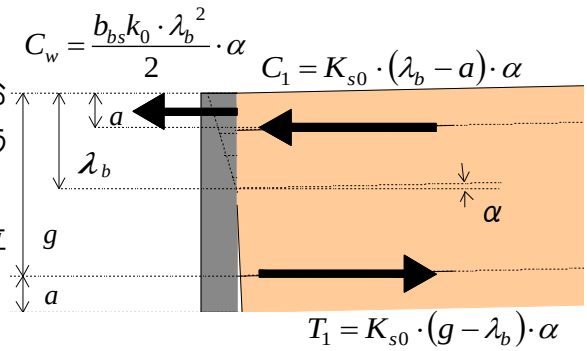
(2) ラグスクリューボルトの回転剛性と最大モーメントの算出

【回転剛性 R_J の算出】

①梁側の回転剛性 R_b の算出

ラグスクリューボルトに発生する力 C_1 と T_1、および木口のめり込み力 C_w の関係は右の図のようになります。

これらの力がつり合っていることから中立軸位置 λ_b を求めることができます。



$$T_1 = C_1 + C_w$$

$$\Rightarrow \quad \lambda_b = \sqrt{\left(\frac{2}{b \cdot k_0}\right)\left\{\left(\frac{2}{b \cdot k_0}\right)\left(K_{s0}^{\ 2} + (a+g)K_{s0}\right)\right\}} - \left(\frac{2}{b \cdot k_0}\right)K_{s0}$$

ここで、K_{s0} ：薄板試験結果による繊維方向のラグスクリューボルトのすべり係数(N/mm)
b ：連結金物の幅(mm)
k_0 ：繊維方向の面圧定数(N/mm)、$E_0/(31.6+10.9b)$
E_0 ：繊維方向のヤング係数(N/mm^2)

中立軸 λ_b が求まれば、次のようなモーメントのつり合い式を立てることができます。

$$M_b = T_1 \cdot (g - \lambda_b) + C_1 \cdot (\lambda_b - a) + \frac{2}{3}\lambda_b \cdot C_w$$

梁側のモーメント M_b と梁の回転角 α との関係より、梁の回転剛性 R_b を次式で得ることができます。

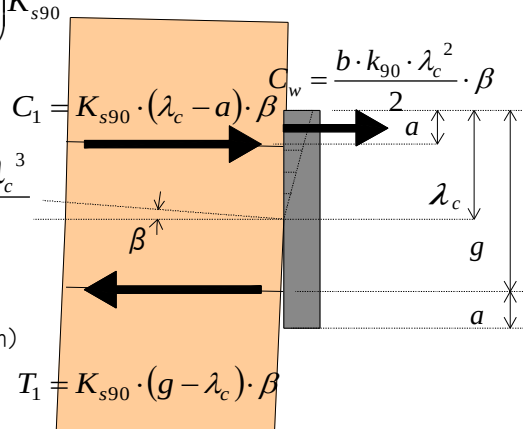
$$R_b = \frac{M_b}{\alpha} = K_{s0} \cdot (g - \lambda_b)^2 + K_{s0} \cdot (\lambda_b - a)^2 + \frac{b \cdot k_0 \cdot \lambda_b^{\ 3}}{3}$$

②柱側の側の回転剛性 R_c の算出

柱側の回転剛性 R_c も梁側と同様の式で求めることができます。ただし、ラグスクリューボルトは繊維直交方向に埋め込まれるため、すべり係数の取り扱いに注意が必要です。

$$\lambda_c = \sqrt{\left(\frac{2}{b \cdot k_{90}}\right)\left\{\left(\frac{2}{b \cdot k_{90}}\right)\left(K_{s90}^{\ 2} + (a+g)K_{s90}\right)\right\}} - \left(\frac{2}{b \cdot k_{90}}\right)K_{s90}$$

$$R_c = \frac{M_c}{\beta} = K_{s90} \cdot (g - \lambda_c)^2 + K_{s90} \cdot (\lambda_c - a)^2 + \frac{b \cdot k_{90} \cdot \lambda_c^{\ 3}}{3}$$

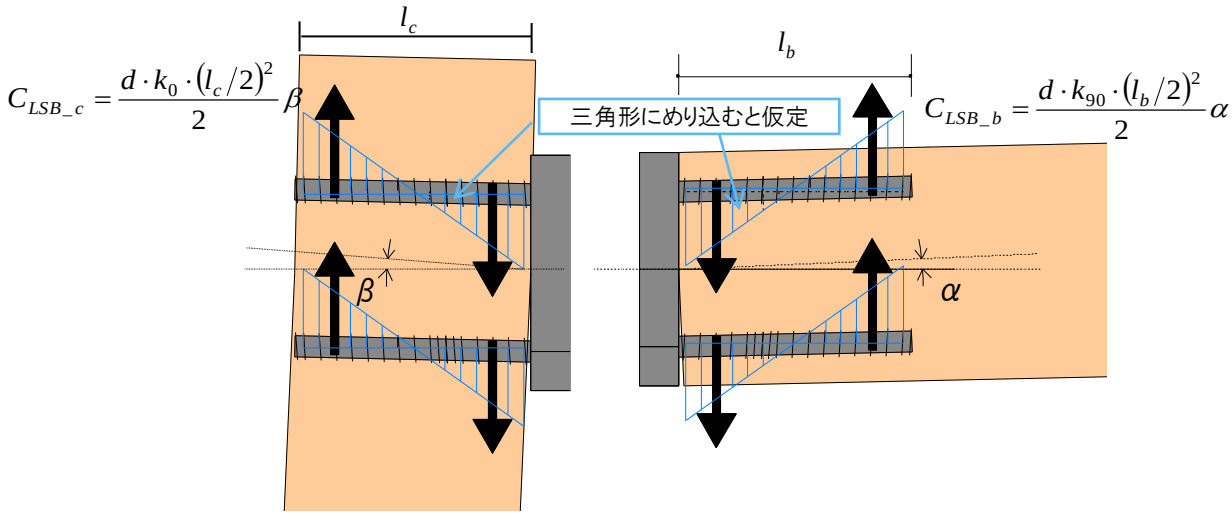


ここで、K_{s90} ：繊維直交方向のラグスクリューボルトのすべり係数(N/mm)
k_{90} ：繊維直交方向に対する面圧定数(N/mm)、$k_0/3.4$

③ラグスクリューボルトの跳ね戻し効果による回転剛性 R_{LSB} の算出

柱と梁のそれぞれについて、ラグスクリューボルトが跳ね戻ろうとする力による回転剛性 R_{LSB_b} と R_{LSB_c} を算出します。

ここでは、それぞれのラグスクリューボルトの中間点に回転中心があるものと仮定し、木材にめり込む応力に相当する力 C_{LSB} と埋め込み長さ l との関係を下図のように導きます。



ここで、k_0　：繊維方向の面圧定数(N/mm)、$E_0/(31.6+10.9b)$
k_{90}　：繊維直交方向に対する面圧定数(N/mm)、$k_0/3.4$
E_w　：繊維方向のヤング係数((N/mm^2)
d　：ラグスクリューボルトの谷径(mm)

上の図のモーメントのつり合いから、回転剛性 R_{LSB_b} と R_{LSB_c} はそれぞれ次式で算出できます(ラグスクリューボルト1本分)。

〔梁側〕

$$R_{LSB_b} = \frac{M_{LSB_b}}{\alpha} = \frac{d \cdot k_{90} \cdot l_b^{\,3}}{12}$$

〔柱側〕

$$R_{LSB_c} = \frac{M_{LSB_c}}{\beta} = \frac{d \cdot k_{90} \cdot l_c^{\,3}}{12}$$

④接合部全体の回転剛性 R_J の算出

梁側と柱側のそれぞれにおいてラグスクリューボルトの跳ね戻り効果を考慮した回転剛性の逆数を足し合わせることで、接合部全体の回転剛性 R_J を得ることができます。

$$R_J = \frac{(R_b + 2R_{LSB_b}) \cdot (R_c + 2R_{LSB_c})}{(R_b + 2R_{LSB_b}) + (R_c + 2R_{LSB_c})}$$

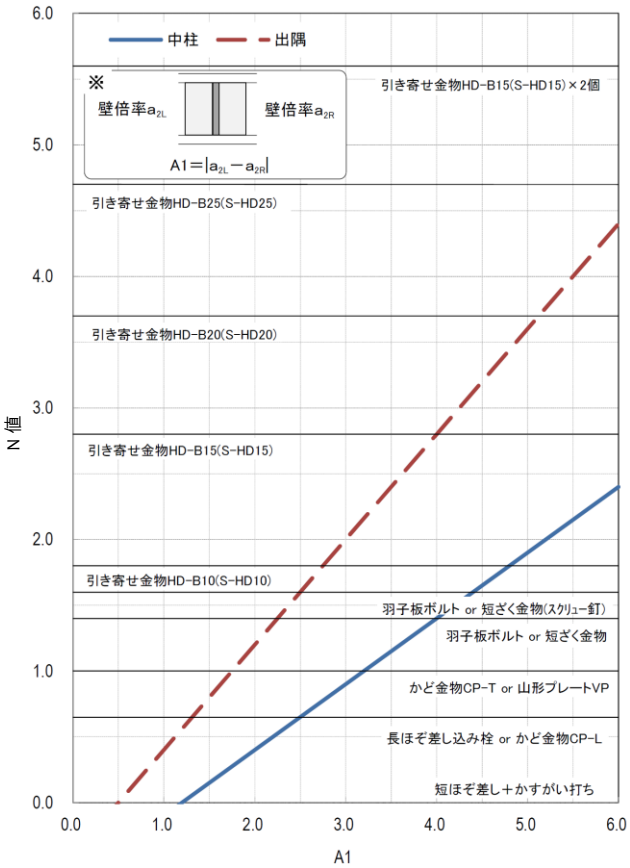
【最大モーメント M の算出】

柱または梁の引張側に配置されているラグスクリューボルトのいずれか弱い方が引き抜けるモーメントを最大モーメントとし、次式で求めます。

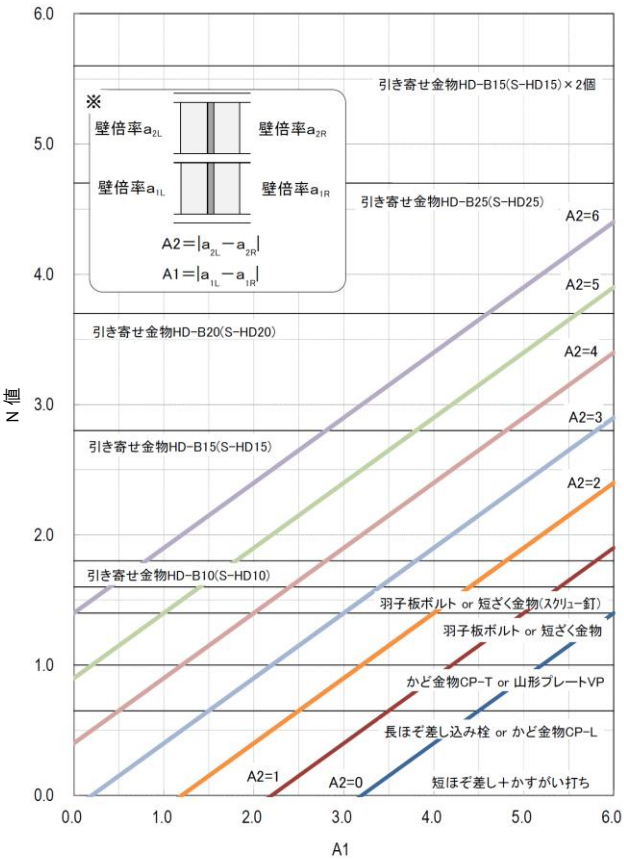
$$M = \min\left((R_b + 2R_{LSB_b}) \cdot \frac{P_{\max_b}}{K_{s0}(g - \lambda_b)},\ (R_c + 2R_{LSB_c}) \cdot \frac{P_{\max_c}}{K_{s90}(g - \lambda_c)} \right)$$

Ref-4 在来軸組構法に求められる接合部性能

参考として、在来軸組工法の仕口に求められる引抜力と一般に使用されている金物との対応を示します。壁量設計が成立するための重要な要件のひとつに、「柱頭・柱脚などの接合部が先行破壊しないこと」が挙げられます。この要件を確保するために、①筋かい端部と軸組みとの留め付け部と、軸組端部の柱頭・柱脚と横架材の仕口における接合金物の仕様が、それぞれ平成 12 年建設省告示 1460 号で規定されていますが、柱頭・柱脚については、必要とされる引抜力を検証することで告示に示された接合金物の仕様の緩和も認められています。様々な検証法がありますが、告示の解釈にも役立ち、接合部開発に際してその性能の説明時に建築主事の理解も得やすいと思われる検証法として、N値計算法があります。ここでは、N値計算法に準拠して作成した、接合部への要求性能を把握できる計算図表を提示します。

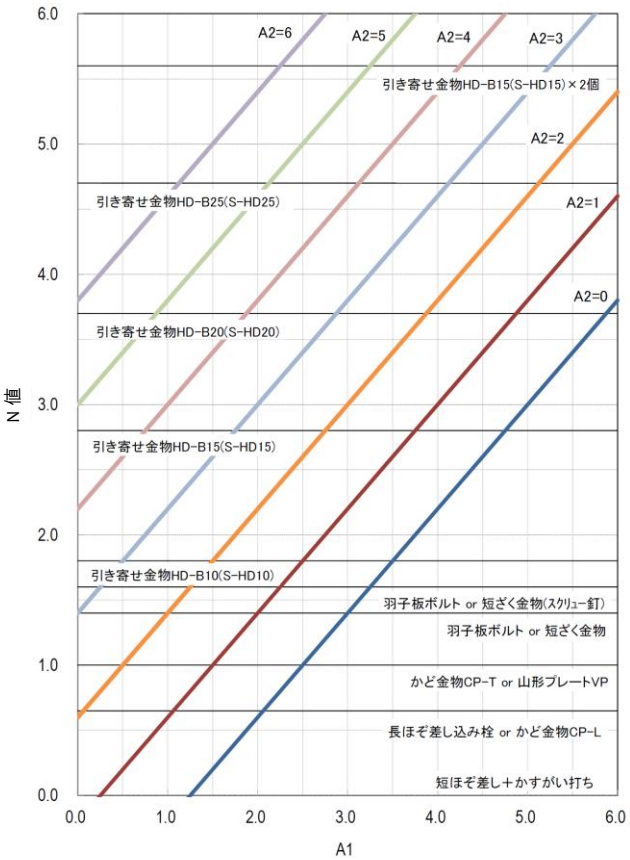


2階建て2階の中柱・隅柱に求められる N 値



(a) 中柱

2階建て1階の中柱に求められる N 値



(b) 隅柱

2階建て1階の隅柱に求められる N 値

Ref-5 在来軸組構法の接合部の仕様と耐震診断

参考として、在来軸組構法における接合部の性能と耐力壁との関係を、既存住宅の改修を例に示します。

在来軸組構法の耐力壁は、柱頭・柱脚の接合部の仕様によって、発揮される構造性能に違いが生じます。既存住宅の耐震診断では、接合部の仕様を大きく次のように分類しています（一般診断時）。接合部の仕様と壁耐力（壁強さ倍率）の組み合わせに応じて評点が変わります。

☜耐震診断には、大きく分けると、「誰でもできるわが家の耐震診断」、「一般診断」、「精密診断法」の 3 種類があります。

耐震診断時の接合部の分類（一般診断）

仕様Ⅰ	告示 1460 号に適合する仕様
仕様Ⅱ	羽子板ボルト、山形プレート VP、かど金物 CP-T、CP-L、込み栓
仕様Ⅲ、Ⅳ	ほぞ差し、釘打ち、かすがい等

改修のために仕様調査が実施された既存の在来軸組構法住宅（27 棟）を対象として一般耐震診断を行い、改修時に接合部の仕様が変わることにより、耐震診断値がどのように変わるかをシミュレーションしてみました。

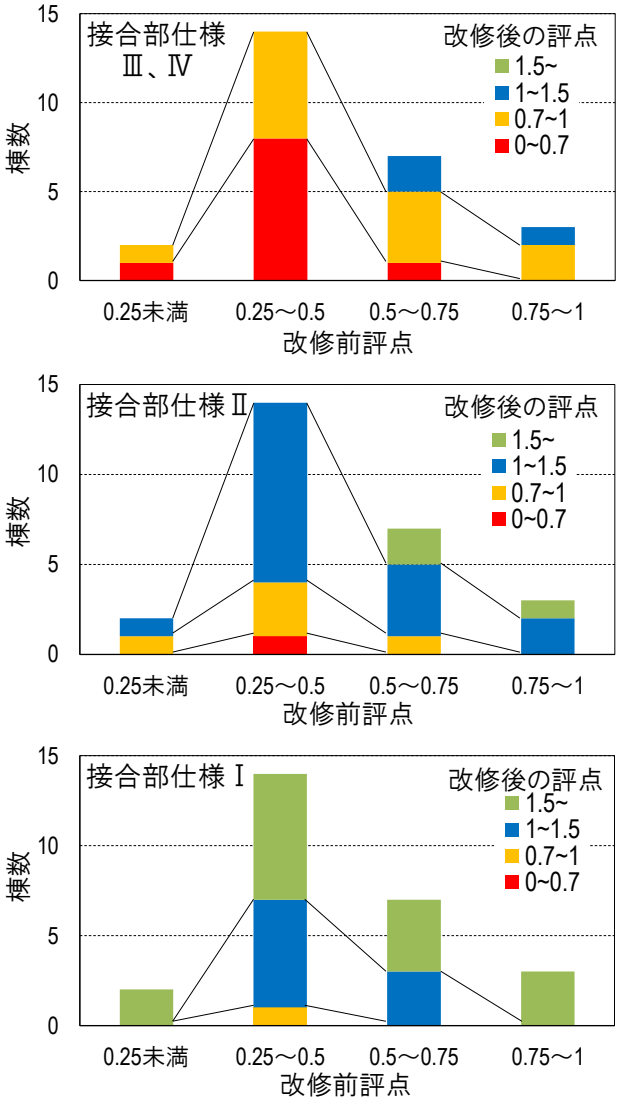
☜対象物件は築年数 16～54 年で、診断基準評点 0.7 を下回る住宅は 84%でした。

耐力壁については、壁強さ倍率が 9.52kN/m となる非常に粘り強い壁仕様で改修することを共通の条件とし、接合部の仕様を上述のそれぞれの仕様にして耐震診断を行った結果を右の図に示します。

仕様Ⅳとした場合、評点 1.0 を上回る（「一応倒壊しない」）住宅は3棟ほどであり、大半の住宅は評点 1.0 未満（「倒壊の可能性あり・高い」）となりました。改修前の評点が 0.5 以下の住宅においては評点 0.7 を上回ることができず、耐震補強が有効に行われないことになります。

これに対し、接合部仕様Ⅱとした場合、改修前の評点が 0.75 以下の住宅においても、評点が 1.0 を上回る住宅が増加し、改修前の評点が 0.25 以下の住宅であっても評点が 1.0 以上になる場合も確認できます。

更に、接合部仕様Ⅰとした場合においては、評点 1.0 を上回る住宅が全体の 97%を占めるようになり、評点 1.5（「倒壊しない」）以上に達する住宅が半数を占めるようになりました。



接合部の性能の違いが改修後の評点に及ぼす影響

Ref-6 参考文献・引用文献一覧

1)平井卓郎、宮澤健二、小松幸平：木質構造[第 2 版]、東洋書店、2006.7
2)建築大辞典(第 1 版)、彰国社、1991.8. 10
3)木質構造研究会：木質構造建築読本 ティンバーエンジニアリングのすべて(第1版)、井上書院、1999.2.10
4)日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル(第1版)、2009.11.30
5)日本建築学会：木質構造基礎理論(第 1 版)、2010.12.20
6)日本建築学会：木質構造限界状態設計指針(案)・同解説(第1版)、2003.10.20
7)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―(第 4 版)、2006.12.1
8)京都大学生存圏研究所：第 72 回生存圏シンポジウム木質ラーメン構法の現状と今後の課題、2007.6
9)平井卓郎、澤田稔：側材に鋼板を用いたボルト接合部のせん断耐力，木材学会誌 28(11),pp.685-694,1982
10)小松幸平、前田典昭、堀江和美：接合具の非線形特性を考慮に入れた集成材骨組み構造の解析(第 2 報)実験による検証、木材学会誌、35(3)、pp.201-211、1989
11)中谷誠、小松幸平：ラグスクリューボルトの引抜き性能発現機構(第1報)先孔直径、埋め込み深さ、埋め込み方向、縁距離が引抜き性能に与える影響、木材学会誌 51(2)、pp.125-130、2005
12)中谷誠、小松幸平：ラグスクリューボルトの引抜き性能発現機構(第2報)繊維方向引抜理論の構築、木材学会誌 51(5)、pp.311-317、2005
13)中谷誠、小松幸平：ラグスクリューボルトの引抜き性能発現機構(第3報)繊維直交方向引抜理論の構築、木材学会誌 52(3)、pp.160-167、2006
14)社団法人日本木材加工技術協会：構造用集成材の製品計画および製造に関する講習会テキスト、pp239-265、2008.11
15)社団法人日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法 木造住宅の耐震精密診断と補強方法(改訂版)、2004.7.12

道産材を用いた木造住宅における
接合部開発・設計の手引き

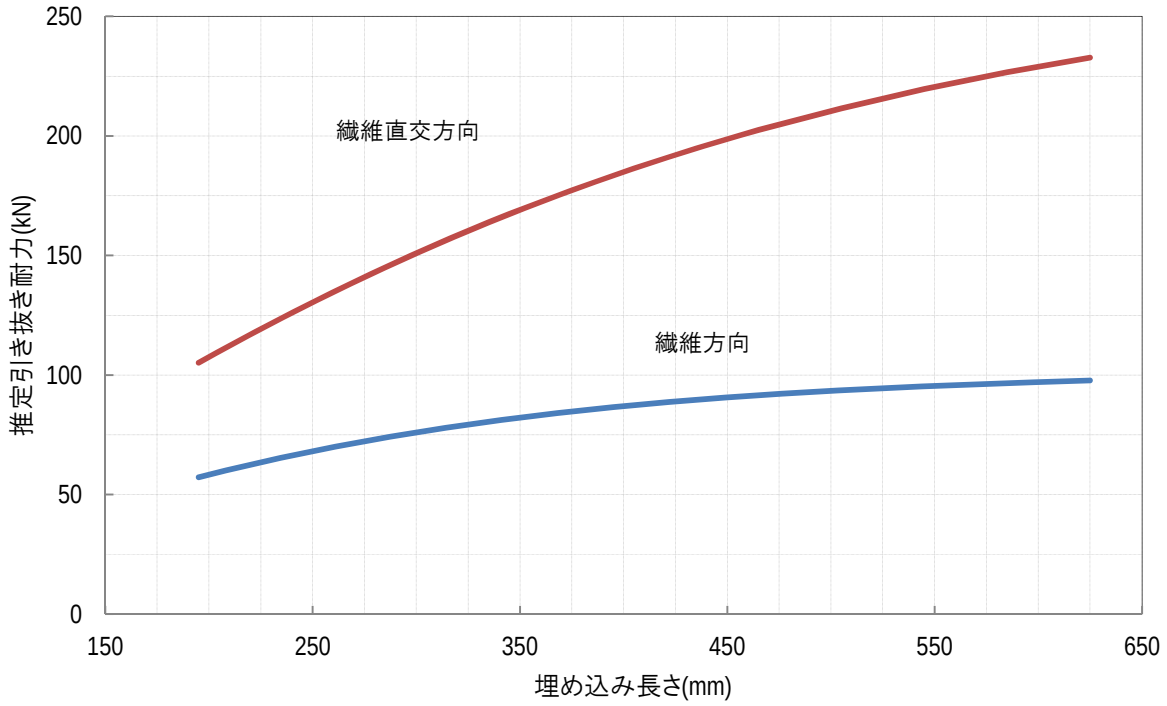
発行編集　地方独立行政法人　北海道立総合研究機構
建築研究本部　北方建築総合研究所

問合せ先
地方独立行政法人　北海道立総合研究機構
建築研究本部　北方建築総合研究所
旭川市緑が丘東1条3丁目 1-20
(0166)66-4211
環境科学部構法材料グループ　主査　　植松武是

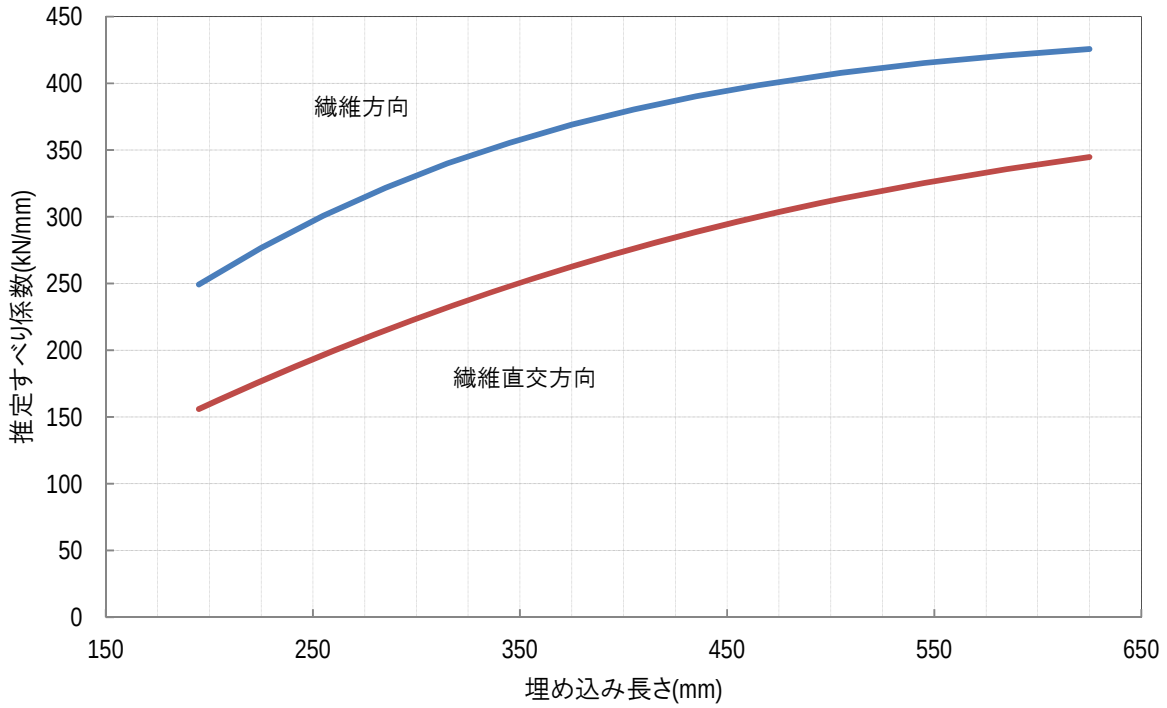
森林研究本部　林産試験場
旭川市西神楽 1 線 10 号
(0166)75-4233
性能部耐久・構造グループ　　研究職員　野田康信

接合具と木材間の抵抗特性

【p.33 補足資料】任意埋め込み長さの抵抗特性の算出

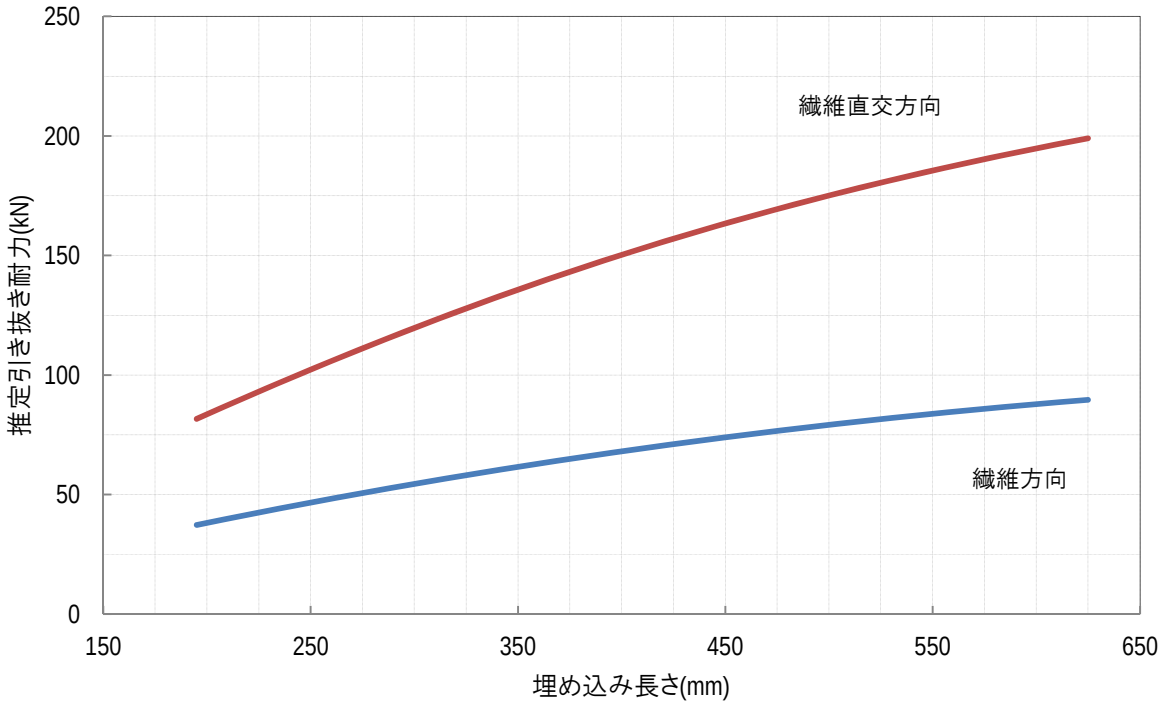


(a)引抜き耐力の推定

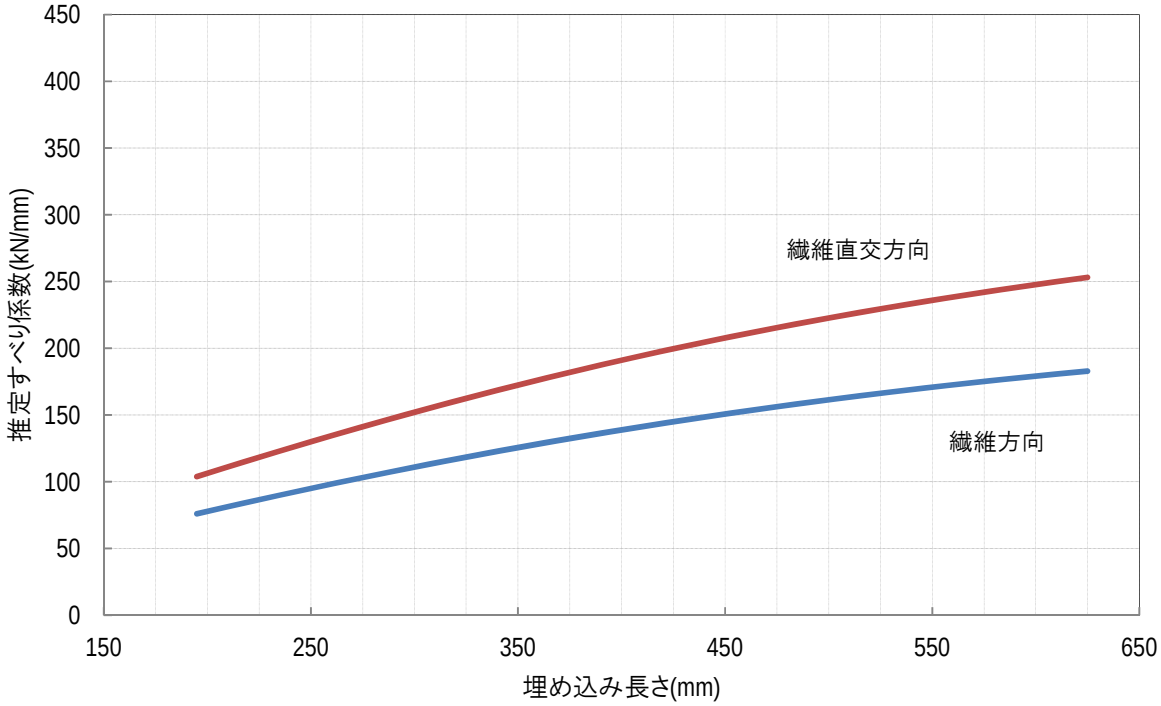


(b)すべり係数の推定

図Ⅱ-5-5 からまつ集成材に対するラグスクリューボルト1本の抵抗特性



(a)引抜き耐力の推定



(b)すべり係数の推定

図Ⅱ-5-6 とどまつ集成材に対するラグスクリューボルト1本の抵抗特性