

# 地域産針葉樹中径材を利用した住宅用高機能性部材の開発

1993年度～1997年度（国補：大型プロジェクト）

菱田 重寿 近藤 和幸 豊嶋 勲  
 榊原 弘修 大林 育志  
 浅岡 郁雄（現愛知県新城事務所）

## 要 旨

スギの軽さを活かした建築構造用梁材の開発を試みた。その形態をI型に求め、垂直積層して梁材としての強度的性能を調べた。幅10.5cmのI型は通常の平角型に比べ、荷重に対する耐力は低下した。しかし単位断面積あたりに換算して比較すると、約2割の材料の効率化が認められた。さらに梁材としての性能の向上を図るには、とくに梁高を大きくすることが効率的であった。なおウェブは3層から成り、それらは互いに繊維方向が直交する構造とし、中央の1層は幅はぎ接着を行わなかったが、そのため約1割の曲げ性能の低下がみられた。しかし、曲げ材として必要とする基準は満たした。

## I. はじめに

戦後の旺盛な拡大造林により造成された森林は、順次利用期を迎えており、スギおよびヒノキの量的供給力が備わりつつある。とくに供給過剰が懸念されるのはスギの中径材で、その並材からは通常たる木、胴縁、筋違い、ぬき、野地板などが生産され、競合も多く、新しい需要が望まれるところである。

そのため、スギの軽さを活かした作業性の高い梁材への利用を検討した。より軽量の建築材の形状として、I型の集成材を考え、実大材による曲げ試験を行って、その強度的性質を調べた。

## II. 方法

### 1 試験体

#### 1) ラミナ

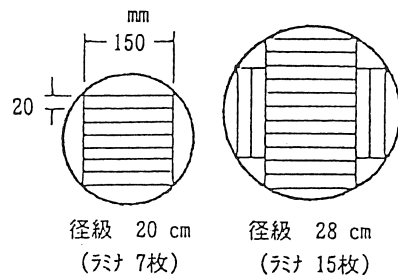


図-1 木取り図

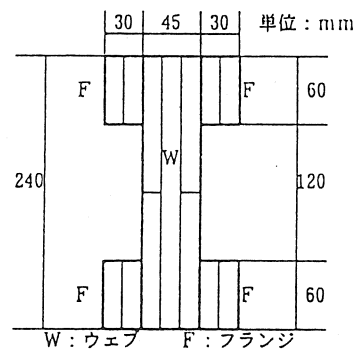


図-2 I型集成材の断面形状（基本形）

表-1 試験体の寸法とラミナ材料のヤング係数

| 種類 | 種類 | 試験体      |         |          |                           |                          |          |      | ウェブ     |          |         | フランジ                      |         |          |         | 備考    |                           |
|----|----|----------|---------|----------|---------------------------|--------------------------|----------|------|---------|----------|---------|---------------------------|---------|----------|---------|-------|---------------------------|
|    |    | 長さ<br>cm | 幅<br>cm | 高さ<br>cm | Efr<br>tf/cm <sup>2</sup> | Ee<br>tf/cm <sup>2</sup> | 重量<br>kg | 密度   | 幅<br>cm | 高さ<br>cm | 層数<br>層 | Efr<br>tf/cm <sup>2</sup> | 幅<br>cm | 高さ<br>cm | 層数<br>層 |       | Efr<br>tf/cm <sup>2</sup> |
| a  | a  | 390      | 10.5    | 24       | 95.4                      | 99.7                     | 29.4     | 0.41 | 4.5     | 24       | 3       | 82.8                      | 3       | 6        | 2       | 113.9 | ウェブ直交型                    |
| b  | b  | //       | 13.5    | //       | 95.4                      | 101.2                    | 29.1     | 0.41 | //      | //       | //      | 82.3                      | 4.5     | 4        | 3       | 114.4 | //                        |
| c  | c  | //       | 12.0    | //       | 99.7                      | 105.4                    | 24.0     | 0.42 | 3.0     | //       | //      | 83.6                      | //      | //       | //      | 115.5 | //                        |
| d  | d  | 470      | 10.5    | 30       | 96                        | 99.3                     | 39.3     | 0.41 | 4.5     | 30       | //      | 90                        | 3       | 6        | 2       | 108   | //                        |
| e  | e  | //       | 13.5    | //       | 98                        | 101.1                    | 46.6     | 0.42 | //      | //       | //      | //                        | 4.5     | //       | 3       | //    | //                        |
| f  | f  | //       | 10.5    | 36       | 96                        | 98.9                     | 45.5     | 0.41 | //      | 36       | //      | //                        | 3       | //       | 2       | //    | //                        |
| g  | g  | 471      | //      | //       | 101.6                     | 105.8                    | 44.4     | 0.40 | //      | //       | //      | 94.1                      | //      | //       | //      | 118.3 | //                        |
| h  | h  | //       | //      | //       | 101.4                     | 105.7                    | 44.2     | 0.40 | //      | //       | //      | 93.9                      | //      | //       | //      | //    | //                        |
| i  | i  | //       | //      | //       | 95.0                      | 110.5                    | 72.9     | 0.41 | -       | -        | -       | -                         | -       | -        | -       | -     | ウェブ平行型<br>水平積層            |

本数：本数：各3本，フランジ欄：4ヶ所のうち1ヶ所のサイズ等，F.J.位置：d～fは材端、g～iは材中央

県内のおよそ60～80年生のスギの皆伐地から得られた、主に2～4番玉の長さ4m、径20～28cmの中径丸太から幅150mm、厚さ20mmの板を図-1のように木取った。一本の丸太からは7枚ないし15枚のラミナが採れた。乾燥後縦振動法によりヤング係数を測定し、10tf/cm<sup>2</sup>単位でラミナを強度区分した。さらに目視区分により「集成材の日本農林規格」の4等に満たないラミナは集成材の作成から除外した。

2) I型集成材の断面形態

I型集成材の基本形の断面形状は図-2のとおりであり、中央3層（以下「ウェブ」という。）と上下4か所の耳状の2層（以下「フランジ」という。）から成る。

ウェブの3層のうち中央の1層は、両側の2層の繊維方向とは直交させ、材高と同じ長さの板を横並びにただけ幅はぎ接着を行わなかった。

3) I型集成材の製造方法

ウェブ部、フランジ部をそれぞれ製作し、所定の寸法とした後I型に接着した。

ウェブ部は3層のうち外側の2層をまず幅はぎ接着し、その2層の幅はぎ板の間に材高の長さの板を、2枚の幅はぎ板と繊維方向が直交するように並べて3層に接着した。またフランジ部は2枚のラミナを積層接着し、所定の寸法に調整した。そして両者をI型に接着した。

接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤又

はレゾルシノール樹脂接着剤を使用し、コールドプレスにより7kg/cm<sup>2</sup>で圧縮した。

4) 試験体の種類

ア 基本形I型

図-1のような形状で、10tf/cm<sup>2</sup>ごとに区分した様々なヤング係数のラミナをウェブとフランジに配したI型集成材を48体作成した。ウェブには55.0～105.0tf/cm<sup>2</sup>、フランジには38.5～135.0tf/cm<sup>2</sup>のヤング係数のラミナを用いた。

接着剤には水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。

イ その他のI型等

表-1に示したような、基本形のI型集成材のフランジあるいはウェブの寸法および材高の寸法を変えたI型の集成材や、ウェブ3層の繊維方向が直交するI型と平行するI型の集成材、さらに同じ幅、同じ高さの平角型の水平積層集成材（厚さ15mmのラミナが24層）を同じラミナのヤング係数構成で作成した。

接着にはレゾルシノール樹脂接着剤を使用した。

2 試験方法

1) ヤング係数の測定

打撃音を利用した縦振動法で行った。

2) 曲げ試験

支点間距離が360cmないし450cmの3等分点4点荷重方式で曲げ試験を行った。負荷に伴うたわみは支点間中央で測定した。

試験終了後、試験体の一部をとり、試験体の密度および含水率を測定した。

曲げ試験から、強さの指標として最大荷重、曲げヤング係数、曲げ強さ、ウェブにかかる最大せん断応力を、曲げ剛性の指標としてたわみ制限荷重を求めた。たわみ制限荷重はたわみがL/300 (L: 支点間距離) の時の荷重で表したが、等分布荷重の場合に比べ過小な値となる。

### Ⅲ. 試験結果および考察

#### 1. 基本形の I 型集成材の曲げ性能

曲げ試験の結果の概要を表-2に示した。ラミナのヤング係数をもとに算出した試験体の平均ヤング係数87.8tf/cm<sup>2</sup>に対し、平均最大荷重は5177kg、平均曲げヤング係数は71.5tf/cm<sup>2</sup>、平均曲げ強さは336kgf/cm<sup>2</sup>、平均たわみ制限荷重は1031kgであった。曲げヤング係数は、材料のヤング係数に比べ81%とかなり低い値であった。

また  $E_e = \Sigma (E_i \cdot I_i) / I$  (ただし  $E_i$ : ウェブないしフランジのヤング係数、 $I_i$ : ウェブないしフランジの断面二次モーメント、 $I$ : 試験体全体の断面二次モーメント) により求めた有効ヤング係数<sup>1)</sup>の平均値90.0tf/cm<sup>2</sup>と比べると、平均曲げヤング係数はさらに低い79%の値であり、I型集成材の剛性効率の低下は著しかった。なお有効ヤング係数を材料平均のヤング係数と比較すると、-7.3~9.4%の値の増減があった。

また曲げ強さについても、本県スギ正角材の曲げ強さと比較すると、かなり下方に値がシフトし

ていた。<sup>2)</sup>

この原因の一つとして、ウェブの中央層の幅はぎ接着のないことがあげられる。

建築基準法に定められているスギの材料強度225kgf/cm<sup>2</sup>を下回るものが2本あった。それらはフランジに50tf/cm<sup>2</sup>以下のヤング係数のラミナが用いられていた。

曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図-3に示した。相関係数は0.879であった。また有効ヤング係数と曲げ強さとの関係では相関係数は0.832となり、ともにならかなり高い水準で曲げ強さを推定することが可能と考えられた。

図-4には、フランジのヤング係数が~90tf/cm<sup>2</sup>、90~110tf/cm<sup>2</sup>、110~tf/cm<sup>2</sup>の3区分ごとに、ウェブのヤング係数と試験体の曲げヤング係数の関係を示した。また図-5には、同様に曲げ強さとの関係について示した。それらの図から用いられるラミナの強度への影響は、ウェブよりもフランジの方が大きいことが読みとれる。

たわみ制限荷重については、支点間中央のたわみがL/300つまり1.2cmの時の荷重が最も小さな値であったのは、ウェブのヤング係数が68.3tf/cm<sup>2</sup>、フランジのそれは38.5tf/cm<sup>2</sup>の試験体で556kgであった。床荷重を固定荷重65kg/m<sup>2</sup>、積載荷重130kg/m<sup>2</sup>の合計195kg/m<sup>2</sup>とし、梁間隔を0.9mとして計算すると、632kgの荷重となった。その値を等分布荷重<sup>3)</sup>に換算すると木質構造設計規準 ( (社) 日本建築学会) の曲げ材の所要剛性を満たし、幅10.

表-2 基本形の I 型集成材の試験結果

| 項目 | ヤング係数              |                    |                    |                    | 密度   | 含水率  | Pmax | MOE                | MOR                 | PL/300 |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|------|------|--------------------|---------------------|--------|
|    | ウェブ                | フランジ               | 平均                 | Ee                 |      |      |      |                    |                     |        |
|    | tf/cm <sup>2</sup> | tf/cm <sup>2</sup> | tf/cm <sup>2</sup> | tf/cm <sup>2</sup> |      | %    | t    | tf/cm <sup>2</sup> | kgf/cm <sup>2</sup> | t      |
| 最大 | 105.0              | 135.0              | 113.0              | 116.5              | 0.46 | 22.0 | 7.20 | 92.5               | 462                 | 1.36   |
| 平均 | 81.7               | 97.1               | 87.8               | 90.0               | 0.42 | 17.3 | 5.18 | 71.5               | 336                 | 1.03   |
| 最小 | 55.0               | 38.5               | 56.4               | 52.3               | 0.38 | 12.0 | 2.94 | 39.9               | 204                 | 0.56   |

曲げ試験方法: 3等分点4点荷重方式、Ee: 有効ヤング係数  $E_e = \Sigma (E_i I_i) / I$   
 Pmax: 最大荷重、MOE: 曲げヤング係数、MOR: 曲げ強さ、PL/300: たわみ制限荷重

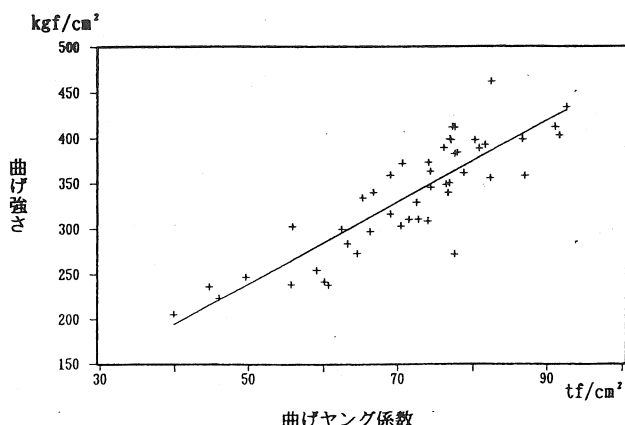


図-3 曲げヤング係数と曲げ強さの関係

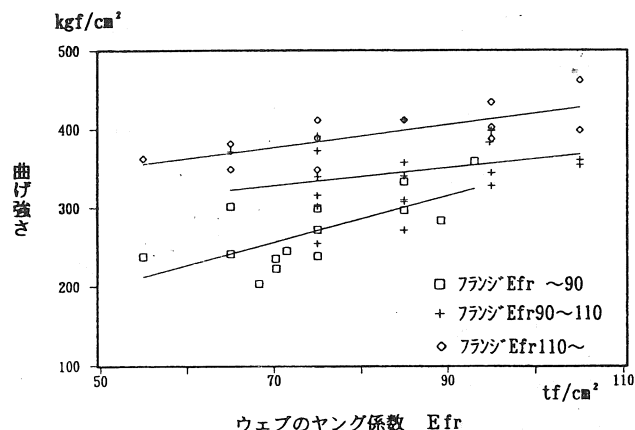


図-5 ヤング係数と曲げ強さの関係

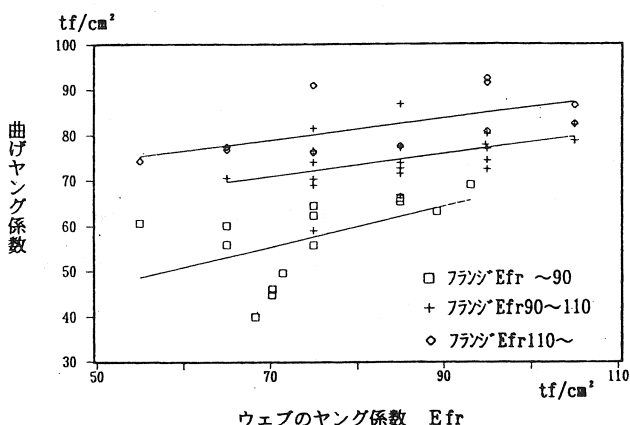


図-4 ヤング係数と曲げヤング係数の関係

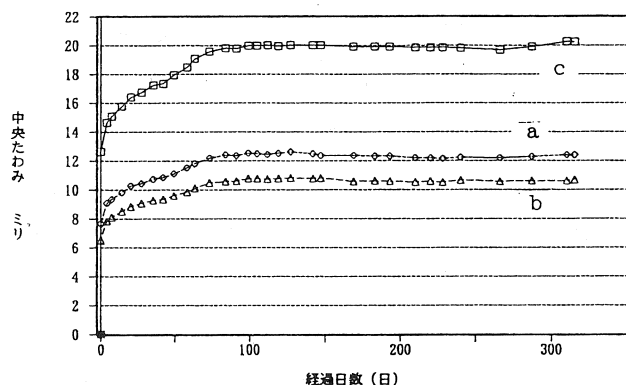


図-6 曲げクリープ試験結果

5cm、高さ24cmの基本形のI型集成材は、支点間距離3.6mの床梁材としての使用が可能と考えられた。

2. 基本形のI型集成材の曲げクリープ性能

基本形のI型集成材を用い、支点間距離360cm、3等分点4点荷重方式で曲げクリープ試験を行い、その結果を図-6に示した。梁間隔は0.9mと1.8mを想定して、荷重を630kgと1260kgとした。使用したラミナのヤング係数と荷重は表-3のとおりである。接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。

表-3 クリープ試験条件

| 試験体 | ラミナのヤング係数          |                    | 荷重   |
|-----|--------------------|--------------------|------|
|     | ウェブ                | フランジ               |      |
|     | tf/cm <sup>2</sup> | tf/cm <sup>2</sup> | kg   |
| a   | 70~80              | 90~100             | 630  |
| b   | //                 | 110~120            | //   |
| c   | 90~100             | //                 | 1260 |

荷重直後の中央のたわみは、630kgの荷重では約7mm、1260kgの荷重では約13mmであった。測定開始後徐々にたわみは進行し、約3か月後ほぼ安定し、荷重630kgでは12.5mmと10.8mmに荷重1260kgでは20.0mmになった。ウェブの3層の繊維方向が直交し、中央の層には幅はぎ接着を行っていないという構造上の問題はとくに認められなかった。

3. 断面形態が曲げ性能に及ぼす影響

フランジの寸法、ウェブの厚さ・形態、材高等が異なった各種試験体の断面形態とラミナのヤング係数は表-1のとおりであり、曲げ試験の結果を表-4に示した。

それらの表をもとに比較して、その結果を表-5に示した。

フランジ幅の増加は、最大荷重とたわみ制限荷重とともに増加させた。また単位断面積当たりで

表-4 曲げ試験結果

| 種類 | 最大荷重<br>t | 曲げ強さ<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 曲げヤング係数<br>tf/cm <sup>2</sup> | 最大せん断応力<br>kgf/cm <sup>2</sup> | P(L/300)<br>t | 主な破壊形態     |
|----|-----------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|
| a  | 6.87      | 436                         | 79.7                          | 44.1                           | 1.36          | 曲げ         |
| b  | 6.83      | 389                         | 80.0                          | 41.6                           | 1.49          | //         |
| c  | 6.09      | 401                         | 87.8                          | 54.4                           | 1.43          | //         |
| d  | 6.53      | 362                         | 76.7                          | 33.1                           | 1.39          | //         |
| e  | 7.95      | 352                         | 75.5                          | 39.5                           | 1.80          | 圧縮         |
| f  | 8.49      | 339                         | 75.3                          | 35.3                           | 2.40          | 曲げ         |
| g  | 7.45      | 296                         | 74.9                          | 31.0                           | 2.34          | 曲げ (F.J.部) |
| h  | 8.27      | 329                         | 82.4                          | 34.4                           | 2.56          | せん断曲げ      |
| i  | 11.02     | 360                         | 93.0                          | 21.7                           | 3.54          | 曲げ (F.J.部) |

P(L/300) : スパン中央のたわみがL/300の時の荷重

表-5 断面形態および材長による曲げ性能の比較

| 比較項目        | 比較試験体 | 比    |      |      |        | 単位断面積比 |        |
|-------------|-------|------|------|------|--------|--------|--------|
|             |       | 断面積  | I    | Pmax | PL/300 | Pmax   | PL/300 |
| フランジ幅 増     | b/a   | 1.00 | 1.11 | 0.99 | 1.10   | 0.99   | 1.10   |
| //          | e/d   | 1.17 | 1.26 | 1.22 | 1.29   | 1.04   | 1.10   |
| ウェブ厚 減      | c/b   | 0.80 | 0.86 | 0.89 | 0.96   | 1.11   | 1.20   |
| 材高 増        | f/d   | 1.13 | 1.64 | 1.30 | 1.73   | 1.15   | 1.53   |
| ウェブ構造 平行・直交 | g/h   | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.91   | 0.90   | 0.91   |
| 型状 平角・I     | h/i   | 0.62 | 0.83 | 0.75 | 0.72   | 1.21   | 1.17   |
| 材長 スパン増     | d/a   | 1.15 | 1.84 | 0.95 | 1.02   | 0.83   | 0.89   |

I : 断面二次モーメント、Pmax : 最大荷重、PL/300 : たわみ制限荷重

の比較では、最大荷重ではほとんど差はなかったが、たわみ制限荷重では増加が認められ、フランジ幅の増加は軽量化に効果があった。なお断面二次モーメントの増加とたわみ制限荷重の増加は、ほぼ一致することが窺えた。

ウェブ厚の縮小は、最大荷重、たわみ制限荷重をともに減少させたが、たわみ制限荷重への影響は小さく、たわみ制限荷重の断面二次モーメントとの関連は薄かった。単位断面積当たりの比較では、反対に最大荷重では11%、たわみ制限荷重では20%性能が増加した。ウェブの厚さの縮小は、I型集成材の軽量化に一定の厚さまで効果が認められることが予想される。

材高の増加は、最大荷重、たわみ制限荷重をともに増加させた。とくに断面二次モーメントの増加に比例して、たわみ制限荷重の増加が著しかった。

た。材高の増加は軽量化に対し、著しい効果があった。

I型の影響については、I型にすることにより荷重に対する耐力が相当低下した。しかし単位断面積当たりに換算すると最大荷重、たわみ制限荷重ともに性能の増加が認められ、軽量化に対しI型の形状は効果が認められた。今回の幅10.5cmのI型では、その効果は2割前後と推測された。

#### 4 材長が曲げ性能に及ぼす影響

長尺化に伴う影響について、材高と支点間距離がともに同じ1/15の高さ24cmのa試験体と高さ30cmのd試験体で比較した(表-4)。両者の最大荷重、たわみ制限荷重はほぼ同じであった。単位断面積当たりでは、支点間が広がることにより曲げ性能は低下した。

#### 5 破壊原因

ほとんどの試験体は曲げ破壊であった。しかしウェブの繊維方向が平行のものは、水平せん断破壊を伴った。

#### IV. まとめ

1 I型は通常の平角型に比べ、最大荷重、たわみ制限荷重等曲げ性能は低下するが、単位断面積当たりで比較すると、反対に高い性能を示し、部材の軽量化を図ることができた。今回の試験では約2割の軽量化が可能と推測された。

2 断面形状をより適性な形にすることでより軽量化が可能であり、とくに材高を大きくすることがより効果的であった。

3 ウェブ3層の繊維方向が直交し、その中央層は幅はぎ接着がないため、曲げ性能の低下が認められたが、建築部材としての基準を満たした。

4 製造工程が複雑なため製造コストは高く試算され、I型の形態を活かした低コストな製造方法の開発さらに他部材との接合方法の検討を必要とする。

#### V. 参考文献

- 1) 杉山英男：木質構造の設計 丸善 1976
- 2) 菱田重寿他：三河材の材質特性に関する研究  
愛知県林業センター報告No. 29 1992
- 3) 日本木材学会：木材科学実験書 I、物理・工学編 中外産業調査会 1985