

平成 21 年度林野庁補助事業 2×4住宅部材の開発事業

「地域材を使用した木質トラス工法の
普及のための技術整備」
事業成果報告書

平成 23 年 2 月 28 日

全国木材協同組合連合会
三井ホーム株式会社
三井ホームコンポーネント株式会社

平成 22 年度林野庁補助事業 2 × 4 住宅部材の開発事業
事業成果報告書

2011 年 2 月 28 日

三井ホーム株式会社

三井ホームコンポーネント株式会社

目 次

はじめに

・ 事業概要

| | |
|--------------------------------|----|
| 1. 事業内容 | 1 |
| 1.1. 背景と目的 | |
| 1.2. 事業内容 | |
| 1.3. これまでの取り組み | |
| 1.4. 実施体制 | |
| 1.5. 実施スケジュール | |
| 2. メタルプレートコネクタ「コネック」について | 3 |
| 2.1. 「コネック」とは | |
| 2.2. コネックの認定と設計法 | |
| 2.3. トラスの出荷実績 | |
| 3. 試験報告 | 4 |
| 3.1. メタルプレートコネクタ接合部試験 | 4 |
| 3.1.1. 試験概要 | |
| 3.1.2. 試験計画と試験体 | |
| 3.1.3. 材料物性値 | |
| 3.1.4. 試験結果 | |
| 3.1.5. 写真 | |
| 3.1.6. 考察とまとめ | |
| 3.2. 屋根トラス実大加力試験 | 15 |
| 3.2.1. 試験概要 | |
| 3.2.2. 実験計画と試験体 | |
| 3.2.3. 試験結果 | |
| 3.2.4. 考察 | |
| 3.3. 平行弦トラス床歩行振動測定試験 | 20 |
| 3.3.1. 試験概要 | |
| 3.3.2. 試験計画と試験体 | |
| 3.3.3. 試験結果 | |
| 3.3.4. まとめ | |
| 4. トラス設計システムの地域材対応について | 25 |
| 4.1. 改良項目 | |
| 4.2. 重ね梁の理論 | |
| 5. 今後の課題 | 29 |
| 6. まとめと提言 | 29 |
| 別添資料 | 30 |

はじめに

・事業概要

1. 事業名 地域材を使用した木質トラス工法の普及のための技術整備

2. 事業主 三井ホーム株式会社、三井ホームコンポーネント株式会社

3. 背景

枠組壁工法住宅に使用する構造用枠組材の多くは JAS 枠組壁工法構造用製材であり、ほぼ 100% 輸入材に依存している。近年、社会福祉施設や公共建築等の大規模建築物における地域材を利用した木造建築需要が高まっており、これらの建築物の大架構を可能とするトラス工法の需要が大きくなっている。

しかし木質トラス工法においては、メタルプレートコネクター等の接合具による地域材接合強度の知見が乏しく、地域材の管理方法、トラス設計システムが整備されていないのが現状である。そこで、本開発事業において、地域材を使用した木質トラス工法普及のための技術整備の検討を行った。

4. 内容

1) 地域材のメタルプレートコネクター接合強度評価

地域材のメタルプレート接合部の評価試験を行い、設計基準を整備するとともに、地域材の管理基準の設定を行う。

2) 地域材を使用したトラスの性能検証

地域材のメタルプレート接合部評価値を、構築した設計システムに導入する事により得られた地域材仕様木質トラスについて、実大性能を検証する。

3) 地域材を使用した木質トラス設計システムの構築

地域材を使用した木質トラスの設計システムを構築し、既存ソフトウェアを改良して地域材の使用に対応させる。

5. 事業成果

- ・無等級スギ材のメタルプレート接合強度
- ・ヤング率、密度と接合部強度との相関知見
- ・スギ材を利用した屋根トラスの構造性能評価
- ・北海道産トドマツを使用した床トラスの居住性評価
- ・地域材に対応可能なトラス設計システム整備

6. 課題

今後の事業推進に当り解決すべき以下の課題が流通面，材料選別面で顕在化したので提言を行なう。

1) 現状国産地域材の JAS 枠組壁工法構造用製材の流通が著しく少ない。

無等級地域材の活用、枠組壁工法構造用製材の製材工場、又は格付けまでの一貫認定工場増設

2) 地域材の標準材長が短い たて継ぎ材の開発・普及

3) 地域材材料性能の知見が乏しく、物性値の標準偏差が大きい

無等級材でも製造側が提供する材料強度試験等の成績書添付で、設計者便宜を図る
(告示緩和前提)

地域材活用に相応しいエンジニアリングされた材料選定が必要

1. 事業内容

1.1. 背景と目的

住宅の着工戸数は減少傾向にあるが、近年では社会福祉施設等の大規模建築や公共建築における木造建築の需要が高まっており、これらの大規模建築物においては大架構が可能となるトラス工法の需要が大きい。現在枠組壁工法住宅にて使用する枠組材の多くは JAS の枠組壁工法構造用製材であり、ほぼ 100% 輸入材に依存しており、トラス材においても同様である。この木質トラス工法においては、メタルプレートコネクター等の接合具による地域材接合強度の知見が乏しく、地域材の管理方法、トラス設計システムが整備されていないのが現状である。

そこで、本開発事業において、地域材を使用した木質トラス工法普及のための技術整備の検討を行った。特に地域材の中でも大きなボリュームを持つ無等級スギ材の接合強度を明らかにし、技術基準を整備することで利用の可能性を模索する。

また、木質トラスにより住宅に留まらず公共建築や畜舎等の木造建築のシェアを拡大することで更なる地域材の活用を促進し、幅広い建築産業の振興と木材市場の活性化を目的とする。

1.2. 事業内容

1) 地域材のメタルプレートコネクター接合強度評価

地域材のメタルプレート接合部の評価試験を行い、設計基準を整備するとともに、地域材の管理基準の設定を行う。

2) 地域材を使用したトラスの性能検証

地域材を使用した屋根トラスについて、実大性能を検証する。

地域材を使用した平行弦トラス床の歩行振動について検証する。

3) 地域材を使用した木質トラス設計システムの構築

地域材を使用した木質トラスの設計システムを構築し、既存ソフトウェアを改良して地域材の使用に対応させる。

1.3. これまでの取り組み

三井ホーム株式会社のこれまでの地域材利用への取り組み

1) 地域材強度試験（平成 5 年）

徳島県産杉フィンガージョイント曲げ試験

2) 熊本モデルハウス（平成 5～6 年）

モデルハウス（熊日・北熊本）2 棟の土台に宮崎県産杉を使用
経時変化を測定

3) いわきモデルハウス（平成 6 年）

福島産杉材をスタッドに、カラマツを土台に使用

4) 森林組合事務所・宮崎モデルハウス（平成 7 年）

県の委託事業に参加 宮崎県日之影町森林組合事務所棟のスタッド、トラス、集成材に使用

モデルハウスのスタッド（800 本）に杉材を使用

5)北海道産ランバー（平成 10～13 年）

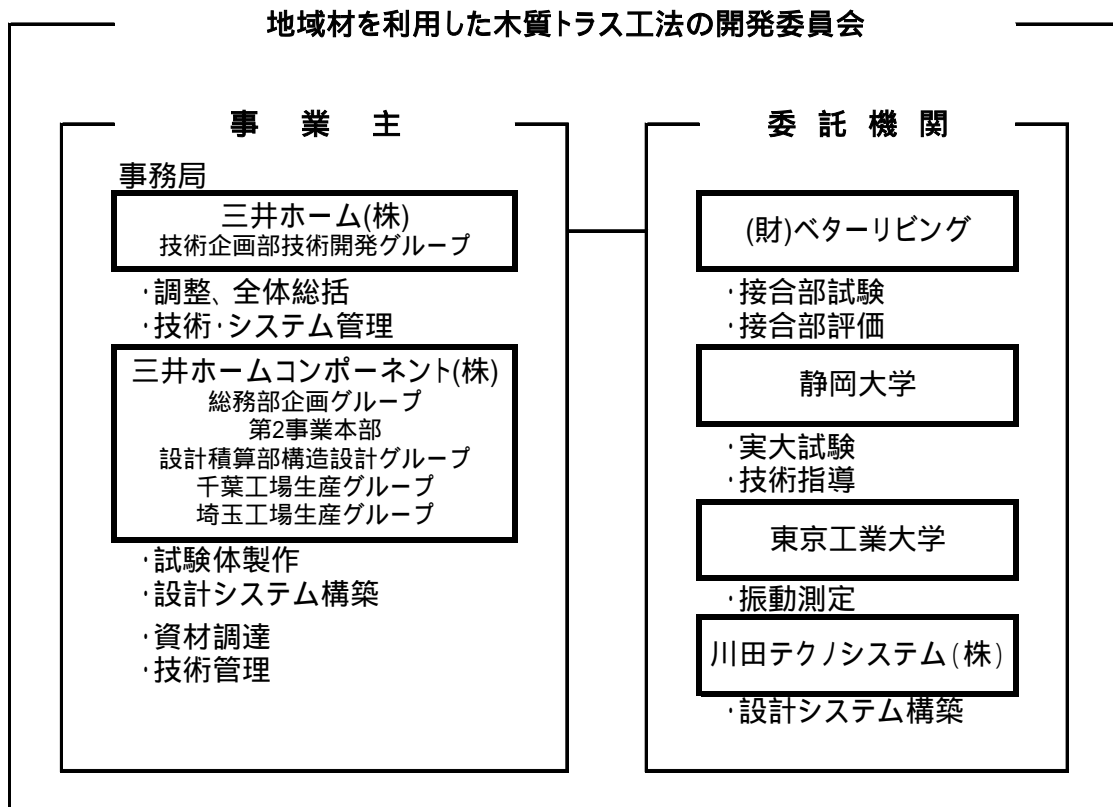
帯広のトドマツを一般住宅のスタッドに使用

6)北海道、長野、四国、鹿児島産材の集成材（平成 21 年）

北海道、長野、四国、鹿児島産材の集成材の集成材の一面せん断試験、圧縮試験

1.4.実施体制

事業実施体制を第 1.1 図に示す。



第 1.1 図 事業実施体制

1.5.実施スケジュール

事業実施スケジュールを第 1.2 図に示す。

| 項目 | 内容 | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|---|---|---|----|----|----|---|---|
| | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 |
| 試験準備 | 試験体検討・製作 | | | ■ | | | | | |
| メタルプレート接合部の性能評価 | 性能評価試験 | | | | | | ■ | | |
| トラスの性能検証 | 屋根トラス実大加力試験 | | | | | | | | ■ |
| | 床トラス歩行振動測定試験 | | | | | | | | ■ |
| 設計システムの構築 | 設計システムの地域材対応 | | | | | | ■ | | |
| 報告書作成 | 報告書作成 | | | | | | | | ■ |

第 1.2 図 事業スケジュール

2.メタルプレートコネクター「コネック」について

2.1.「コネック」とは

「コネック」(写真 2.1)とは、三井ホーム株式会社のオリジナル商品であり、メタルプレートコネクターと呼ばれるプレート状の木材接合具である。材質にステンレス鋼板を用い、耐久性を高めているところが特徴である。材質及び寸法は以下の通りである。

材質：ステンレス鋼板 (SUS430)

厚さ：1.0mm

寸法：最小 70mm × 105mm , 最大 224mm × 350mm



写真 2.1 コネック

2.2.コネックの認定と設計法

コネックは昭和 60 年 (1985) に旧建築基準法第 38 条大臣認定を取得し、第 38 条認定の廃止の後、日本建築センターによる施工規則第 1 条の 3 第 1 項に関する大臣認定、いわゆる図書省略認定を平成 15 年 (2003) 取得。その後、図書省略認定が廃止になって以降は、原則構造計算書を作成し確認申請に添付して対応している。

2.3.トラスの出荷実績

平成 21 年度のコネックトラスの出荷実績は、三井ホーム(株)の住宅用屋根トラスを中心に、約 12,000 本を出荷している。住宅用以外にも公共建築や畜舎用等多様な形式のトラス(写真 2.2)でも実績がある。



写真 2.2 コネックトラス実例

3. 試験報告

本事業において、地域材のメタルプレート接合部の性能評価試験を実施した。また地域材を使用した実大トラスの性能検証を行うため、屋根トラスの実大加力試験及び平行弦トラス床の歩行振動測定試験を実施した。以下に試験報告を行う。

3.1. メタルプレートコネクター接合部試験

詳細については、別添 1、別添 2「試験報告書」を参照。

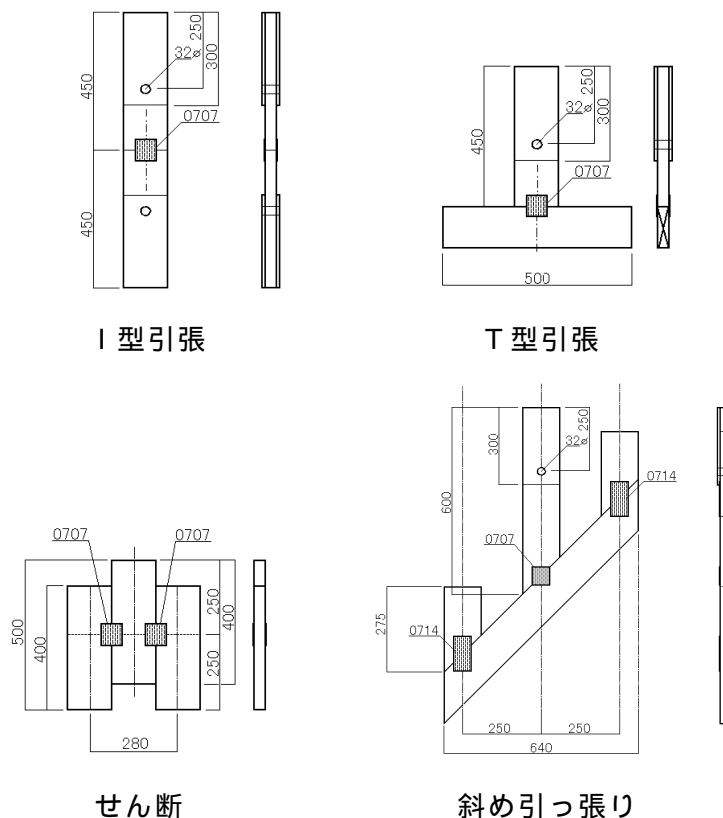
3.1.1. 試験概要

1) 試験機関：ベターリビング

2) 試験目的：国産無等級スギ材のメタルプレート接合部強度を明らかにする。また、スギ材の密度、曲げヤング率と接合部強度との相関を調べ、スギ材利用のための基礎データ収集を目的とする。コントロールとして、SPF の試験を行う。

3.1.2. 試験計画と試験体

- 1) 試験種類 : I 型(繊維方向)引張、T 型(繊維直行方向)引張、せん断、斜め引張
- 2) 試験体材料 : 神奈川県産スギ材 無等級(密度、曲げヤング測定)
カナダ産 SPF(スプルース) NLGA No.2(密度、曲げヤング測定)
- 3) プレートサイズ : 70mm × 70mm, 70mm × 140mm, 140mm × 140mm
- 4) プレートと繊維方向のなす角度 : 0 度, 22 度, 45 度, 67 度, 90 度



第 3.1.1 図 試験体図

試験体仕様と試験体数を第 3.1.1 表に示す。

第 3.1.1 表 試験体仕様・試験体数

| 樹種 | 力の種類 | 試験体形状 | プレート寸法 | 加力方向の角度 | 試験体数 | | | | |
|-----|--------|---------|---------|---------|------|----|-------|---|---|
| スギ | 引張 | I型 | 70×70 | 0 | 6 | | | | |
| | | | | 22.5 | 3 | | | | |
| | | | | 45 | 6 | | | | |
| | | | | 67.5 | 3 | | | | |
| | | | | 90 | 6 | | | | |
| | | | | 0 | 6 | | | | |
| | | 70×140 | 45 | 6 | | | | | |
| | | | 90 | 6 | | | | | |
| | | | 0 | 6 | | | | | |
| | | | 90 | 6 | | | | | |
| | | | 140×140 | 0 | 6 | | | | |
| | | | | 90 | 6 | | | | |
| | | T型 | | 70×70 | 0 | 6 | | | |
| | | | | | 22.5 | 3 | | | |
| | | | | | 45 | 6 | | | |
| | | | | | 67.5 | 3 | | | |
| | | | 90 | | 6 | | | | |
| | | | 0 | | 6 | | | | |
| | 70×140 | 45 | 6 | | | | | | |
| | | 90 | 6 | | | | | | |
| | | 140×140 | 0 | 6 | | | | | |
| | | | 90 | 6 | | | | | |
| | | | M型 | 70×70 | 0 | 6 | | | |
| | | | | 70×140 | 0 | 6 | | | |
| せん断 | 山形 | | 70×70 | 0 | 6 | | | | |
| | | | | 22.5 | 3 | | | | |
| | | 45 | | 6 | | | | | |
| | | 67.5 | | 3 | | | | | |
| | | 90 | | 6 | | | | | |
| | | 0 | | 6 | | | | | |
| | | 70×140 | 45 | 6 | | | | | |
| | | | 90 | 6 | | | | | |
| | | | 140×140 | 0 | 6 | | | | |
| | | | | 90 | 6 | | | | |
| | | | | SPF | 引張 | I型 | 70×70 | 0 | 3 |
| | | | | | | | 45 | 3 | |
| 90 | 3 | | | | | | | | |
| T型 | 70×70 | 0 | | | | 3 | | | |
| | | 45 | 3 | | | | | | |
| | | 90 | 3 | | | | | | |
| M型 | 70×70 | 0 | 3 | | | | | | |
| せん断 | 山形 | 70×70 | 0 | 3 | | | | | |
| | | | 45 | 3 | | | | | |
| | | | 90 | 3 | | | | | |

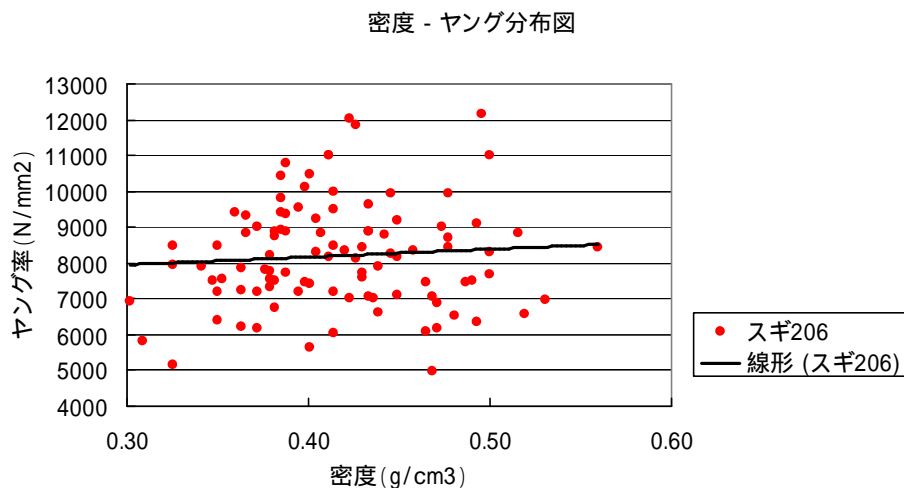
単位:mm

単位: °

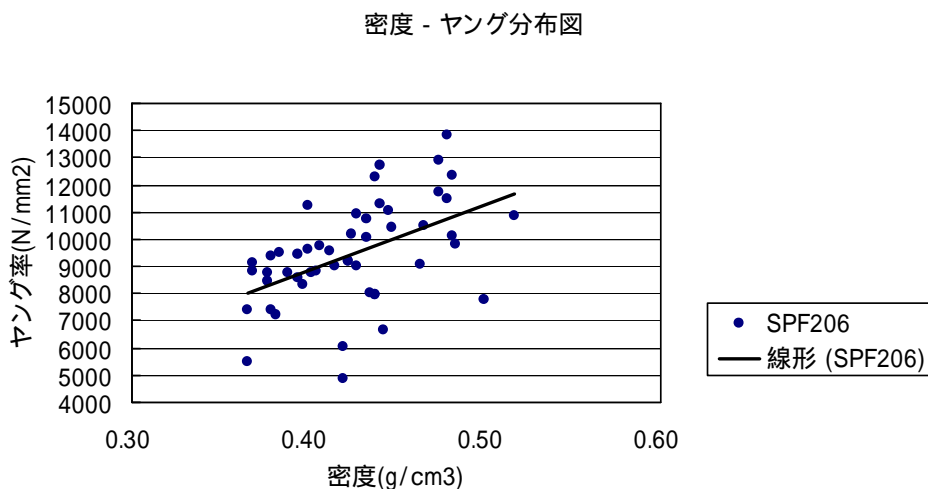
計 204 体

3.1.3. 材料物性値

スギ材は長さ 3000mm、断面 206(38mm×140mm)のディメンションランバー100本を準備し、密度の測定と打撃音法によりヤング率の測定を行った。コントロール試験用として、断面 206 の SPF 材 50 本について同様の測定を行った。分布グラフを第 3.1.2 図、第 3.1.3 図に示す。平均密度、平均ヤング率を第 3.1.2 表に示す。



第 3.1.2 図 スギ材密度-ヤング率分布図



第 3.1.3 図 SPF.材密度-ヤング率分布図

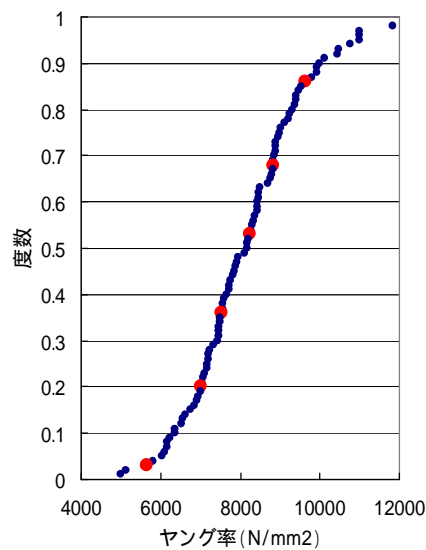
第 3.1.2 表 平均密度・平均ヤング率

| 樹種 | | 密度 | ヤング率 |
|------------------|------|-------|------|
| スギ 無等級 | 平均 | 0.42 | 8206 |
| | 標準偏差 | 0.052 | 1468 |
| SPF NLGA No.2 | 平均 | 0.43 | 9447 |
| | 標準偏差 | 0.039 | 1866 |

SPF 材はヤング率の低い材が見られるものの、全体として密度とヤング率で正の相関が見られた。それに対し、スギ材は密度とヤング率に相関は見られない。

SPF 材は目視によるグレーディングが行われた材であるのに対し、スギ材は無等級材であり、目視選別による格付けを行った場合、節が多くて密度が高いがヤング率が低いような材が排除され、SPF 材と同様の相関が見られる可能性がある。

試験体の材料選定は、特にヤング率と接合部強度の関係を明らかにするために、ヤング率の低いものから高いものまでを均等に抜き取った。スギ I 型引張試験のプレート面積 70mm × 70mm、プレート角度 0 度、45 度、90 度の試験体を例として、材料のヤング率累積度数分布と試験体選定材料を第 3.1.4 図に示す。



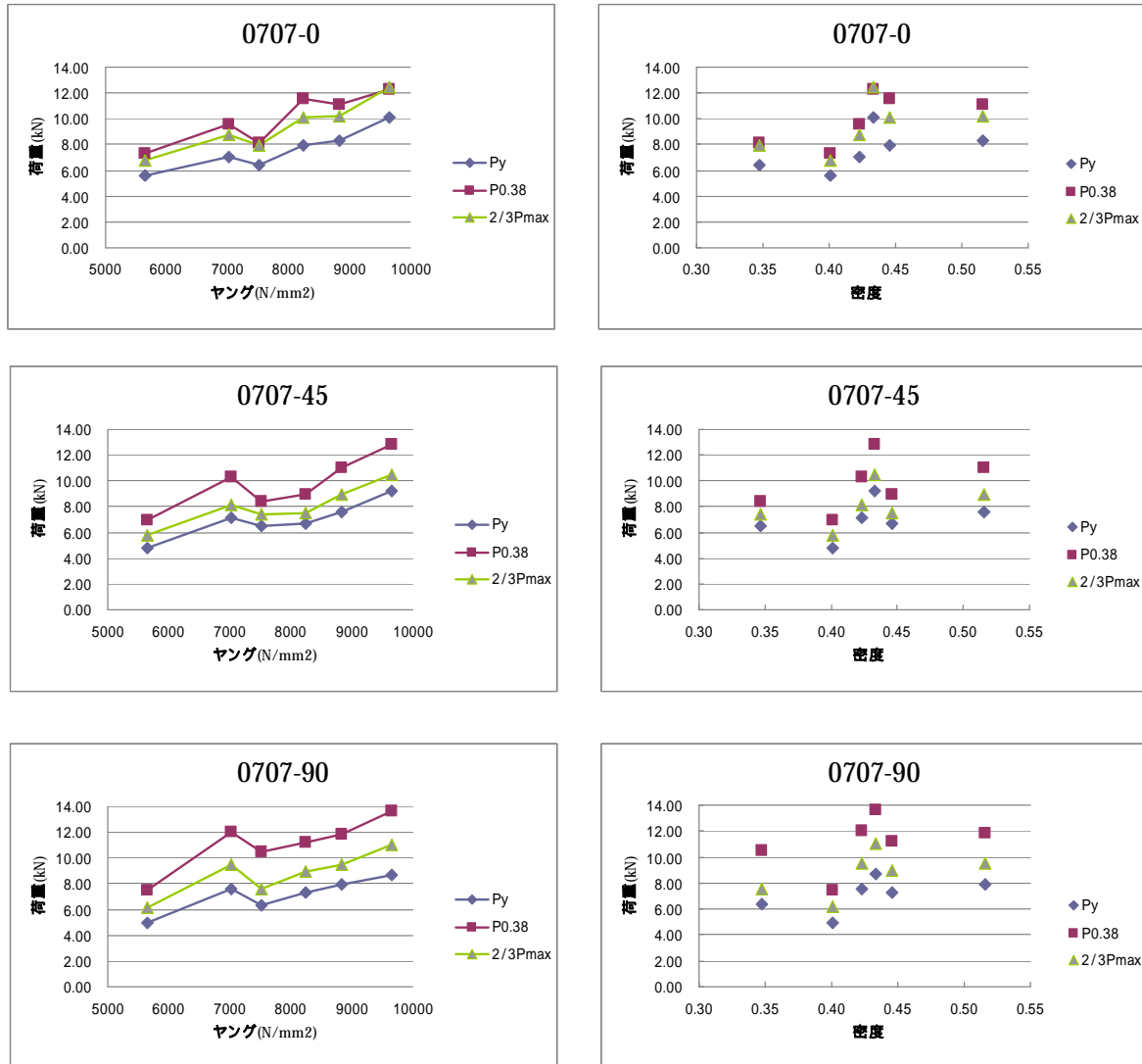
第 3.1.4 図 ヤング率累積度数分布

3.1.4. 試験結果

1) スギ 型引張試験 70mm × 70mm 試験結果 - 密度、ヤング率との相関

材料ヤング率と試験荷重、材料密度と試験荷重の関係を第 3.1.5 図に示す。

材料のヤング率と試験荷重には明確に正の相関が見られるが、密度との相関は低い。

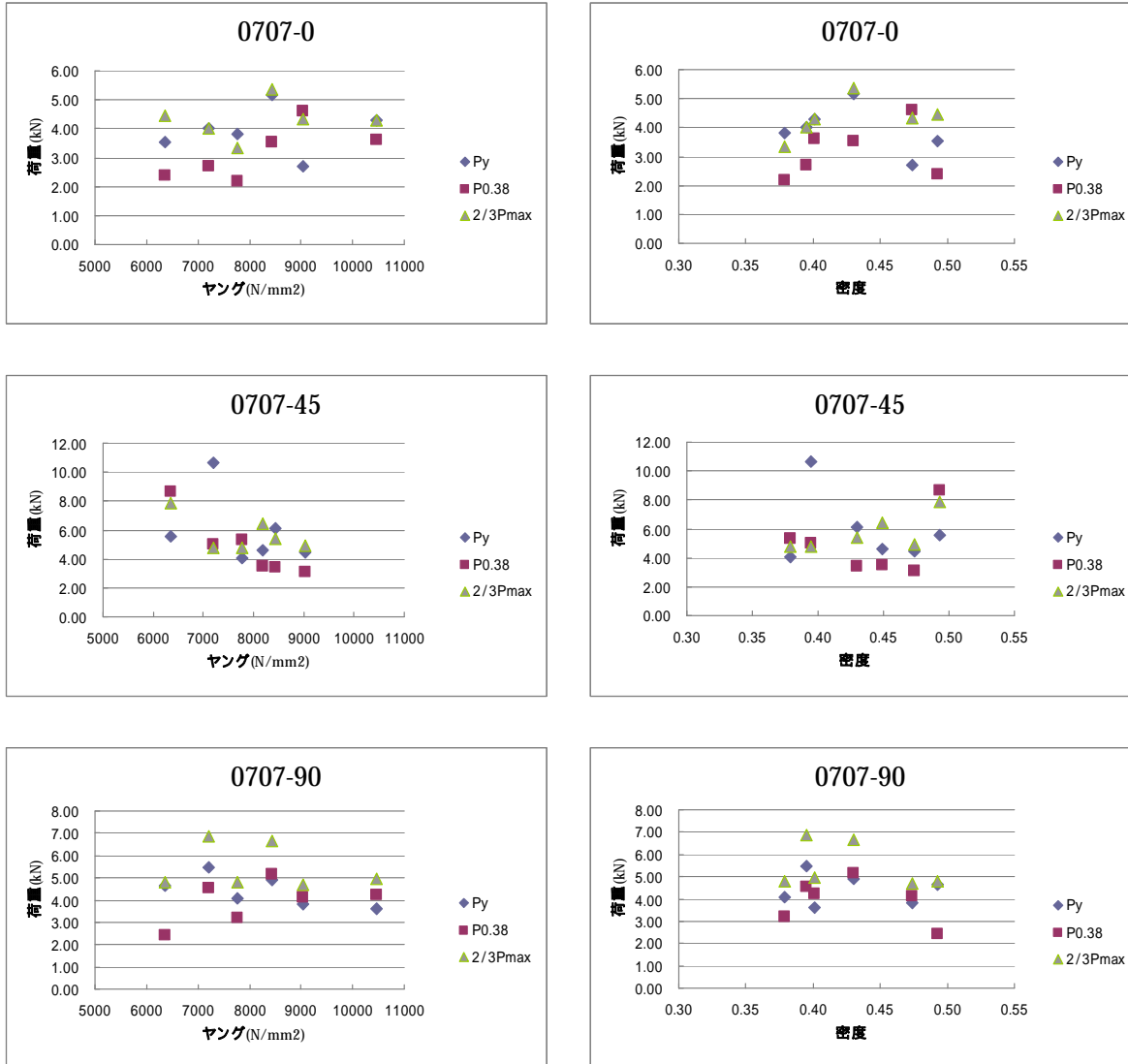


第 3.1.5 図 スギ 型引張試験 70mm × 70mm 試験結果

2)スギT型引張試験 70mm×70mm 試験結果 - 密度、ヤング率との相関

材料ヤング率と試験荷重、材料密度と試験荷重の関係を第 3.1.6 図に示す。

材料のヤング率、密度共に試験荷重との相関が見られない。

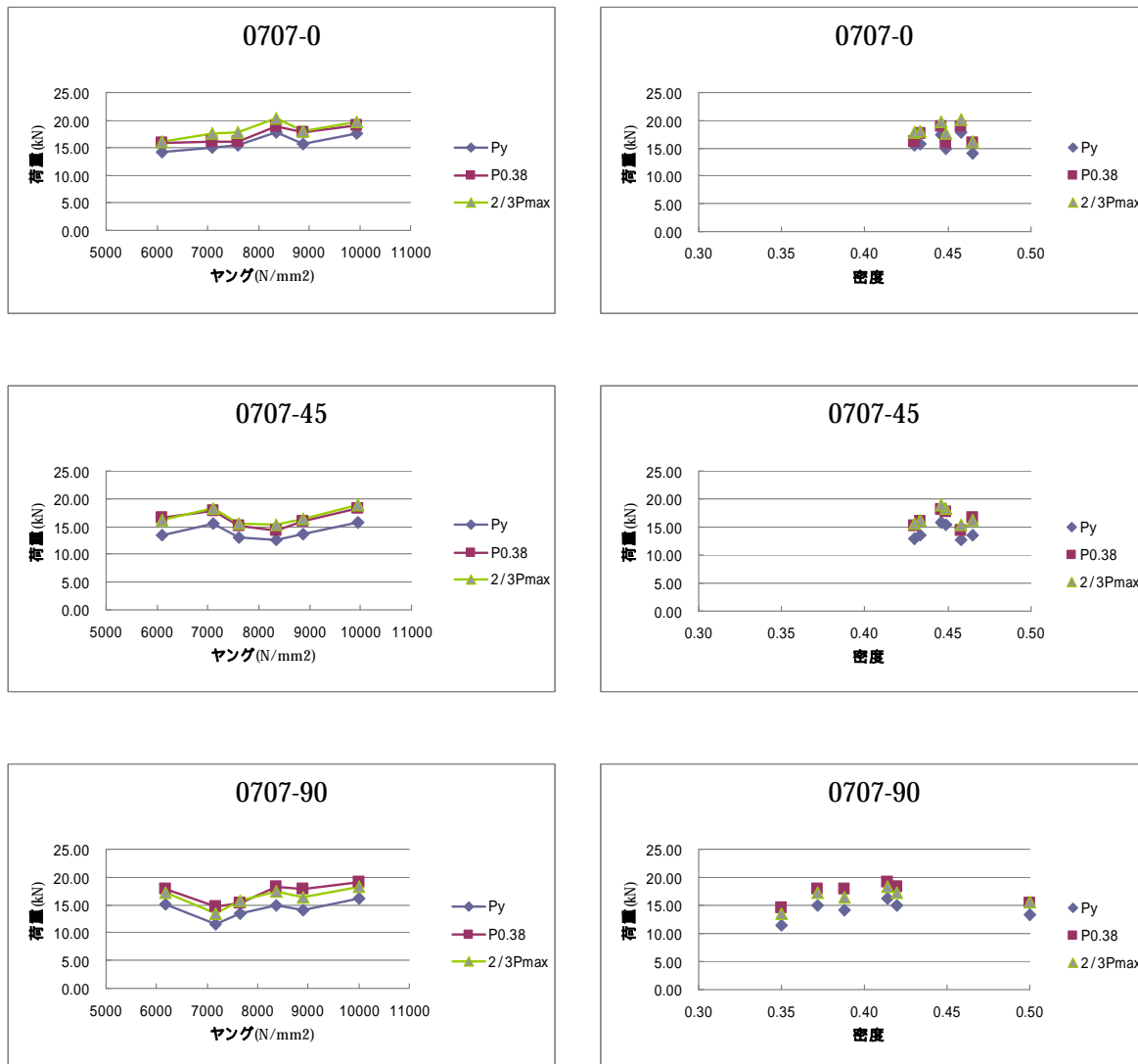


第 3.1.6 図 スギT型引張試験 70mm×70mm 試験結果

3) スギせん断試験 70mm × 70mm 試験結果 - 密度、ヤング率との相関

材料ヤング率と試験荷重、材料密度と試験荷重の関係を第 3.1.7 図に示す。

材料のヤング率と試験荷重には明確に正の相関が見られるが、密度との相関は低い。

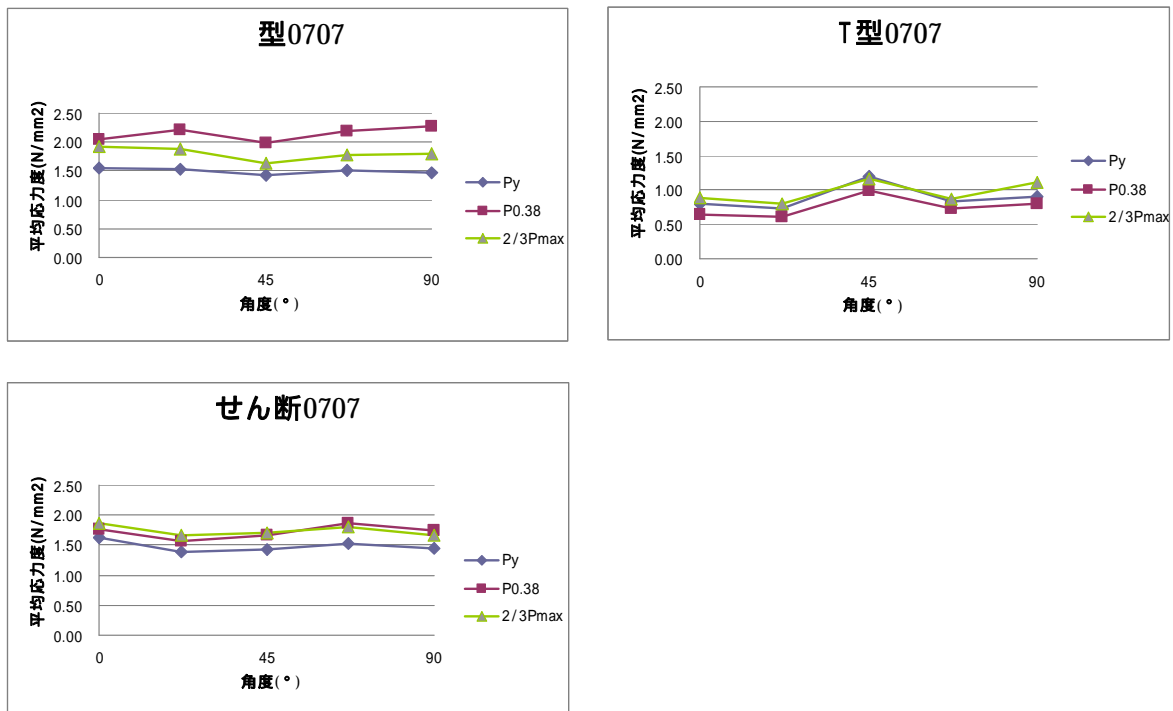


第 3.1.7 図 スギせん断試験 70mm × 70mm 試験結果

4) プレート角度と接合強度との相関

スギのプレートサイズ 70mm×70mm の試験体について、プレート角度と接合強度(プレートの単位面積当たりの試験荷重)との関係を第 3.8 図に示す。試験荷重は 0 度、45 度、90 度については 6 体の平均値、22.5 度、67.5 度については 3 体の平均値を用いた。

いずれの試験においても、プレートの角度による優位差は見られない。

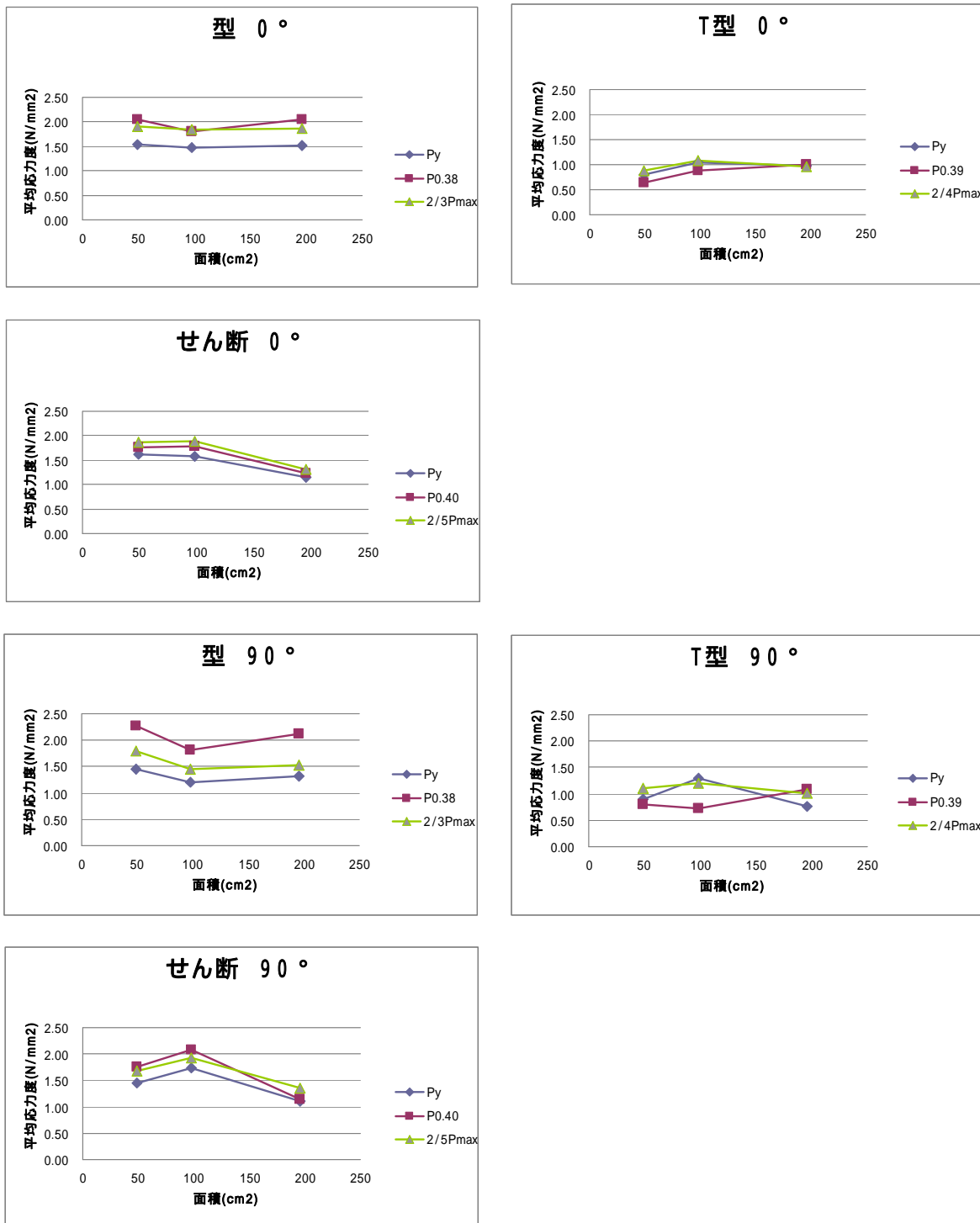


第 3.1.8 図 プレート角度と接合強度との相関

5) プレートサイズと接合強度との相関

スギのプレート角度0度の試験体について、プレートサイズと接合強度（プレートの単位面積当たりの試験荷重）との関係を第3.1.9図に示す。試験荷重は6体の平均値を用いた。

引張試験においては明確な優位差は見られないが、せん断試験では面積が最も大きい140mm×140mmのプレートの強度が低い。



第3.1.9図 プレート面積と接合強度との相関

3.1.5. 写真

試験時の様子を写真 3.1.1 に、破壊性状を写真 3.1.2 に示す。

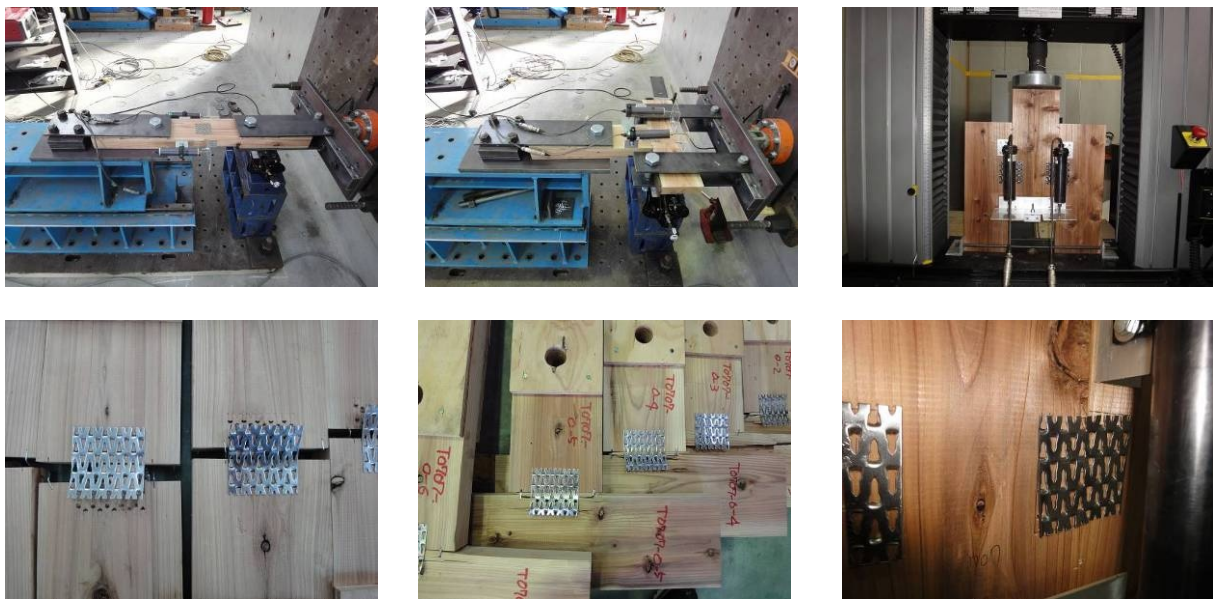


写真 3.1.1 試験の様子



プレートの剥がれ



木材破壊



木材の割裂



プレートの破断

写真 3.1.2 破壊性状

3.1.6. 考察とまとめ

旧 38 条認定時は試験荷重の平均値より基準強度を算出していたが、現在の日本建築学会の木質構造設計基準によると、試験荷重の 5% 下限値より基準強度を算出することになっている。試験荷重の標準偏差が大きいと、基準強度が大きく下がる。今回の試験では特に T 型引張試験で標準偏差が大きいため、建築学会指針の評価法による基準強度がマイナスとなる場合も現れた。これは、T 型引張試験の破壊性状が木材の割裂であることに起因すると考えられる。

ヤング率と接合強度の関係は、I 型引張試験では見られるが、T 型引張試験、せん断試験では明確な関係は見られない。せん断試験ではヤング率、密度に関わらず安定した値となっており、これは接合強度性能がメタルプレートの変形、座屈により接合耐力が決定される影響が大きいためと考えられる。

密度については、いずれの試験においても明確な相関は見られなかった。

プレート角度による有為差は見られなかった。

プレート面積による有為差は基本的にはみられないが、プレート破壊による接合耐力の上限に留意が必要である。

I 型引張試験においては、70mm × 140mm の 90 度と 140mm × 140mm の 90 度試験体において、プレートの破断により最大耐力が決定した。この場合、最大耐力は頭打ちとなるが、破壊耐力がほぼ一定となり、5% 下限値は木材破壊となる場合と比較して高くなった。

また、せん断試験についてはせん断面のプレート長さに留意する必要がある。プレート面積に対しせん断面の長さが短い 140mm × 140mm サイズのメタルプレートは、せん断面での座屈により最大耐力が決まり、プレートの単位面積当たりの接合強度が低下した。

3.2. 屋根トラス実大加力試験

詳細については、別添 3「試験報告書」を参照。

3.2.1. 試験概要

- 1) 試験機関：静岡大学
- 2) 試験目的：地域材スギ材を用いた実大のトラス設計を行いその性能を確認する。合わせて地域材特有のタマ切寸法材利用により接合点が増加した場合の影響を確認する。また、実運用を踏まえて比較的入手し易い在来工法用の JAS 断面（45mm×105mm）での試験を行い、従来のディメンションランバートラスとの性能比較することによりその利便性を確認する。コントロールとしては SPF 材の同実大試験を行う。

3.2.2. 実験計画と試験体

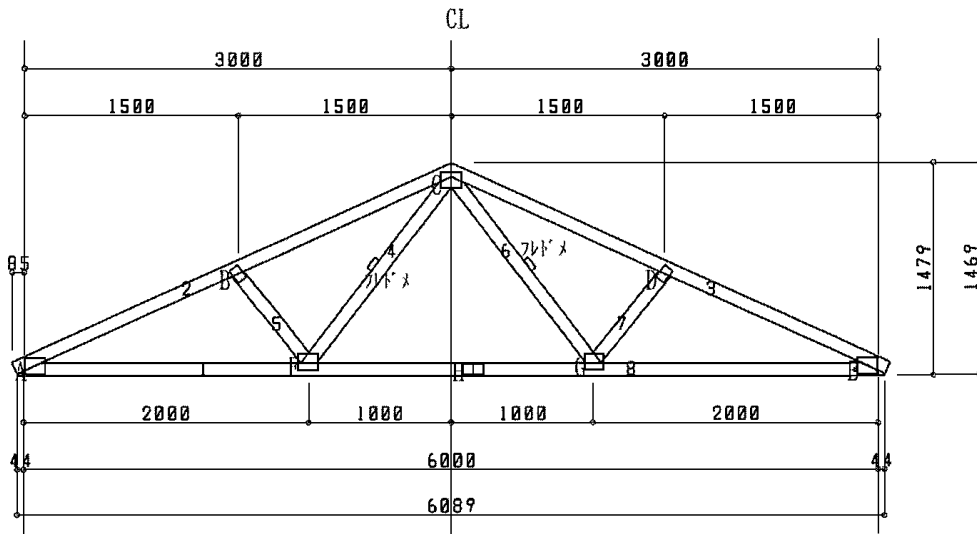
- 1) 試験：4分3荷重による曲げ強度試験
- 2) 試験体種類：試験体の種類を第 3.2.1 表に、験体図を第 3.2.1 図、第 3.2.2 図に示す。
- 3) 試験体材料：試験体材料の密度とヤング率を第 3.2.2 表に示す。
 - 神奈川県産スギ材（38mm×89mm）無等級（密度、曲げヤング測定）
 - 神奈川県産スギ材（45mm×105mm）無等級（密度、曲げヤング測定）
 - カナダ産スプルース（38mm×89mm）NLGA No.2&Btr（密度、曲げヤング測定）
- 4) トラス設計：有限要素法による自社トラス設計システムによる
- 5) 試験装置：試験装置を第 3.2.3 図及び写真 3.2.1 に示す。

試験装置は加力による試験体の挫屈変形を防ぐため、試験体を横置きする形で実験が行なえる装置とした。また加力する方向に 6 箇所のラテラルサポータを配し、試験体とサポータの間には、変位の妨げにならないようにそれぞれコロによる補助具を設けた。各ジャッキのシリンダーのストロークは 200mm とし、繰り返し荷重できるようにした。

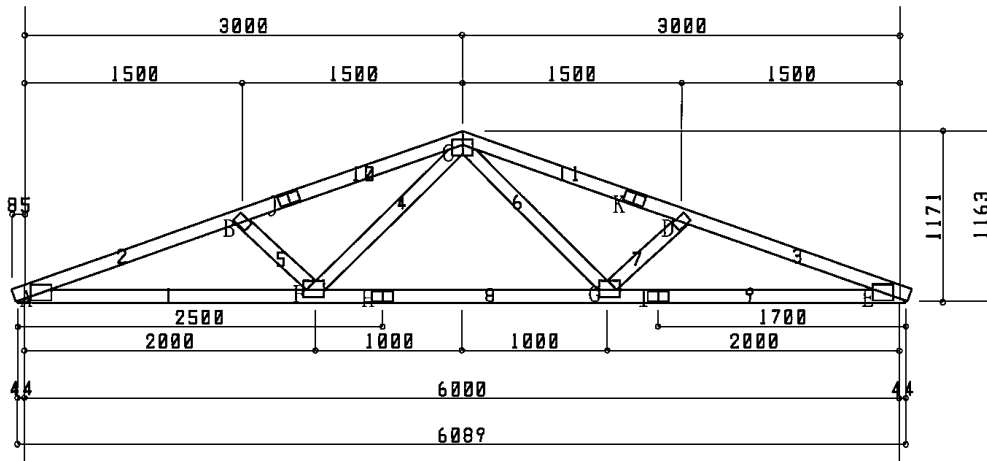
荷重点と試験体の接点は、めり込みの防止金属製の受け治具を取り付けた。変位の測定は電気式の変位計を用い、各荷重点直下と支点のめり込みを測定した。

第 3.2.1 表 試験体

| 試験体 | 形状 | 勾配 | スパン | 樹種 | 部材断面 | 数量 | 継手 |
|--------------|------|-------|-----|-----|--------|----|---------|
| SP30-T60-1~3 | フィンク | 3.0 寸 | 6m | SPF | 38×89 | 3 | 下 1 |
| SP45-T60-1~3 | フィンク | 4.5 寸 | 6m | SPF | 38×89 | 3 | 下 1 |
| SG30-T60-1~3 | フィンク | 3.0 寸 | 6m | スギ | 38×89 | 3 | 上 2/下 2 |
| SG45-T60-1~3 | フィンク | 4.5 寸 | 6m | スギ | 38×89 | 3 | 上 2/下 2 |
| SR30-T60-1~3 | フィンク | 3.0 寸 | 6m | スギ | 45×105 | 3 | 下 1 |
| SR35-T60-1~3 | フィンク | 3.5 寸 | 6m | スギ | 45×105 | 3 | 下 1 |
| SR45-T60-1~3 | フィンク | 4.5 寸 | 6m | スギ | 45×105 | 3 | 下 1 |



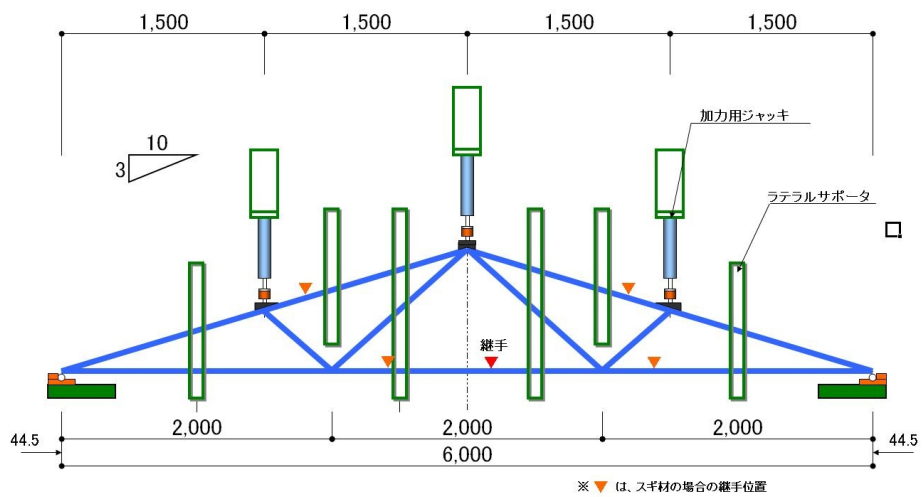
第 3.2.1 図 試験体図 SR45-T60



第 3.2.2 図 試験体図 SG30-T60、SP30-T60

第 3.2.2 表 試験体材料の密度とヤング率の平均値

| 樹種 | | 密度 (g/cm ³) | ヤング率 (N/mm ²) |
|-----------------|------|-------------------------|---------------------------|
| スギ 204 | 測定値 | 0.41 | 7032 |
| | 標準偏差 | 0.04 | 1536 |
| スギ 45mm × 105mm | 測定値 | 0.39 | 8942 |
| | 標準偏差 | 0.04 | 1815 |
| SPF204 | 測定値 | 0.46 | 9490 |
| | 標準偏差 | 0.05 | 1962 |



第 3.2.3 図 試験装置図



ラテラルサポーターの補助具



中央変位計の設置



トラス頂部と加重点



トラス合掌材中央部と加重点

写真 3.2.1 試験装置

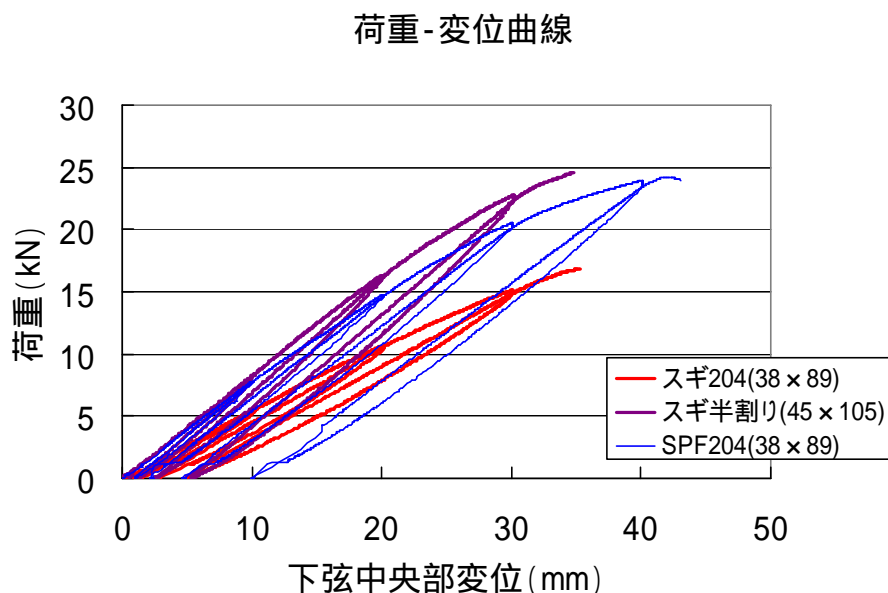
3.2.3. 試験結果

トラスの最終耐力は、接合部のメタルプレートコネクタの剥がれ、もしくは接合部の木材破壊で終局し、これは接合部試験の結果と一致した。

スギ材試験体で従来のタマ切材で得られる3m、4mの204材でトラスを作成した場合は、継手が多くなり、今回は3m材を使用したため、下弦材には2箇所の継ぎ手が発生し、部材応力の大きい支点側の継ぎ手で破壊した。

また、スギ材はSPF材と比較してヤング率が低い値であったため、204断面ではSPF材と比較して同荷重でのたわみ量が大きくなったが、断面の大きな半割材(45mm×105mm)を使用した場合、たわみ量は204断面のSPF材よりも小さくなり、破壊耐力もSPF材と同等以上であった。

試験の荷重-変位曲線を第3.2.5図に、破壊状況を写真3.2.2に示す。



第3.2.5図 3.5寸勾配試験体の荷重-変位曲線



スギ材継手接合部



SPF材の接合部

写真3.2.2 破壊状況

3.2.4. 考察

実大加力試験の結果、接合部の耐力は設計可能な範囲であると推察される。また木材自体の耐力を設計に反映することで、今後他の地域材でもトラス設計は可能であると考えられる。

スギ材ではタマ切材で得られる 3m、4m の 204 材でトラスを作成した場合、接合部の増加により、製作コスト（メタルプレート、作業手間）が増加する。今回は 3m 材を使用したため、下弦材に 2 箇所継ぎ手が発生し、部材応力の大きい継ぎ手で破壊した。接合点が多くなると、設計の制約が発生する。

スギ材でも断面の大きな半割材（45mm×105mm）を使用した場合、トラスとしてのたわみ量が減少し SPF 材の 204 断面と同様、それ以上の利用効果が期待できる。生産時においては、45mm の材厚の場合でも既存のトラスプレス機を使用して、比較的容易に製造対応可能である。また作業手間は既存の SPF 材と同等で入手も容易である。

これらの事を考慮して、地域材断面（半割など）の活用をすることにより、既存 SPF204 材と同等、それ以上の構造部材としての効果が期待できる。

3.3. 平行弦トラス床歩行振動測定試験

詳細については、別添4「木造床トラスの振動特性測定試験結果」を参照。

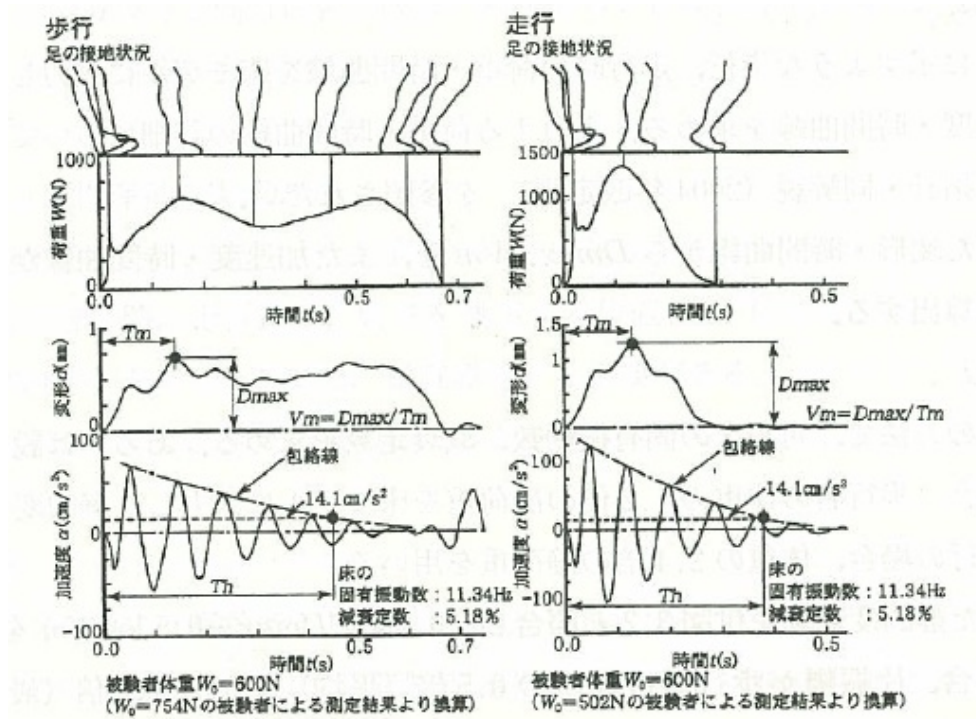
3.3.1. 試験概要

1) 試験場所：森林総合研究所

2) 試験指導：東京工業大学 准教授 横山裕

2) 試験目的：地域材を使用するトラス群のうち、床トラスは歩行時に生じる振動に関し居住性能評価も受ける必要が有る。そのため歩行時振動測定を行うこととしたが、これまで木造大スパンでの歩行時振動は計測方法など事例公開されていない。

そこで公開評価に値することを目的として、建築学会において歩行時床振動に詳しい東京工業大学の横山准教授にご指導頂くこととした。



第 3.3.1 図 振動測定の概要

3.3.2. 試験計画と試験体

1) 試験体

寸法 : 8m×8m、トラス高さ 900mm、トラス間隔@500mm

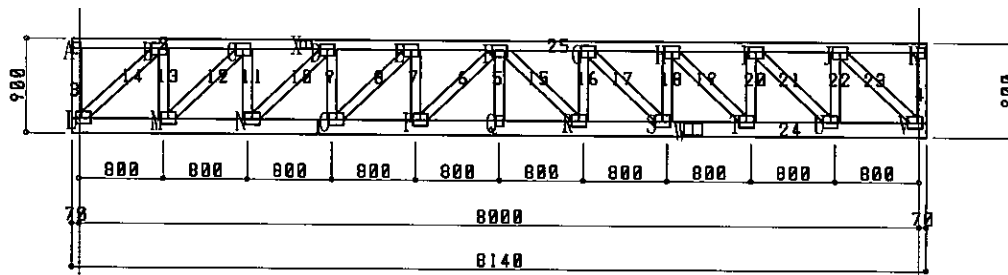
設計条件 : 学校床

枠組材 : 枠組壁工法構造用製材 北海道産トドマツ JAS 甲種 2 級

床面材 : 構造用合板 国産カラマツ「ネダノン」厚 24mm 実付き

試験体には、公共建築物等木材利用促進法の趣旨に鑑み、公共建築の代表格として学校を選定、枠組壁工法の床根太部品としてのトラス設計を行った。

ここに用いた地域構造材は、材料・接合部試験においてバラツキの大きかったスギの利用を控え、設計者側にとって地域材利用として望ましい、強度試験結果が確認でき JAS 選別が行われている材料（材料証明が出せる材）を用いることとした。そこで既に北海道で運用実績のあるトドマツ JAS 甲種 2 級を使用、設計上は SPF 同等の部材強度、接合強度とした。



第 3.3.2 図 トラス姿図

2) 試験体の製作

試験体の特徴は、学校床を想定して 8m×8m の正形状であり、周囲四周の支持は壁や剛性の高い梁を想定し H 型鋼を用いた。床版の上部には床トラスの支持点に生じる上階からの荷重影響を付与するため鋼材を載せることとした。



写真 3.3.1 試験体製作の様子

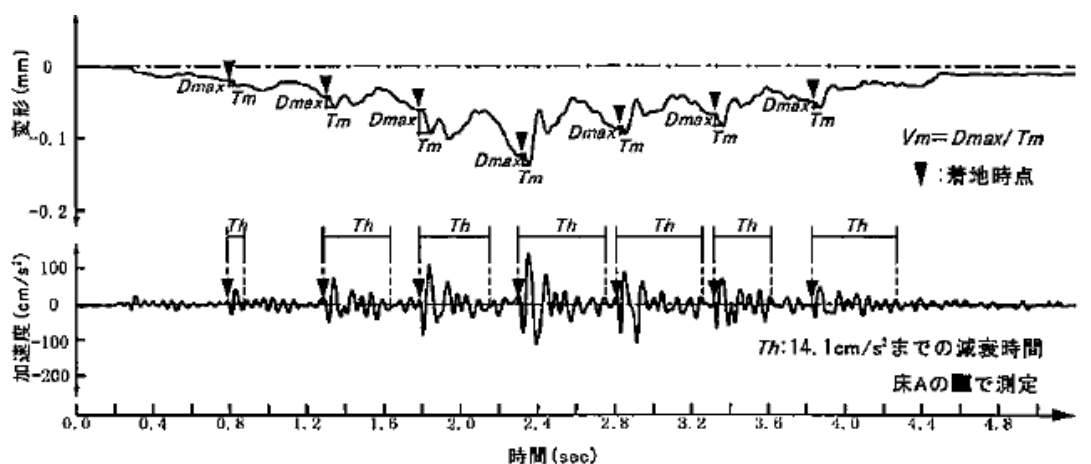
3)測定方法

原則として建築学会「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」2004年改定版によるが、今回測定・評価をお願いした東京工業大学横山研究室に従った。測定項目は測定店における変位及び応答加速度で、時間軸に対し曲線を作成した。第3.3.3図に曲線の例を示す。

測定点

レーザー変位計 : 床版中央部付近の床トラス下端に設置

加速度ピックアップ : 床版中央部付近の床面材下部に設置



第 3.3.3 図 変形 - 時間曲線、加速度 - 時間曲線の例

東工大横山准教授資料による



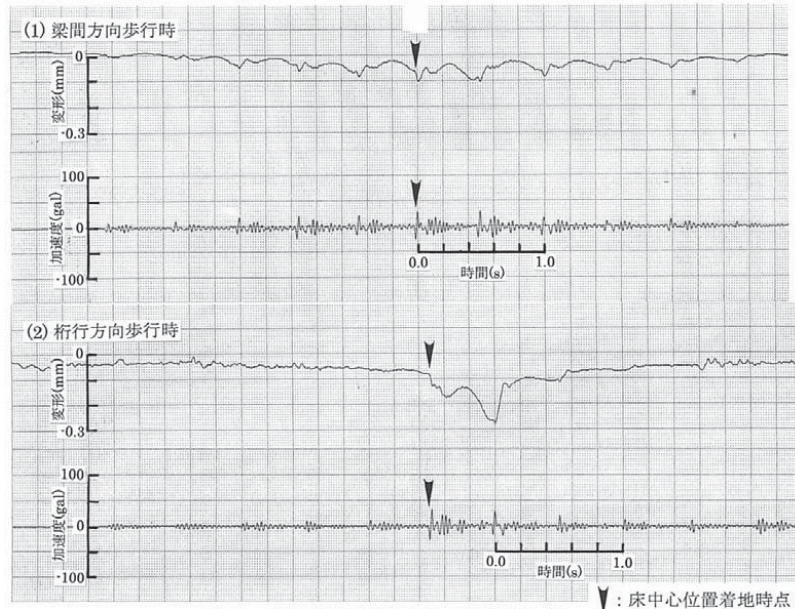
写真 3.3.2 測定の様子

4)評価方法

東京工業大学横山准教授の指導によった

3.3.3. 試験結果

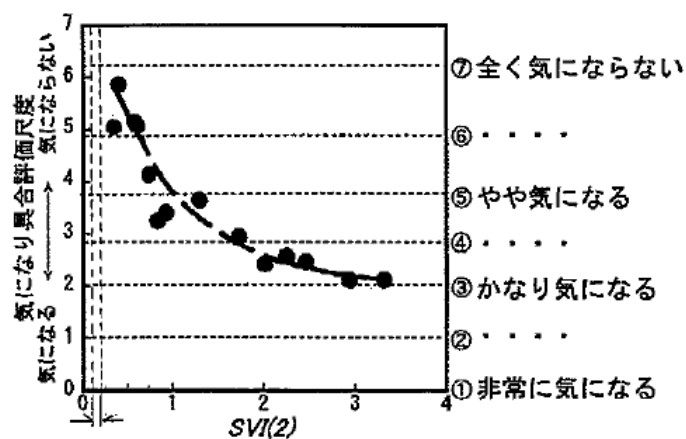
トラス床の1次固有振動数が23Hz、揺れ戻しの振動数が35Hz、トラス間の床合板の固有振動数が27.5Hzという結果が得られた。変位 - 時間曲線、加速度 - 時間曲線を第3.3.4図に示す。



第3.3.4図 変位 - 時間曲線、加速度 - 時間曲線

床上に人体がある場合、官能に影響を与える減衰効果は人体数の増加に応じて大きくなっている（人体が減衰体となるため減衰が早くなる）。但し固有振動数は変化なし。

官能評価指標において、全く気にならない程度と評価された。第3.3.5図に示す。



$$SVI(2) = \sum_{n=1}^{\text{歩数}} (VI(2)_n - (-1.5))$$

測定結果：SVI(2)値 = 0 ~ 0.028（梁間方向），~ 0.189（桁行方向）

第3.3.5図 官能評価指標に対する測定結果

3.3.4.まとめ

8mの大スパン木造床にもかかわらず、非常に優れた振動特性であった。従来得られている木造床の測定レンジではなく、大スパンであるにもかかわらずRC造床に近い性能であった。

従って、地域材トドマツであっても材料強度が確認されており、かつ等級選別を経たJAS規格材を用いた平行弦床トラスであれば、公共建築物の床であっても、歩行振動に対する居住性能が極めて高く、実用レベルにあることが検証された。

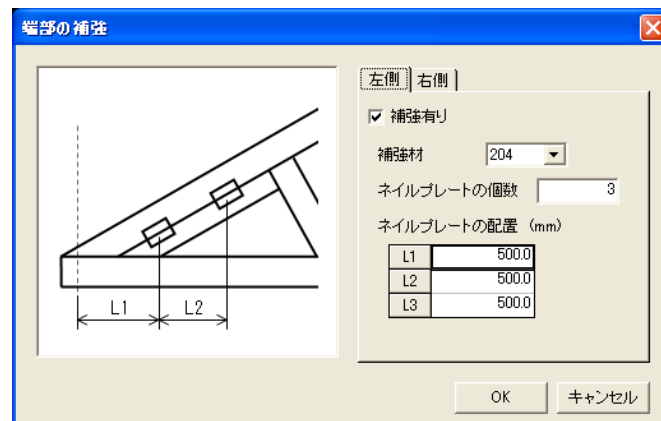
4. トラス設計システムの地域材対応について

既存のトラス設計システムは、SPF 材主体で設計が構築されている。今後、地域材を活用していく上で必要な仕組みを盛り込み、地域材に合わせた柔軟な設計を可能にする。

4.1. 改良項目

1) 端部の補強に対応

地域材では入手にくい幅広材 (ex.208 材、210 材) への対応として、「重ね梁」による断面補強を行なえるようにするため入力部の追加を施す。



第 4.1 図 重ね梁の設計

2) 照査の計算機能を追加

輸入の枠組壁工法構造用製材にはない流通断面 (ex.45mm × 105mm) を用いた場合の計算時の照査が行なえる仕組みを施す。

3) 計算書に照査結果を追加

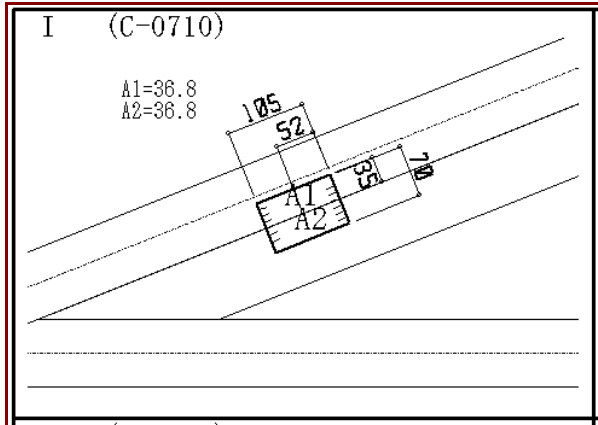
同様に計算書の照査が行なえる仕組みを施す。

計算書の例を第 4.2 図、第 4.3 図に示す。

| 4. 補助材の付加剛性 | |
|-------------|------------------------------|
| 部材番号 | 断面 2 次 (cm ⁴) |
| 2 | 223.0 |
| 5 | 223.0 |

| (2) 補強材の交点の作用力 (曲げ、せん断) 一覧 (単位: N・m、N) | | |
|--|------------|----------|
| ・ 交点 I | | |
| 荷重名称 | [2] | |
| | M (N・m) | Q (N) |
| D | -155.153 | 441.864 |
| D+S.S | -230.072 | 651.638 |
| D+WL | -252.872 | 716.744 |
| D+WR | -372.338 | 1041.024 |
| D+WZ | 10.778 | -18.689 |

第 4.2 図 構造計算書 1



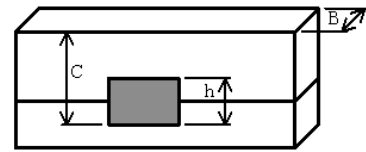
(5) 補強材のコネックの照査 (トラス枚数: 2)

・ 交点 I, J, K

- ・ コネックの引張耐力 (tF11) : 58.8 N/cm²
- ・ 木材の許容圧縮応力度 (fc) : 291.258 N/cm²
- ・ コネックの面積 (A) : 73.50 cm²
- ・ C : 12.40 cm
- ・ B : 3.80 cm
- ・ h : 7.00 cm

・ 照査位置での断面力

| 荷重名称 | M N·m | Q N | tF11' N/cm ² | Pmax N | Xn cm | Mmax N·m | 判定 |
|-------|----------|----------|----------------------------|-----------|----------|-------------|-----|
| D | -155.153 | 441.864 | 58.532 | 4302.100 | 4.633 | 305.940 | OK |
| D+S.S | -230.072 | 651.638 | 58.168 | 4275.357 | 4.669 | 304.790 | OK |
| D+WL | -252.872 | 716.744 | 58.026 | 4264.926 | 4.664 | 304.341 | OK |
| D+WR | -372.338 | 1041.024 | 57.110 | 4197.569 | 4.629 | 301.421 | OUT |
| D+WZ | 10.778 | -18.689 | 58.839 | 4324.692 | 4.695 | 306.908 | OK |



・ 交点 L, M, N

- ・ コネックの引張耐力 (tF11) : 58.8 N/cm²
- ・ 木材の許容圧縮応力度 (fc) : 291.258 N/cm²
- ・ コネックの面積 (A) : 73.50 cm²
- ・ C : 12.40 cm
- ・ B : 3.80 cm
- ・ h : 7.00 cm

・ 照査位置での断面力

| 荷重名称 | M N·m | Q N | tF11' N/cm ² | Pmax N | Xn cm | Mmax N·m | 判定 |
|-------|----------|-----------|----------------------------|-----------|----------|-------------|-----|
| D | 155.153 | -441.864 | 58.532 | 4302.100 | 4.633 | 305.940 | OK |
| D+S.S | 230.072 | -651.638 | 58.168 | 4275.357 | 4.669 | 304.790 | OK |
| D+WL | 373.220 | -1041.454 | 57.108 | 4197.462 | 4.628 | 301.416 | OUT |
| D+WR | 251.990 | -716.313 | 58.027 | 4264.938 | 4.664 | 304.344 | OK |
| D+WZ | -10.778 | 18.689 | 58.839 | 4324.692 | 4.695 | 306.908 | OK |

注) ・ せん断力によるコネック耐力 (tF11')

$$tF11' = \sqrt{(tF11)^2 - (Q/A)^2}$$

・ コネックの最大耐力 (Pmax)

$$Pmax = tF11' \times A$$

・ 中立軸 (Xn)

$$Xn = (Pmax/h) \times (2C - h) / (2Pmax/h + fc \times B)$$

・ 曲げ耐力の計算 (Mmax)

$$Mmax = 1/2 \times [(C - Xn)^2 + (h + Xn - C)^2] \times Pmax / (h + Xn^2 \times fc \times B)$$

・ コネックの曲げ照査

$$M \leq Mmax \text{ の場合 OK}$$

第 4.3 図 構造計算書 2

4) 国産材の樹種、サイズに対応

同様に国産材の樹種、サイズに自由に対応可能なマスターテーブルを追加する。

- ・ トラス材のマスターファイル (WORK49) に樹種・サイズの変更を可能にする。
- ・ ネイルプレート照査時の許容応力度をマスター化し、変更を可能にする。

4.2.重ね梁の理論（旧 38 条認定時の技術に基づく対応）

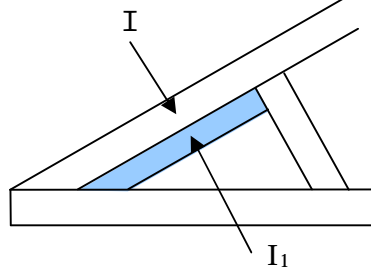
1) 重ね梁断面の照査

補助材の断面 2 次モーメント (I) のみを付加することで、断面を照査する。

つまり、フレーム計算に換算断面 2 次モーメント (I') を付加し、断面の照査式には付加しない事により安全側に設計を行う。

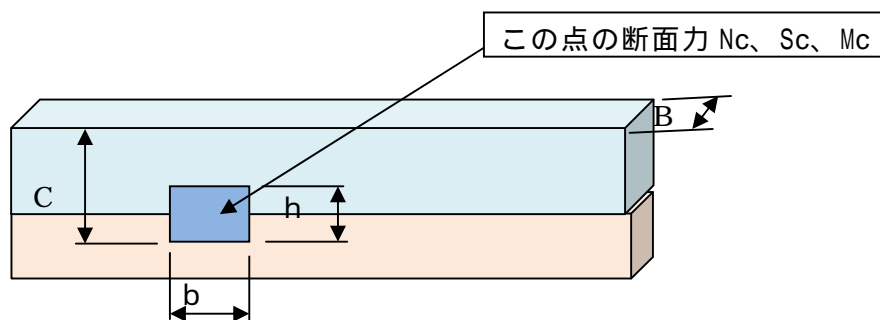
I' は以下の計算式で求める。

$$I' = I + I_1$$



第 4.4 図 重ね梁の設計

2) 曲げモーメントとせん断力が作用するメタルプレートの照査



第 4.5 図 重ね梁のメタルプレート

必要なデータ

- ・メタルプレートの引張り耐力 : $t F11$
- ・木材の許容圧縮応力度 : f_c
- ・メタルプレートの面積 : $A = b \times h$
- ・照査位置での断面力 (S_c , M_c) は、曲げは、部材内の最大値を採用し、せん断力は、低減係数に利用するため最小値を採用する。

メタルプレートの耐力をせん断力による低減する。

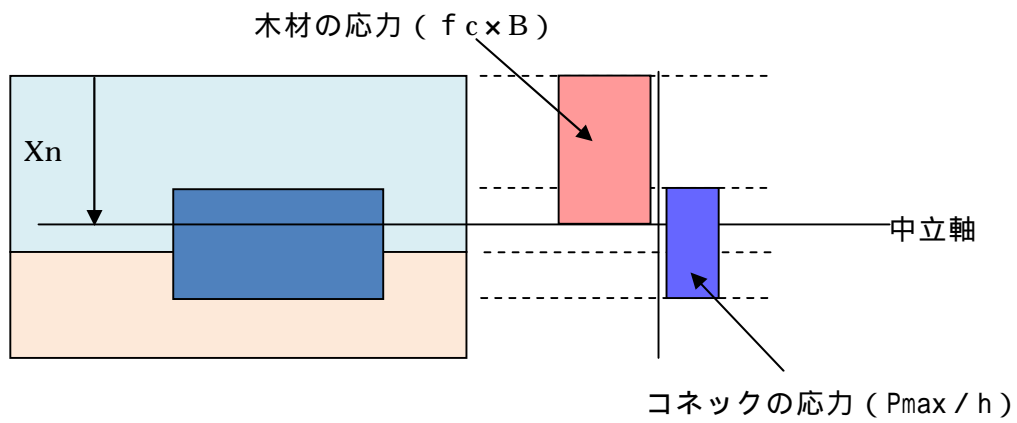
せん断力によるコネック耐力 ($t F11'$)

$$t F11' = \{ (t F11)^2 - (S_c / A)^2 \}$$

メタルプレートの最大耐力 (P_{max})

$$P_{max} = t F11' \times A$$

中立軸を求める



第 4.6 図 応力状態

$$X_n = (P_{\max}/h) \cdot (2C - h) / (2P_{\max}/h + f_c \cdot B)$$

曲げ耐力の計算 (Mmax)

$$M_{\max} = 1/2 [\{ (C - X_n)^2 + (h + X_n - C)^2 \} \cdot P_{\max}/h + X_n^2 \cdot f_c \cdot B]$$

ネイルプレートの曲げ照査

Mc Mmax の場合に OK

5. 今後の課題

1) 流通面の課題

現状国産スギを代表とする地域材の JAS 枠組壁工法構造用製材の流通は著しく少なく原木から調達を行うか在来工法用流通品の再加工が必要となり、コストも納期もかかる。流通量の多い半割り寸法の地域材が利用可能となれば、材料確保が容易となるが、現状 JAS 枠組壁工法構造用製材において、ディメンション以外の寸法が認められていない。

2) 材料選定の課題

地域材（スギ等）は材料性能や産地・生育条件による違いの知見が乏しく、また物性値の標準偏差が大きいため、目視選別による格付けだけでは性能が担保しにくい状況である。枠組壁工法構造用製材 JAS 規格そのものが、輸入製材を基盤としており、国産地域材の知見から作られたものではない。そのため、強度に影響の無い不利な条件でふるい落とされてしまう。

6. まとめと提言

ここに本開発事業のまとめとして、以下の提言を行いたい。

[提言 1]

- ・国産の枠組壁工法構造用製材の製材工場、さらには格付けまで一貫して行える認定工場をもっと増設する必要がある。（現在、製材工場は 4 社に過ぎないので、地域差があり、輸送経費が掛かる）
- ・SPF 輸入ランバーは 20 f（6.1m）材などの長尺材が手に入るが、国産地域材は標準材長が 3～4m と短く、枠組壁工法の上下枠、頭つなぎやトラスの上下弦材・合掌材に使用する長尺材の供給に支障がある。今回の開発事業を通じ、このことはトラス部材強度にも影響があるため、たて継ぎ材、フィンガージョイント材等の早急な開発・普及が必要である。

[提言 2]

- ・枠組壁工法構造用製材 JAS について、現行輸入材と同等性能を条件として、国産地域材利用の場合の新規格作りができないか。
- ・現行の JAS 製材を利用する場合でも、製造側から提供される材料強度試験成績書、及び産地証明の添付があれば、設計者は利用しやすい。
- ・さらに地域材活用には、相応しいエンジニアリングされた材料選定が必要であり、目視選別に加えて小荷重載荷試験や打撃音法によるヤング率測定を行い、MSR に準じた選別がデータとして裏付けされれば、利用に当たって設計強度保証に有効であると考えられる。

別添資料

別添 1「試験報告書」メタルプレートコネクタ-接合部試験 - スギ

別添 2「試験報告書」メタルプレートコネクタ-接合部試験 - SPF

別添 3「試験報告書」スギ材を利用した実大屋根トラスの静的加力実験

別添 4「木造床トラスの振動特性測定試験結果」