

木造建築業者との連携強化事業で行った トラス試験の報告書

平成 28 年度補正予算

「地域材利用の木材関係者等への支援対策」

一般社団法人愛媛県木材協会

平成28年度補正予算「地域材利用の木材関係者等への支援対策」の
「木造建築業者との連携強化事業」で行ったトラス試験の報告書・目次

○報告書の内容

中大規模建築の木造化を進めるため、あらかじめ木造トラスの性能等に関する条件を定めて、県内3グループでトラスを検討し、グループで2体ずつ試作と性能評価を行った。報告書は、予備試験として行ったJISトラスを含め、7体のトラスの特徴を説明し、設計強度と実際の破壊強度の比較や仕口部分などの破壊の原因を分析し改善方法を検討するとともに、トラスの部材や組み立て経費等のコストについても分析し、取りまとめを行い、推奨できるトラスを考察した。

○報告書の目次

総ページ数 117p

1章 事業の概要と内容 (愛媛県木材協会・事務局) 11p	
1.1 愛媛県木材協会の事業概要	p. 1
1.2 検討会議と木造トラスの公開試験の内容	p. 2～11
2章 トラスの検証方法について (原田浩司氏) 14p	
2.1 部材データの整理	p. 12～14
2.2 接合のデータの整理	p. 15～20
2.3 勘合接合の耐力の整理	p. 21～25
3章 トラスの概要と試験方法及び結果 (柚山一利氏・玉置教司氏) 61p	
3.1 JISA-3301-2015 に準拠したトラス	p. 26～35
3.2 東予グループ提案のフィンクトラス	p. 36～44
3.3 東予グループ提案の平行弦トラス	p. 45～54
3.4 中予グループ提案のアイビトラス	p. 55～61
3.5 中予グループ提案の合板トラス	p. 62～71
3.6 南予グループ提案のキングポストトラス・スギ	p. 72～79
3.7 南予グループ提案のキングポストトラス・ヒノキ	p. 80～87
4章 トラスのコストについて (柚山一利氏) 1p	
4.1 コストの比較と考察	p. 88
5章 トラスの強度試験の評価と分析及び改善点 (原田浩司氏) 24p	
5.1 JISA-3301-2015 に準拠したトラス	p. 89～100
5.2 東予グループ提案のフィンクトラス	p. 101～102
5.3 東予グループ提案の平行弦トラス	p. 103～104
5.4 中予グループ提案のアイビトラス	p. 105～106
5.5 中予グループ提案の合板トラス	p. 107～108
5.6 南予グループ提案のキングポストトラス	p. 109～112
6章 試験の取りまとめと推奨できるトラスの考察 (原田浩司氏) 5p	
6.1 試験の取りまとめ	p. 113～116
6.2 推奨するトラス	p. 117

1章 事業の概要と内容

1.1 平成28年度補正予算「地域材利用の木材関係者等への支援対策」の愛媛県木材協会の事業概要【事業期間：平成29年1月～8月】

(1) 本県の課題と事業の目的

豊富な森林資源の有効活用を図り、地域材の利用を促進することで、林業を成長産業へ育成することが、本県の課題であり、平成27年度事業(事業期間：平成28年3月～10月)を継続し、設計・建築業等との連携をさらに深め、中大規模木構造の具体化に向けた取り組みや、愛媛ブランド材「媛すぎ・媛ひのき」を核とした普及・PR活動や展示施設の整備を行う。

(2) 主な事業内容

① 木造建築業者との連携強化事業

前事業の成果を踏まえ、建築業と木材加工業が、中大規模木造建築の実現に向けて、木造トラスの設計・組立て・性能評価を行い、相互理解と協力関係を深めるとともに必要となる地域材の品質や加工、供給方法等を検討し、木造建築の拡大に資する。

○検討会議及び木造トラスの公開試験の開催

- ・参集者 愛媛県木材協会の会員、愛媛県建築士会の会員
愛媛県及び市町行政の営繕担当者、森林林業担当者
- ・テーマ 中大規模木造建築の具体化に向けて
- ・講師 木構造振興(株) 客員研究員 原田浩司
中大規模木造建築物構造設計地域リーダー

② 愛媛ブランド材展示施設整備事業

平成29年に本県で開催される「えひめ国体」の施設に地域材のベンチを展示するほか、四国四県の木材協会団体と連携し、四国霊場八十八カ所の寺院へベンチを展示し、普及・PRを行う。

○媛すぎ・媛ひのきの展示施設整備事業

- ・えひめ国体施設
- ・四国霊場八十八カ所の寺院(本県26霊場中、希望のあった22霊場で展示)

③ 愛媛ブランド材普及・PR事業

木材の良さの普及・PRを行うため、展示・配布用品を作成。

1.2 「木造建築業者との連携強化事業」で行う検討会議と木造トラスの公開試験の内容

(1) 木造建築業者との連携強化事業の趣旨

平成27年度の補正予算事業（事業期間：平成28年3月～10月）において、中大規模建築の木造化を考える検討会議を3回開催した。この検討会議では、地域の木材関係者と設計士、行政（林業・建築業）を交え、中大規模建築の木造化実現に向けて、具体的に地域材の品質、供給体制、設計・施工の課題等を協議した。

関係者の真摯な協議により、設計士の方は中大規模の木造建築物の設計経験が少ないこと、木造や木材についての知識が不足していること、木材関係者は木材製品の品質や供給体制に関する説明が十分でないことが判明した。

平成28年度の補正予算事業では、引き続き2回の検討会議を開催し、関係者の認識の共有化を図り、中大規模建築物に使用できる実大トラスの設計・材料調達・仕口加工・組立・性能評価を通じて、設計士と木材関係者、プレカット業者は、木造化や木材加工の要件等を体得することが必要であると結論付けた。木造トラスの性能評価は公開試験で行い、設計強度と実際の強度や破壊形態を分析し、コストを比較して、課題をまとめ、情報は開示し、現場に提案可能なトラスを考察することとした。

(2) 検討会議と木造トラスの公開試験の開催と内容（◎：補正予算事業以外で実施）

○第1回（平成29年2月3日（金）13:00～16:00） 会場：愛媛県水産会館

- ・平成27年度補正予算事業による検討経緯を説明し、認識・課題の共有を図った。
- ・設計、試作を行う木造トラスの条件設定（スパン、想定強度、コスト等）を説明
- ・東中南予でグループ分けし（木材協会員、意匠設計士、構造設計士、プレカット関係者等が参加）、責任者を決定
- ・詳細内容は別紙のとおり

○第2回（平成29年3月9日（火）13:30～16:30） 会場：愛媛県林業会館

- ・各グループのトラスの設計内容の発表と意見交換
- ・今後のスケジュールの説明
- ・詳細内容は別紙のとおり

○トラスの公開試験の開催（平成29年6月～7月） 会場：愛媛県林業研究センター

- ・JISトラス試験（1体）、東中南予3グループ各2体のトラス試験（6体）
- ・参加者は別紙名簿のとおり

◎トラスの長期荷重試験（平成29年10月～平成30年2月） 会場：愛媛県林業研究センター

- ・長期荷重を載荷した場合のトラスのたわみを計測し、分析

◎第3回（平成30年2月頃を予定） 会場：未定

- ・当補正予算事業により平成29年6月頃の開催を計画したが、長期クリープ試験等を行った後に開催するよう変更した。
- ・第3回検討会議では、トラスの強度試験の結果を説明し評価を行い、長期クリープ試験の結果を加味して、推奨可能なトラスを発表する計画

(3) 検討会議と木造トラスの公開試験の出席者名簿

区分			検討会議		木造トラスの公開試験・愛媛県林業研究センター（久万高原町）					
			第1回 2月3日	第2回 3月9日	JIS 6月7日	南予1 7月4日	南予2 7月5日	東予1 7月19日	中予1 7月20日	東予2、中予2 7月21日
講師 助言者	木構造振興㈱・客員研究員	原田浩司	出席	出席	出席				出席	
	中大規模木造建築物 構造設計地域リーダー	柚山一利	出席	出席	出席	出席	出席	出席	出席	出席
	中大規模木造建築物 構造設計地域リーダー	豊田恵介		出席	出席					
	愛媛県林業研究セン ター・主任研究員	玉置教司	出席	出席	出席	出席	出席	出席	出席	出席
	和田建築設計工房	和田耕一		出席					出席	
	(公社)愛媛県建築 士会・事務局長	大西勝秀		出席				出席		
愛媛県建築士会関係			10	9	9	5	4	5	6	5
行政・森林林業担当者・研究機関担当者			8	7	6	4	4	5	7	6
行政・県及び市町の営繕担当者			4	3	0	0	0	0	1	0
愛媛県木材協会・役員			10	4	2	1	1	1	3	2
愛媛県木材協会・会員			17	18	9	3	3	3	6	4
事 務 局			3	3	2	1	2	1	2	2
合 計			55	50	32	16	16	18	29	21

(4) 木造建築業者との連携強化事業・第1回検討会議の結果について

① 開催日時と会場

平成29年2月3日(金) 13:00~16:00 愛媛県水産会館6階大会議室

② 参集者 55名 別紙名簿のとおり

③ 検討会議の内容と結果

ア 愛媛県木材協会長 井関和彦のあいさつ(概要)

木材協会は中大規模建築の木造化を検討する会議を開催します。愛媛県林業政策課、建築住宅課営繕室の協力と愛媛県建築士会と連携して開催。講師は木構造振興株式会社の客員研究員の原田浩司と中大規模木造建築物構造設計地域リーダーの柚山一利、豊田恵介にお願いします。

去年は、「中大規模建築物への木材利用の考え方と取組みの仕方」をテーマにして開催し、建築業と木材業の出会いの場として位置づけたが、建築業は木材への理解と木造の経験が必要であり、木材業は、木材の品質や生産状況を建築業に説明し、中大規模建築に求められる製品を供給することが課題であると判明しました。

そして、今後は中大規模木造に提案できるトラスの設計、試作を通じて、さらに連携を深めていくと締めくくりました。皆様のご協力をお願いします。

イ これまでの検討経緯と今後の取り組みについて(事務局)

「木造建築業者との連携強化事業で開催した検討会議等の報告書」(平成27年度)により概要説明

ウ 「中大規模建築に使用するトラスの体験～設計・試作と性能評価について～」

木構造振興(株) 客員研究員 原田浩司
別紙「トラスを作ろう！」により説明

エ 「トラスの試験方法について」

愛媛県林業研究センター 主任研究員 玉置教司
別紙 「トラスの試験方法について」により説明

オ 「トラスの設計・試作を行うグループとその分け方について」

中大規模木造建築物構造設計地域リーダー 柚山一利
グループは、東・中・南予の地域別に作り、それぞれ木材関係者・プレカット業者・設計士等が所属するように構成。グループ責任者を選出することを説明

カ グループ責任者の役割や事務手続きと今後の計画について(事務局)

キ その他 情報提供

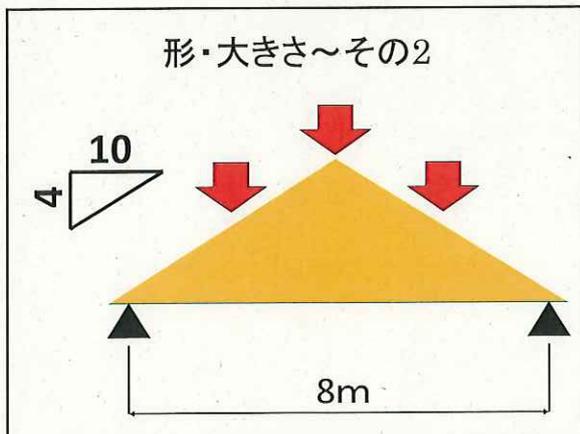
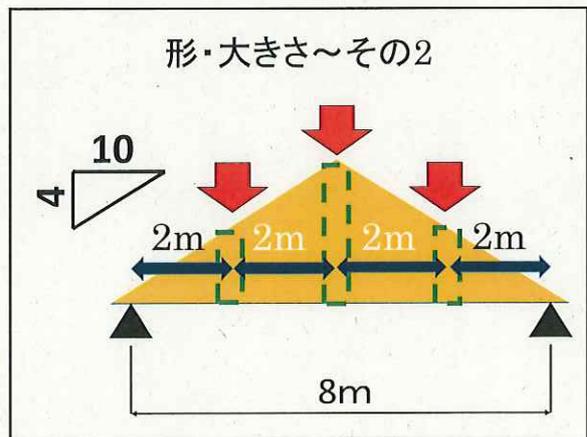
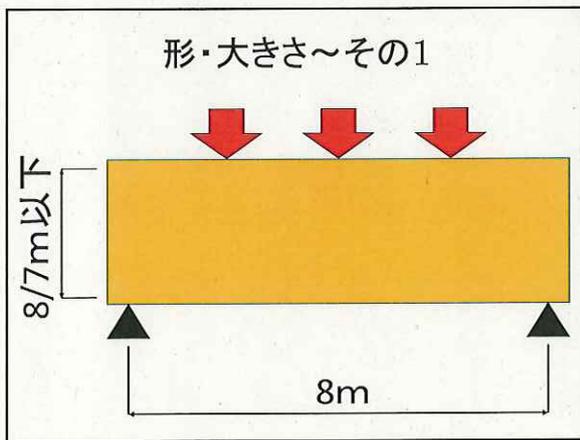
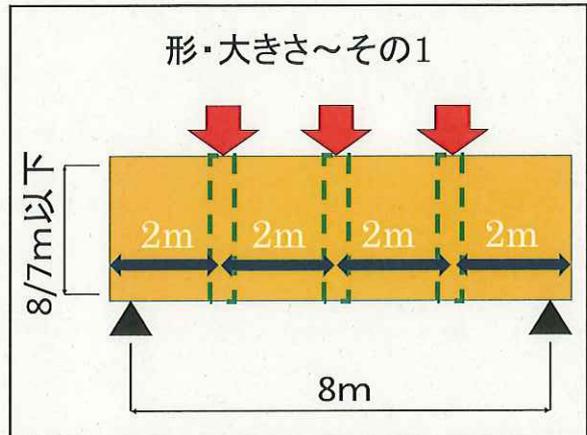
・公共施設等のトラスに関する情報 愛媛県建築住宅課営繕室 主任矢野昭宏

④ 講師の紹介

氏名 原田 浩司 (はらだ こうじ)
出身 山口県
学歴 広島大学工学部第四類構造工学課程卒業 (1982年)
職歴 ・ゼネコンに入社
・その後、木造住宅工務店、木質構造専門の構造事務所
集製材メーカーを経験
現在 ・木構造振興株式会社 客員研究員
(東京都港区赤坂2-2-19 アドレスビル5階)
・ウッドストック主宰
・山佐木材株式会社営業部
資格 ・一級建築士 (構造一級建築士)
・一級施工管理技士
・技術士 (森林部門・林産)
講師 ・ひろしま木造建築塾「木造木質化設計監理講座」 (広島県)
・一般社団法人「木を活かす建築推進協議会」
H27 中高層建築物担手育成指導事業 構造設計地域リーダー研修会

氏名 柚山 一利 (ゆやま かずとし)
出身 愛媛県新居浜市
学歴 東海大学工学部建築学科卒業 (1989年)
職歴 1989年4月 鉄建建設株式会社 入社
1994年11月 有限会社柚山製材所 入社
1997年5月 有限会社柚山製材所・ユヤマ1級建築設計工房設立
現在に至る
資格 ・一級建築士
・構造設計一級建築士

氏名 豊田 恵介 (とよた けいすけ)
出身 愛媛県宇和島市
学歴 日本大学工学部建築学科卒業
職歴 株式会社大野建築構造事務所 入社
株式会社SDA建築設計事務所 入社
K建築設計事務所 開設
株式会社K建築設計事務所 開設



- 使う材料
- 構造用製材(愛媛県産)を使用
(SD20 または SD15)
 - 金物・金具は特許がかかっていないもの(市販品はOK)
 - 木材加工は手加工
または機械加工

荷重条件

固定荷重 : 1100 N/m²

積載荷重 : 300 N/m²

トラスの間隔 : 3.0mで想定

目標

- ・設定する荷重条件の**3倍**の載荷でも壊れない。
- ・設定する荷重条件で支間の中央部のたわみが**2cm**以下とする。

固定荷重 (JISA 3301参照)

屋根:	瓦	470
	アスファルトルーフィング	20
	構造用合板 t=12	80
	ポリエチレンフォーム t=75	30
	垂木 60×105 @455	70
	構造用合板 t=24	150
	トラス	240
	小梁 105×105 @910	70
	グラスウール t=100	30
	野縁 40×40 @303	60
	強化石膏ボード t=12.5	120
	合計	1340

(単位: N/m²)

目標

- ・設定する荷重条件の**3倍**の載荷でも壊れない。
- ・設定する荷重条件で支間の中央部のたわみが**4/3cm**以下とする。

ただし SD20を使用する場合

積載荷重 (JISA 3301参照)

区分	床用	大はり、柱、基礎用	単位: N/m ²	
			地震用	たわみ用
屋根	490	300	200	
教室	2300	2100	1100	
廊下	3500	3200	2100	

価格(目安)

150,000 円/ 1体

材料費+加工費
運搬費、処分費は別途
組み立ては各自で

トラスの試験方法について

トラスの試験方法について

建材試験センター

鳥根県中山間地域研究センター

2017/2/3 トラスの試験方法

平行弦トラス

2017/2/3 トラスの試験方法

トラスの試験方法

山形トラス

平行弦トラス

スパン (支点間距離) : 8m
 3等分の等分布荷重 (山形トラスは3点加力)
 加力速度: ~15mm/分
 加力方法: 単調荷重
 試験作業 1体/日 計6日間

組立 → 設置 → 変位計取付 → 実験 → 確認 → 撤去

2017/2/3 トラスの試験方法

愛媛県林業研究センターの試験機(実大木材強度試験機)

2017/2/3 トラスの試験方法

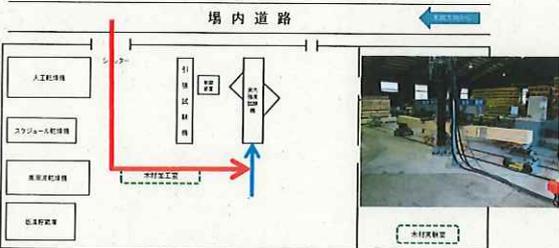
山形トラス

2017/2/3 トラスの試験方法

愛媛県林業研究センターの試験機

トラスの試験方法について

皆様へのお願い 1



【作業について】

- ※クレーンがありません。
フォークリフトを使用してトラスを立てます。
- 試験材などが多く保管されており、取り回しが難しいです。

2017/2/3 トラスの試験方法

皆様へのお願い 2

- ① **木材の材質を事前に確認ください。**
試験の結果(破壊状況や耐力)に木材の材質が影響していたかを確認するために必要です。
- ・密度(断面寸法と重量、加工前)
 - ・ヤング係数
 - ・その他、目視により、割れ(表面、内部)など



↓ サポートあります

- 2/14 木材の基礎についての研修会
- 林業研究センターからもサポート
(最寄りの県森林林業課の職員もご協力よろしくお願いします。)



- ② **実験は計6日間実施予定**
見学に来てください。
その時には、仲間をつれて！

2017/2/3 トラスの試験方法

(5) 木造建築業者との連携強化事業・第2回検討会議の結果について

① 開催日時

平成29年3月9日(木) 13:30~16:30 愛媛県林業会館3階大ホール

② 参加者 52名 別紙名簿のとおり

③ 検討会議の内容と結果

ア 愛媛県木材協会 井関和彦のあいさつ(概要)

検討会議は第2回目の開催ですが、中大規模建築に実際に提案できる木造トラスについて、各グループから設計内容を発表します。

各グループとも、予算面や性能面で制約がある中で、木造トラスの設計を行われ、グループの責任者の方はご苦勞をされたと思います。

木造トラスの設計、試作、評価を行う趣旨は、建築業の方には、木造の設計を実際に行うとともに、設計したトラスの強度性能も確認していただくこと、そしてこの取り組みを通じて、木材業は、木材の品質や価格などを建築業の方に説明することで、お互いの連携を深め、地域で中大規模建築物の木造化を進めていくことです。

イ 各班のトラス設計内容発表

・東予グループ 政石信行(建築設計エイチ・エム)

製作するトラス: 山形トラス1体、平行弦トラス1体

材料: スギ E70

特徴: 山形 中心を正三角形にし、美観を意識

意見: 一般流通材を使用するという条件に合わないのではないか。

接合部の詳細設計を詰めること。

・中予グループ 矢野昭宏(愛媛県建築指導課営繕室)

製作するトラス: 山形トラス1体、アイビトラス1体

材料: スギ E70

特徴: 山形トラス 両裾部分を合板で補強、アイビトラス 美しさを追及

意見: 山形は一部三角形でない箇所があり、そこが心配。

アイビトラスの高さが試験機に収まらないため、サイズを縮小する。

・南予グループ 井上 剛(榎マルヨシ)

製作するトラス: 山形トラス2体

材料: スギ、ヒノキ

特徴: 八幡浜出身の設計士の木村保一氏が設計した木造トラスを再現。

最も典型的な山形トラスであり、応用の利くモデルである。

意見: 継ぎ手の仕方を検討すること。

・講評

全体的に設計の手順が逆になっている。部材の大きさを決める前に、まず接合部の詳細を決め、そこから材料を考えてほしい。

品質の高い材料を選ぶのではなく、欠点等も含む並材を使ってこの欠点の影響を見てほしい。

ウ トラス製作にかかる事務手続きについて

- ・事務局より、設計書の提出期限等について説明
- ・講師と事務局の承認を得てから、トラスの作成を行うこと
- ・試験日程の説明（予備試験として JIS トラスの試験を行うことなど）

エ トラスの視察の報告（柚山講師、玉置主任研究員）

- ・トラスの実験用治具と強度試験の方法について、視察の報告
- ・破壊試験の写真と動画
トラスの壊れ方の解説や実験を行う際の注意事項の確認
設計者はどこが、どのように壊れるかを考えながら設計してほしい。

(6) 木造トラスの設定条件と公開試験の結果について

トラスの試験内容と結果については、3章、4章、5章で詳述しました。

トラス作成の条件は、第1回検討会議にて原田浩司氏が「トラスを作ろう！」と題して説明し、資料は前頁に掲載しているが、条件の概要を以下に再掲します。

- ①トラスのスパン 8m
- ②愛媛県産構造用製材で、含水率は20%以下に調整されているものを使用。
- ③金物・金具は特許製品でないものを使用。
- ④荷重条件は、固定荷重 1,100N/m²・積載荷重 300N/m²・トラスの間隔 3m。
- ⑤目標は、設定荷重の3倍以上の強度（900N/m²）と設定荷重条件で、中央部のたわみが20mm以下。
- ⑥トラスの材料費と加工費は、150,000円/1体（運搬費と組立て経費は除外）。

試験は、愛媛県林業研究センター（久万高原町）にて、下記の日程で行いました。

- ・平成29年6月7日 JISトラス改
- ・平成29年7月4日 南予キングポストラス・スギ
- ・平成29年7月5日 南予キングポストラス・ヒノキ
- ・平成29年7月19日 東予フィンクトラス
- ・平成29年7月20日 中予合板トラス
- ・平成29年7月21日 東予平行弦トラス、中予アイビトラス

公開試験の速報は、（一社）愛媛県木材協会ホームページに掲載しています。

2章 トラスの検証方法について

2.1 部材データの整理

(1) 材料の基準強度

実験で使用したスギとヒノキの機械等級区分および無等級の基準強度を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 使用する木材の基準強度 (単位: N/mm²)

樹種	等級	圧縮	引張	曲げ	せん断	めり込み
		Fc	Ft	Fb	Fs	Fcv
スギ	E50	19.2	14.4	24.0	1.8	6.0
	E70	23.4	17.4	29.4		
	E90	28.2	21.0	34.8		
	E110	32.4	24.6	40.8		
	無等級	17.7	13.5	22.2		
ヒノキ	E70	18.0	13.2	22.2	2.1	7.8
	E90	24.6	18.6	30.6		
	E110	31.2	23.4	38.4		
	E130	37.8	28.2	46.8		
	無等級	20.7	16.2	26.7		

(2) めり込み強度の低減

めり込みの基準強度は図 2.1-1 の左図の状況とは異なり、図 2.1-1 の右図のように部材の端部に木材繊維直角方向の荷重を受ける場合には、低減係数 0.8 を上記表の値に乗じてめり込みの検討を実施する。

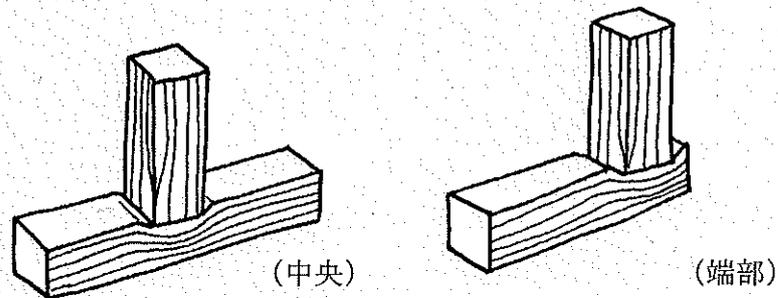


図 2.1-1 荷重位置の相違によるめり込み基準強度の変化

(3) 荷重角度

荷重の方向と木材の繊維方向の角度を荷重角度と呼び、荷重角度が 0°と 90°間の θ°の許容耐力は式 2.1-1 で与えられる。

$$R_{\theta} = \frac{R_0 \cdot R_{90}}{R_0 \cdot \sin^2 \theta + R_{90} \cdot \cos^2 \theta} \quad \text{式 2.1-1}$$

R_θ : 角度 θ° の時の許容耐力

R₀ : 角度 0° の時の許容耐力

R₉₀ : 角度 90° の時の許容耐力

(4) 木材の許容応力度

木材の破壊強度は荷重継続時間に依存するといわれている。「木質構造設計規準・同解説」では、海外の実験結果を参考に強度比と荷重継続時間を図 2.1-2 として、荷重継続時間 250 年の強度を基準とし、10 分の強度比を 2.0、50 年の強度比を 1.1 としている。木材の許容応力度 (f) は基準強度 (F) にこの荷重時間に対する強度比 (K_d) と安全係数 (K_f)、および基準化係数 (K₀) を乗じて求めることにし、現在の建築基準法では安全係数 (K_f) は 2/3、基準化係数 (K₀) は 1/2 を採用している (式 2.1-2 参照)

$$f = K_f \cdot K_0 \cdot K_d \cdot F = \frac{1}{3} \cdot K_d \cdot F \quad \text{式 2.1-2}$$

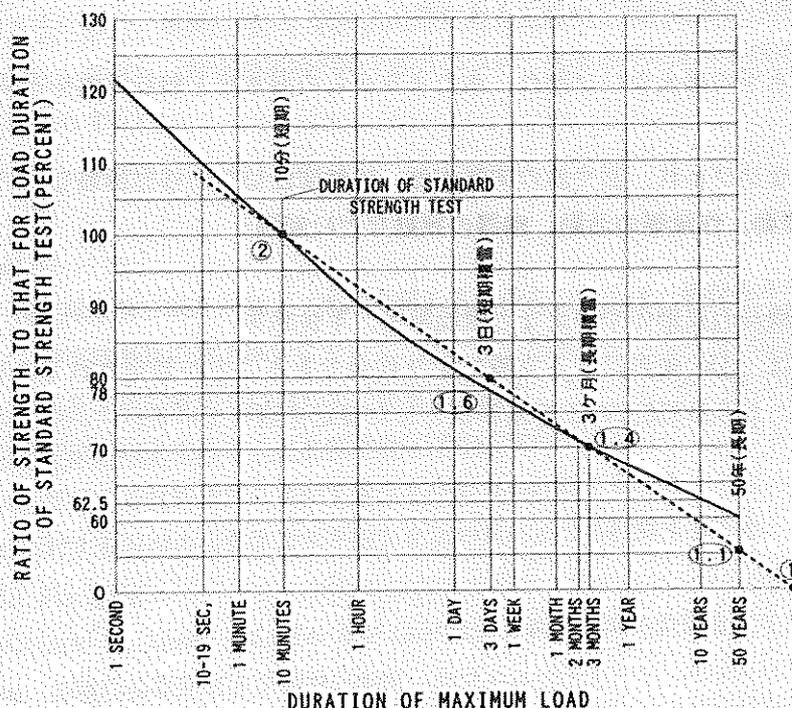
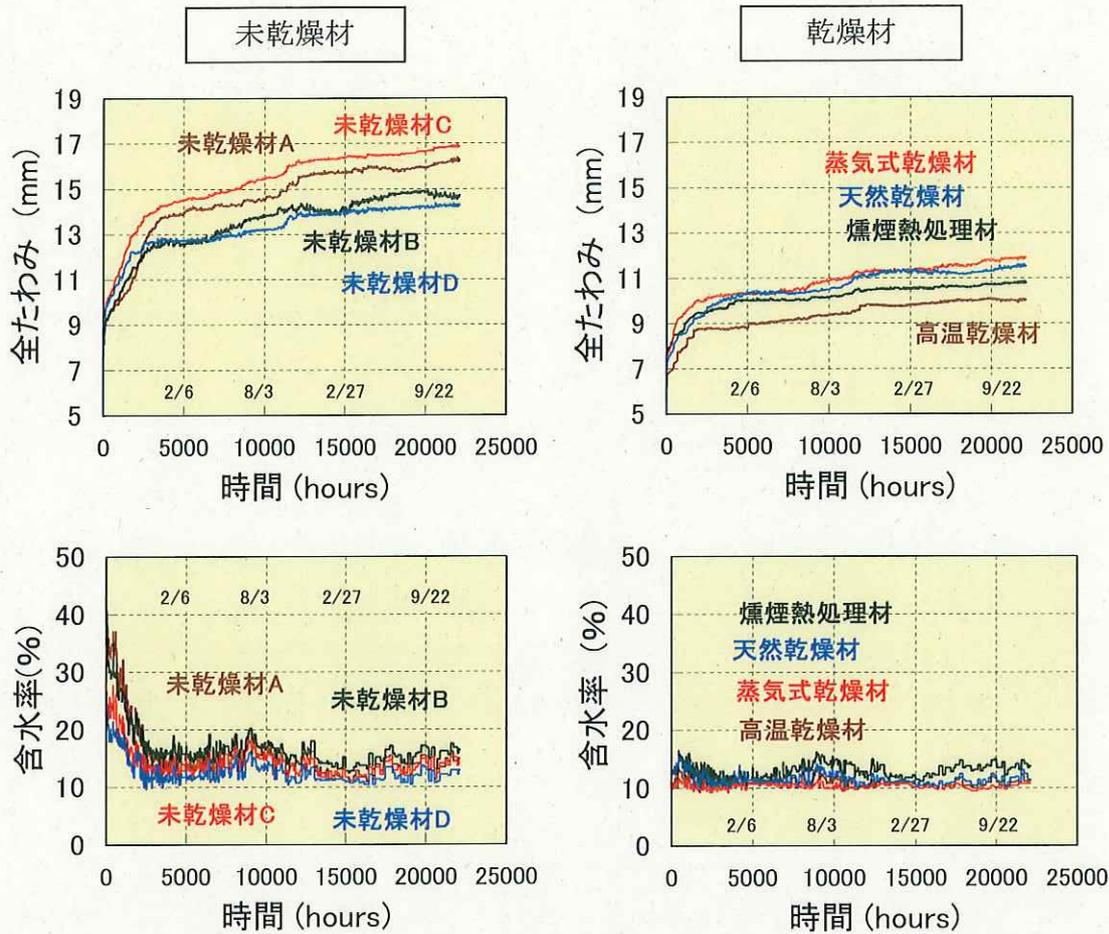


図 2.1-2 荷重時間と強度比の関係

(5) 木質構造の変形性能に与える現象

部材に荷重をかけると変形するが、持続的に力が作用した際、時間の経過とともに変形が増大する現象をクリープといい、鉄筋コンクリートや木材を構造部材に使用するには、このクリープを考慮して設計する必要がある。平 12 建告 1459 号では、変形増大係数により、このクリープを考慮している。

また、繊維飽和点に達した時点から気乾状態に到達するまでの含水率減少の過程で、変形が進む現象 (図 2.1-3 参照) をメカノソープティブ変形という。この現象は時間とともに様々なトラブルに繋がる可能性が高いため、的確な含水率管理を行うことでこの現象の軽減に努めることが木材関連産業には求められる。



資料提供：宮崎県木材利用技術センター

図 2.1-3 含水率の変化と梁のたわみの変化

2.2 接合データの整理

(1) 接合部の検証を進めるときの木材の強度データ

ボルトや釘等をせん断接合に使用する場合の木材の比重と支圧強度は表 2.2-1 の値を採用する。

表 2.2-1 接合部の設計に使用する木材の強度性能

樹種	比重		木材繊維方向	木材繊維直角方向
	基準値	平均値	N/mm ²	N/mm ²
スギ	0.32	0.38	19.4	9.7
ヒノキ	0.37	0.44	22.4	11.2

(2) せん断ボルトの強度

図 2.2-1 に示す二面せん断木材側材形式のボルトのせん断降伏耐力は式 2.2-1 で算出することができる。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

P_y : ボルトの接合の降伏耐力 (N)

F_e : 主材の支圧強度 (N/mm²)

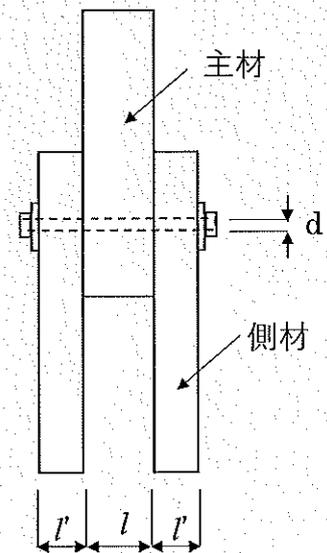
d : ボルト径 (mm)

l : 主材厚 (mm)

l' : 側材厚 (mm)

C : 接合形式係数

式 2.2-1



接合形式係数 (C) の値は、下記の最小値を採用する。

$$\frac{2 \cdot \alpha \cdot \beta}{1} \quad \begin{array}{l} \text{降伏モード I} \\ \text{降伏モード II} \end{array}$$

$$\sqrt{\frac{8 \cdot \alpha^2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta)}{(2\beta + 1)^2} + \frac{8 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3 \cdot (2\beta + 1)}} - \frac{2\alpha \cdot \beta}{2\beta + 1} \quad \text{降伏モード III}$$

$$\frac{d}{l} \sqrt{\frac{8 \cdot \beta \cdot \gamma}{3 \cdot (1 + \beta)}} \quad \text{降伏モード IV}$$

図 2.2-1 二面せん断木材側材

α : 側材厚 / 主材厚

β : 側材の支圧強度 / 主材の支圧強度

γ : ボルトの基準材料強度と主材の支圧強度の比 (F/F_e)

F : ボルトの基準材料強度 (N/mm²)

上記の降伏モードは図 2.2-2 に対応する。

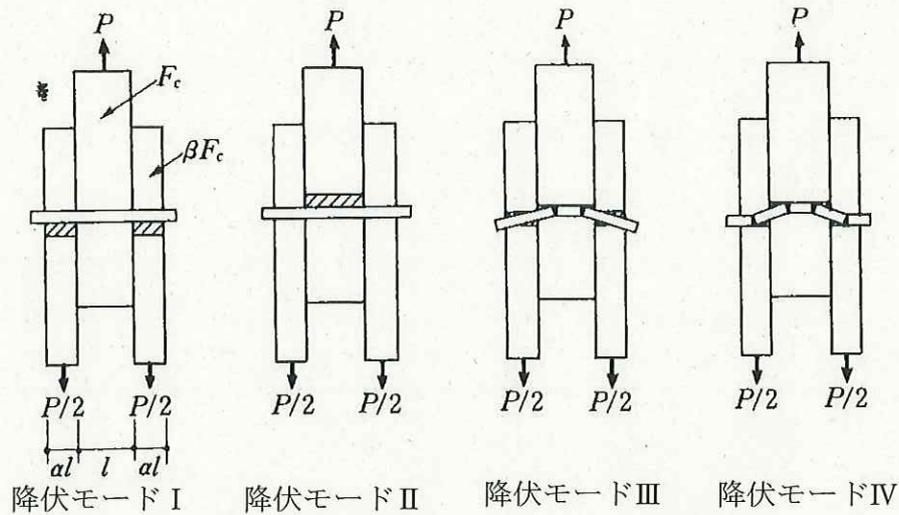


図 2.2-2 二面せん断木材側材のボルトの降伏モード
 (「木質構造設計規準・同解説」引用)

図 2.2-3 に示す一面せん断木材側材形式のボルトのせん断降伏耐力は式 2.2-1 に対し、
 接合形式係数 (C) の値は、下記の最小値を採用する。

$$\frac{\alpha \cdot \beta}{1} \cdot \frac{\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \alpha + \alpha^2) + \alpha^2 \cdot \beta^3}}{1 + \beta} - \frac{\beta \cdot (1 + \alpha)}{1 + \beta}$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta)}{(2 + \beta)^2} + \frac{2 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3 \cdot (2 + \beta)}} - \frac{\beta}{2 + \beta}$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot \alpha^2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta)}{(2\beta + 1)^2} + \frac{2 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3 \cdot (2\beta + 1)}} - \frac{\alpha \cdot \beta}{2\beta + 1}$$

$$\frac{d}{l} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta \cdot \gamma}{3 \cdot (1 + \beta)}}$$

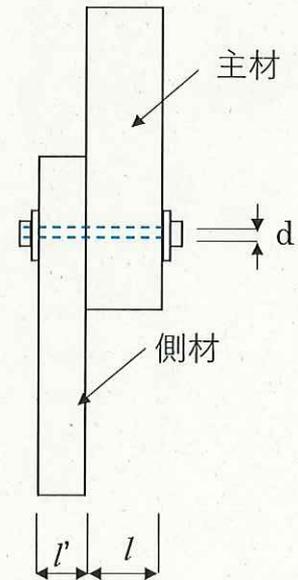


図 2.2-3 一面せん断木材側材

- α : 側材厚 / 主材厚
- β : 側材の支圧強度 / 主材の支圧強度
- γ : ボルトの基準材料強度と主材の支圧強度の比 (F / Fe)
- F : ボルトの基準材料強度 (N/mm²)
- Fe : 主材の支圧強度 (N/mm²)
- d : ボルト径 (mm)
- l : 主材厚 (mm)

図 2.2-4 に示す一面せん断鋼板側材形式のボルトのせん断降伏耐力は式 2.2-1 に対し、接合形式係数 (C) の値は、下記の最小値を採用する。

$$1$$

$$\frac{d}{l} \cdot \sqrt{2 + \frac{2}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1$$

$$\frac{d}{l} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \gamma}$$

γ : ボルトの基準材料強度と主材の支圧強度の比 (F/F_e)

F : ボルトの基準材料強度 (N/mm^2)

F_e : 主材の支圧強度 (N/mm^2)

d : ボルト径 (mm)

l : 主材厚 (mm)

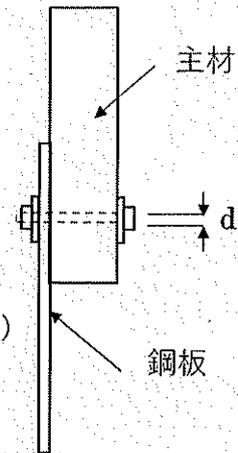


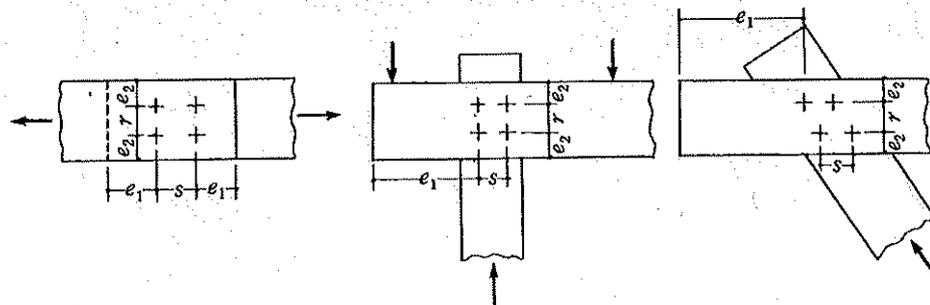
図 2.2-4 一面せん断鋼板側材

せん断を受けるボルトの配置のルールを表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2 せん断ボルトの配置のルール

(「木質構造設計規準・同解説」引用)

距離 間隔	加 力 方 向		
	織 維 方 向	織 維 に 直 角 方 向	中 間 角 度
s	$7d$ 以上	$3d$ ($l/d=2$) $3d \sim 5d$ ($2 \leq l/d < 6$) $5d$ 以上 ($l/d \geq 6$)	角度に応じて繊維方向と繊維に 直角方向の値の中間値をとる
r	$3d$ 以上	$4d$ 以上	
e_1	$7d$ 以上 (荷重負担側) $4d$ 以上 (荷重非負担側)	$7d$ 以上	
e_2	$1.5d$ 以上, $l/d > 6$ のときは $1.5d$ 以上かつ $r/2$ 以上	$4d$ 以上 (荷重負担側) $1.5d$ 以上 (荷重非負担側) ただし, (6.2) 式による検討を 行う	



(3) 釘のせん断強度

図 2.2-5 に示す JAS に規定される構造用合板を側材とする一面せん断木材側材形式の釘の長期基準許容せん断耐力は式 2.2-2 で算出する。尚、主材の厚さは釘径の 9 倍以上、側材厚は $4.4d / (1 + \beta)$ 以上とする。

$$P_a = \frac{1.21}{3} \cdot P_y \quad \text{式 2.2-2}$$

P_y : 釘接合の降伏耐力 (N)

$$P_y = F_{e1} \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta \cdot \gamma}{3 \cdot (1 + \beta)}}$$

β : F_{e2} / F_{e1}

γ : F / F_{e1}

F_{e1} : 主材の基準支圧強度 (N/mm²)

F_{e2} : 主材の基準支圧強度 (N/mm²) 樹種により表 2.2-1 の繊維方向の数値を採用。

F : 釘の基準材料強度 (N/mm²) 表 2.2-3 による

d : 釘径 (mm)

ただし、釘の頭が抜けないように式 2.2-3 を満たすことを確認する。

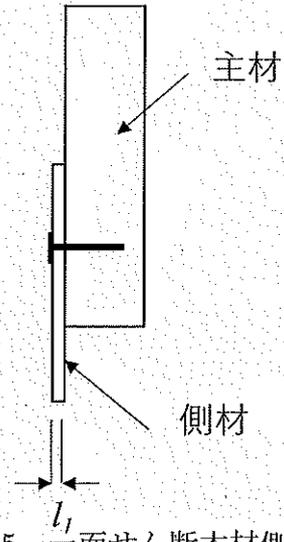


図 2.2-5 一面せん断木材側材

$$P_a \geq \frac{1.1}{3} P_p \quad \text{式 2.2-3}$$

$$P_p = 19.5 \cdot r_0^{1.5} \cdot t^{0.75} \cdot d_h^{1.7}$$

r_0 : 合板の基準比重

t : 合板の厚さ (mm)

d_h : 釘頭部の直径 (mm)

鋼板を側材とする 1 面せん断の釘の降伏せん断耐力は式 2.2-4 で算出する。尚、主材の厚さは釘径の 9 倍以上、側材厚は $5.4d / (1 + \beta)$ 以上とする。

$$P_y = F_e \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \gamma} \quad \text{式 2.2-4}$$

γ : F / F_e

F_e : 主材の基準支圧強度 (N/mm²)

F : 釘の基準材料強度 (N/mm²) 表 2.2-3 による

d : 釘径 (mm)

せん断を受ける釘の配置のルールを表 2.2-4 に、釘の寸法の参考値を表 2.2-5 に示す。

表 2.2-3 釘の基準材料強度

釘径 (mm)	基準材料強度 (N/mm ²)	備考
$d \leq 3.2$	690	N50, CN50, N65
$3.2 < d \leq 4.0$	590	CN65, N75, CN75, N90
$4.0 < d \leq 5.5$	540	CN90, N125, N150
$5.5 < d$	490	CN125, CN150

表 2.2-4 釘の配置のルール

(「木質構造設計規準・同解説」引用)

加力が繊維方向の場合	加力方向	釘間隔	$12d$	
		釘側圧縮の作用する側の端距離	$15d$	
	加力に直角方向	釘列間隔	$5d$	
		縁距離	$5d$	
加力が繊維に直角方向の場合	加力方向	釘間隔	$8d$	
		縁距離	$8d$	
	加力に直角方向	同一繊維上釘間隔	$10d$	
		端距離	$10d$	

表 2.2-5 釘の参考値

種類	長さ L		胴部径 d		頭部径 D
	寸法	許容差	寸法	許容差	参考値
N50	50	± 2.5	2.75	± 0.06	6.6
N65	65	± 3.0	3.05	± 0.08	7.3
N75	75	± 3.5	3.4	± 0.08	7.9
CN50	50.8	± 1.6	2.87	± 0.1	6.76
CN65	63.5	± 1.6	3.33	± 0.1	7.14

(4) ボルト接合の引張強度

引張ボルトの接合耐力は式 2.2-5 および式 2.2-6 により検討する。

$$P_w = 0.75 \cdot F \cdot A_z \quad \text{式 2.2-5}$$

$$P_w = F_e \cdot A_w \quad \text{式 2.2-6}$$

P_w : 引き抜きに対するボルトの降伏耐力 (N)

F : ボルトの基準強度 (採用)

A_z : ボルトの軸断面積 (mm²)
 F_e : 木材の圧縮基準強度 (N/mm²)
 A_w : 座金の面積 (mm²)

尚、式 2.2-7 が成立させるためには、式 2.2-7 により、座金の曲げ降伏耐力が十分あることを確認することが求められる。

$$\frac{M_w}{Z_w} \leq F \quad \text{式 2.2-7}$$

F : 座金の基準強度 (通常、235N/mm²を採用)
 M_w : 座金に生じる曲げモーメント ($M_w = F_e \cdot W^2/8$, N/mm²/mm)
 W : 座金の径または座金の幅 (mm)
 Z_w : 座金の断面係数 ($Z_w = t^2/6$, N/mm³/mm)
 t : 座金の厚さ (mm)

また図 2.2-6 のように引き抜き破壊が生じないように式 2.2-8 により、図 2.2-7 のように母材が引張破壊しないように式 2.2-9 により、強度性能の検討をしておくことが求められる。尚、断面欠損は力の偏在を考慮し、全断面の 1/4 以下とする。

$$P \leq 2 \cdot B \cdot L_e \cdot f_s \quad \text{式 2.2-8}$$

$$P \leq B \cdot (D - d) \cdot f_t \quad \text{式 2.2-9}$$

f_s : 木材の許容せん断強度 (N/mm²)
 f_t : 木材の許容引張強度 (N/mm²)

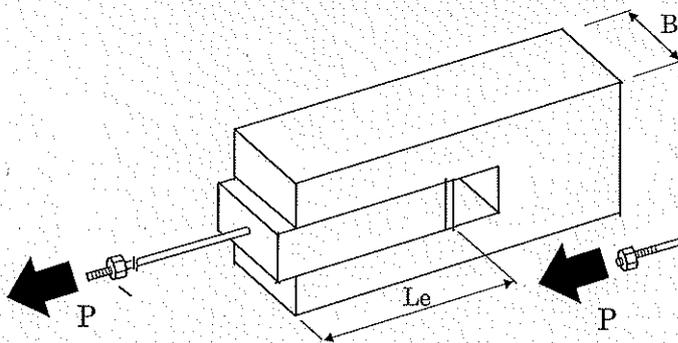


図 2.2-6 木材の引き抜け破壊

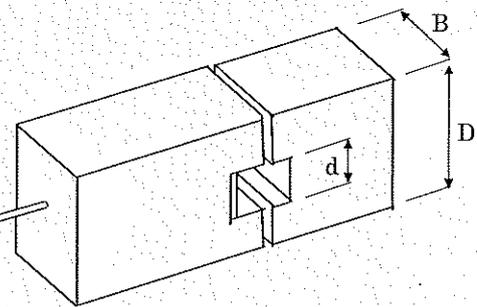


図 2.2-7 母材の引張破壊

ボルト接合に使用する座金の寸法・厚さの標準を表 2.2-6 に示す。ただし手締めにより座金がめり込む場合には、寸法および厚さを大きくすることが望ましい。

表 2.2-6 ボルト座金の最小寸法および厚さ

(「木質構造設計規準・同解説」引用)

(単位 : mm)

	ボルト径	8mm	10mm	12mm	16mm	20mm	24mm
引張を 受ける	厚さ	4.5	4.5	6	9	9	13
	各座金の1辺	40	50	60	80	105	125
ボルト	丸座金の直径	45	60	70	90	120	140
	厚さ	3.2	3.2	3.2	4.5	6	6
せん断を 受ける	各座金の1辺	25	30	35	50	60	70
	丸座金の直径	30	35	40	60	70	80

2.3 勘合接合の耐力の整理

(1) 追掛大栓継ぎの耐力

図 2.3-1 に示す追掛大栓継ぎの耐力は、顎から先の鎌部分のせん断破壊と目違いの開きによる割裂のいずれかで破壊すると予想される。

① 顎から先の鎌部分のせん断で破壊する場合

$$P_1 = \frac{1}{2} F_s \cdot L \cdot D$$

式 2.3-1

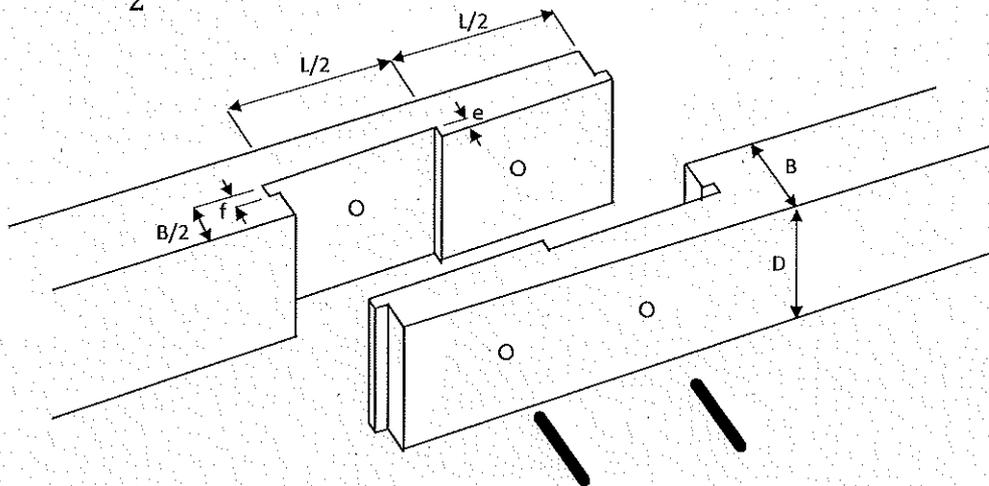


図 2.3-1 追掛大栓継ぎ

② 目違いの開きによる割裂で破壊する場合

$$P_2 = \frac{2 \cdot F_s \cdot L \cdot A_e}{3 \left(\frac{e}{2} + \frac{B}{4} \right)}$$

式 2.3-2

ここで A_e は有効断面積で、

$$A_e = \frac{\left(\frac{1}{2} B - f \right)^2}{B} \cdot D$$

(2) 金輪継ぎの耐力

図 2.3-2 に示す金輪継ぎの耐力は、顎から先の鎌部分のせん断破壊、目違いの開きによる割裂破壊、角栓の全面横圧縮の降伏耐力のいずれかで耐力が決定すると予想される。

① 顎から先の鎌部分のせん断で破壊する場合

$$P_1 = \frac{1}{2} F_s \cdot L \cdot D$$

式 2.3-3

② 目違いの開きによる割裂破壊で破壊する場合

$$P_2 = \frac{2 \cdot F_s \cdot L \cdot A_e}{3 \left(\frac{e}{2} + \frac{B}{4} \right)}$$

式 2.3-4

ここで A_e は有効断面積で、次の式で求められる。

$$A_e = \frac{\left(\frac{1}{2} B - f \right)^2}{B} \cdot D$$

式 2.3-5

③ 角栓の全面横圧縮の降伏耐力

$$P_3 = F_{\text{栓}} \cdot e \cdot D \quad \text{式 2.3-6}$$

ここで $F_{\text{栓}}$ は次の式で求められる。

$$F_{\text{栓}} = \frac{2.4}{3} F_s$$

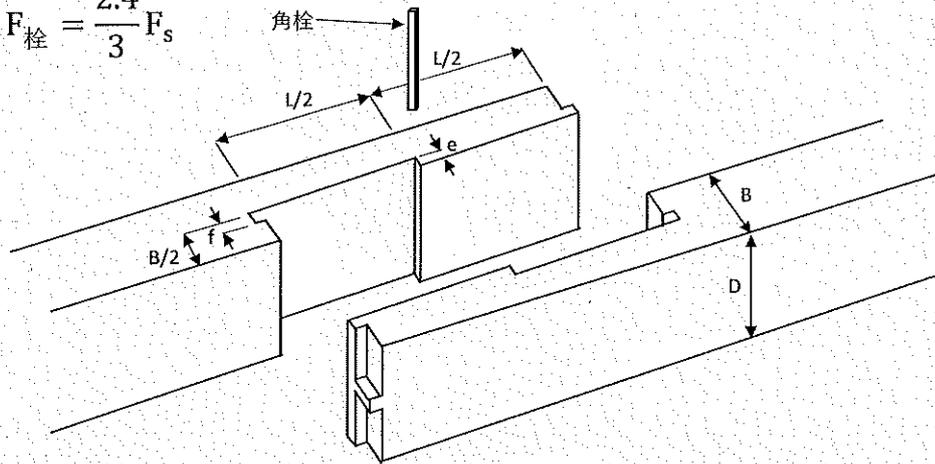


図 2.3-2 金輪継ぎ

追掛大栓継ぎや金輪継ぎのような日本の伝統的な継ぎ手は、各寸法の比率が概ね定められて引き継がれている。

$$L=2H \sim 3H$$

$$H \geq W$$

$e=15\text{mm}$ ないし、 $L/15 \sim L/20$

f は 15mm 程度

込み栓は、カシ、ナラ、ケヤキ等の広葉樹の堅木を用い、直径は材幅 (B) の $1/8 \sim 1/6$ 、もしくは満天星面積の角栓とし、梁背 (D) が 300mm を超える場合には、2 段に込み栓を配置する。

(3) 合掌尻の接合

図 2.3-3 に示す、トラス合掌尻の荷重 P に対する接合部の耐力は、式 2.3-7 で検討する。

$$P_R = b \cdot d \cdot F_{\theta} \quad \text{式 2.3-7}$$

F_{θ} : 陸梁の支圧強度

$$F_{\theta} = \frac{F_0 \cdot F_{90}}{F_0 \cdot \sin^2 \theta + F_{90} \cdot \cos^2 \theta}$$

(ただし登梁の基準圧縮強度の方が小さい場合には、登梁の基準圧縮強度に置き換える)

F_0 : 陸梁の基準圧縮強度

F_{90} : 陸梁の基準めりこみ強度

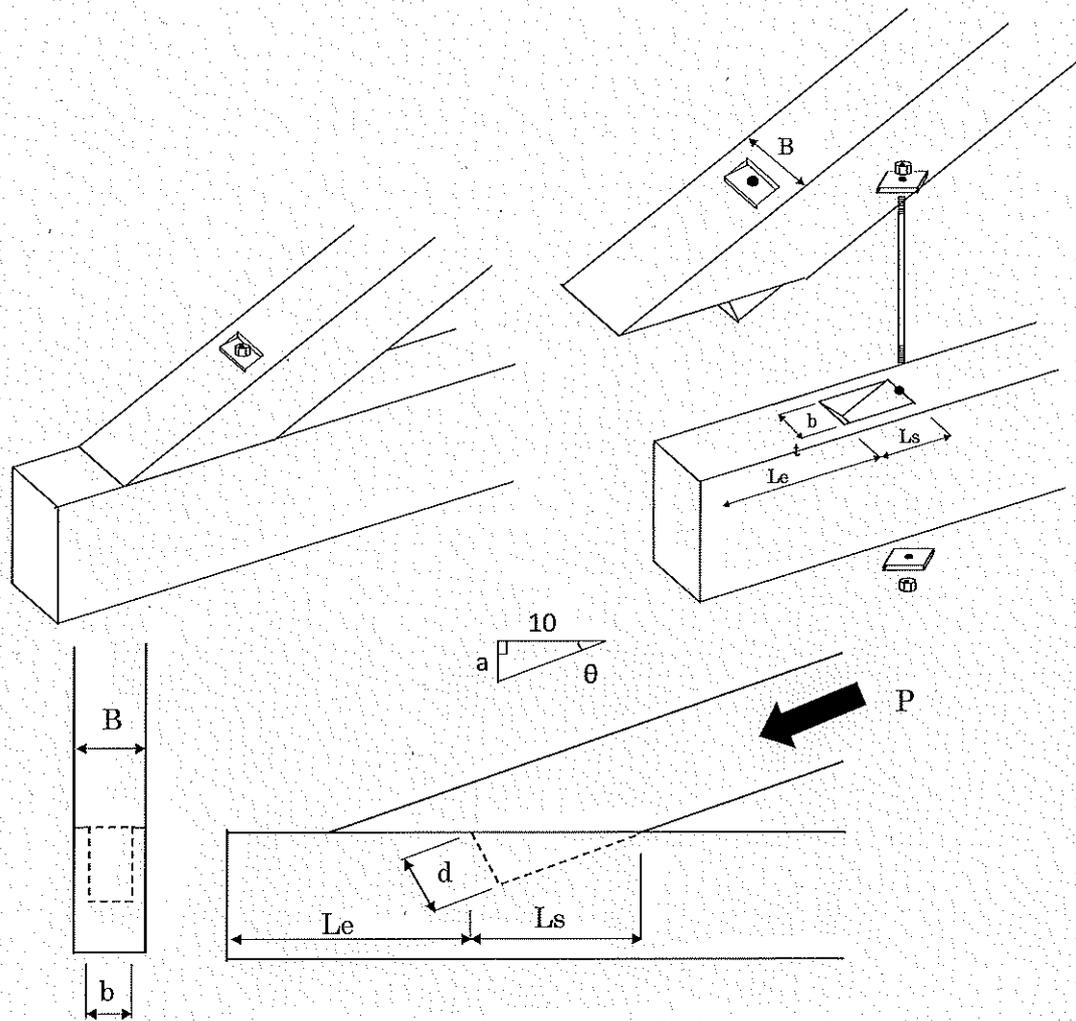


図 2.3-3 トラスの合掌尻の接合方法 (その 1)

図 2.3-4 に示す、トラス合掌尻の荷重 P に対する接合部の耐力は、式 2.3-8 で算出する。

$$P_R = \frac{b \cdot d \cdot F_\theta}{\cos\theta} \quad \text{式 2.3-8}$$

F_θ : 登梁の支圧強度

$$F_\theta = \frac{F_0 \cdot F_{90}}{F_0 \cdot \sin^2\theta + F_{90} \cdot \cos^2\theta}$$

(ただし、陸梁の基準圧縮強度の方が小さい場合には、陸梁の基準圧縮強度に置き換える)

F_0 : 登梁の基準圧縮強度

F_{90} : 登梁の基準めりこみ強度

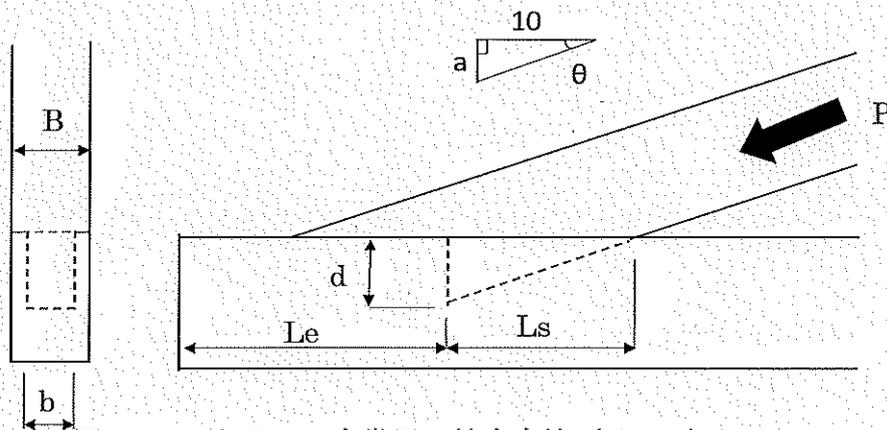
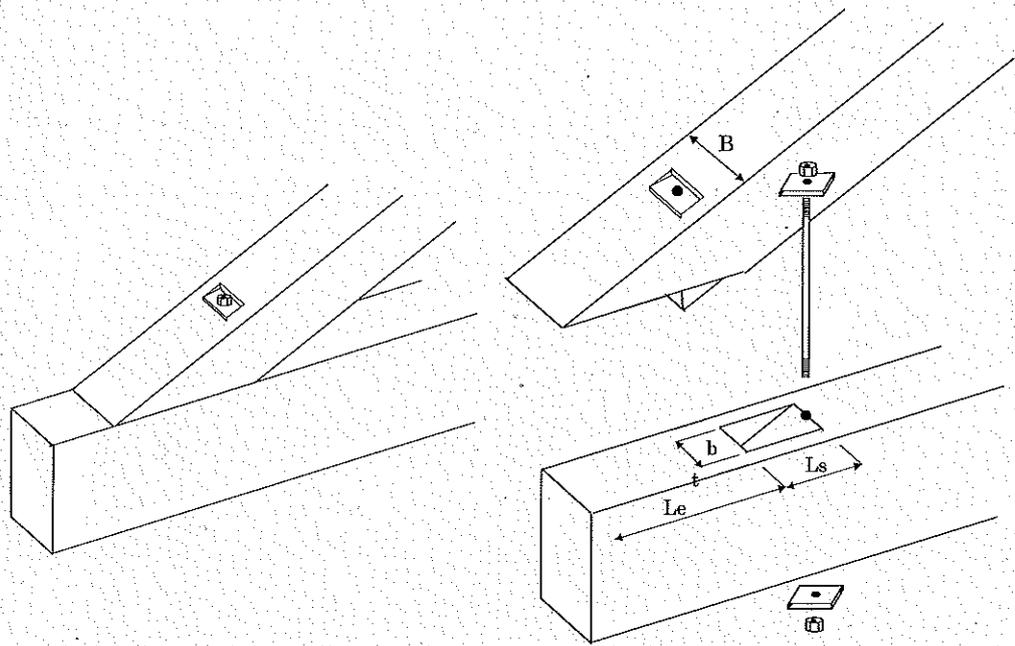


図 2.3-4 トラスの合掌尻の接合方法 (その 2)

この接合方式の場合、図 2.3-5 に示す分力 $P \sin \theta$ は陸梁上面と登梁の接触部分で力の伝達がされることを想定し、式 2.3-9 で検討する。

$$P \sin \theta \leq (B - b) \cdot L_s \cdot f_{90} \quad \text{式 2.3-9}$$

f_{90} : 陸梁の許容めり込み強度

図 2.3-5 合掌尻にかかる荷重

トラスの合掌尻の接合強度を維持するためには図 2.3-6 のような状況が端抜け破壊が生じないように式 2.3-10 を満たすよう L_e の寸法を十分確保することが必要である。内部割れが生じた場合には、 L_e の寸法が確保できていても、必要な強度を確保できないため、適切な乾燥スケジュールで品質管理された木材を利用することが不可欠である。

$$P \cdot \cos \theta \leq (b + 2 \cdot h) \cdot L_e \cdot f_s \quad \text{式 2.3-10}$$

h : 図 2.3-3 の場合、 $d \cdot \cos \theta$ (mm)

図 2.3-4 の場合、 d (mm)

f_s : 陸梁の許容せん断強度 (N/mm^2)

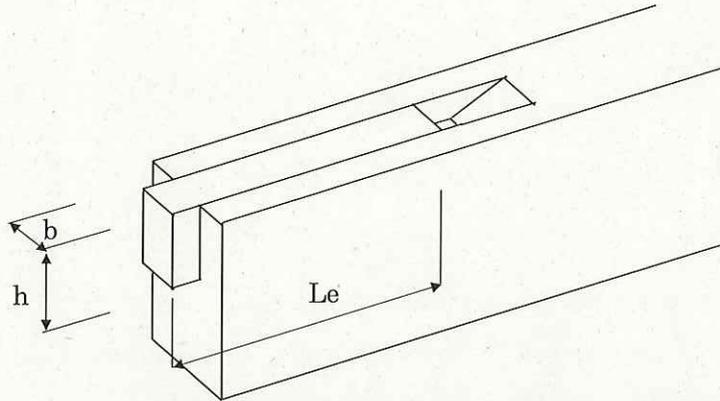


図 2.3-6 陸梁の端抜け破壊

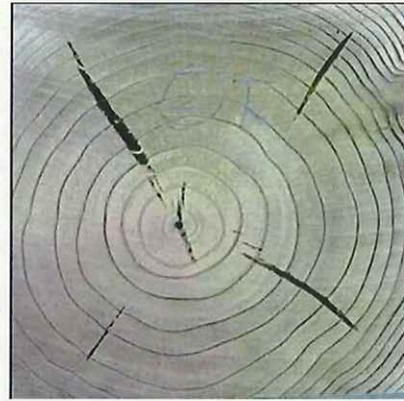


写真 2.3-1 木材の内部割れ



写真 2.3-2 含水率測定
(高周波式水分計を使用)



写真 2.3-3 含水率測定
(マイクロ波式水分計の利用)

尚、この形式の場合、図 2.3-7 のように木材の繊維方向に対し、切り裂く方向に力が作用するため、ボルト等で防止策をとることが求められる。

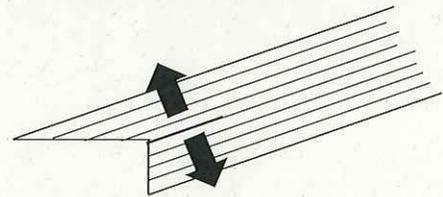


図 2.3-7 合掌材の切り裂き

参考文献：

2.1：

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，pp396，pp399～401，2015

2.2：

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，pp222～pp238，pp239～pp247，pp266～pp278，2015

2.3 (1)、(2)：

稲山正弘：稲山木質構造塾第 3 回目「軸力とモーメントに対する接合部の設計法」，pp40～pp43，2002