

## 秋田県産スギ材を用いた長尺スパン梁部材の開発

岡崎泰男<sup>1</sup>，板垣直行<sup>2</sup>，中村昇<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 秋田県立大学木材高度加工研究所

<sup>2</sup> 秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科

平成 22 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が制定されて以後，中大規模建築物の木造化が進められつつあります。このような建築物では 6～12m のいわゆる「長尺スパン」に対応できる梁部材が必要となりますが，秋田県の地域木材資源であるスギを使った場合，大きな断面の部材が必要となるためにコスト面で不利になってしまうという問題が起きます。この問題を克服しスギを使った中大規模建築物の木造化を進めていくためには，長尺スパンに対応できる低コスト梁部材を開発し，供給していかなければなりません。そこで今回，スギ材を用いた低コスト梁部材の供給を実現することを目的として，「スギツーバイフォー製材を使用したトラス梁部材」，「スギ材およびスギ合板を使用したボックスビーム・I 型梁部材」，「現場接着型 I 型梁部材」の 3 種類の梁部材を考案し，その試験体の試作およびその性能評価試験を行いました。ここでは，これらの梁部材の製造方法，および試験結果について紹介します。

**キーワード：**中大規模木造建築，長尺スパン，スギ，トラス梁，I 型梁，ボックスビーム

平成 22 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が制定され，秋田県でも，この法律に基づき平成 24 年，25 年に「あきた県産材利用推進方針」に一部改正を加え県産材の利用促進が図られてきました。このような状況を背景に，秋田県では平成 25 年度に「地域材新規用途導入促進支援事業」を実施し，その中で，商業施設（コンビニ店舗）への木造導入が検討されることとなりました（板垣，釜田，及び岡崎(2015)）。

秋田県の地域木材資源であるスギを活用した公共建築物・商業施設等の中大規模建築物の木造化を推進する上での大きな課題の一つとして，広い空間を支持する梁部材の供給の問題を挙げることができます。このような建築物では広い空間を設けることが多く，その場合，6～12m のいわゆる「長尺スパン」に対応できる梁部材が必要となります。最も簡単な解決法は大断面集成材<sup>1</sup>を使用する方法ですが，木材，特にスギ材はヤング係数が低くたわみが大きく

なるため，その制限をクリアするためには，かなり大きな断面の部材が必要となり，結果として，鉄骨造，鉄筋コンクリート造に比べコストが増大してしまいます。この問題を克服し，スギを使った中大規模建築物の木造化を進めていくためには，長尺スパンに対応できる低コスト梁部材を開発し，供給していかなければなりません。

これまで，長尺スパンに合理的に対応する梁部材として，トラス梁，I 型梁，ボックスビーム，重ね梁等の梁部材を利用する方法が考えられ，様々な梁部材が提案されてきました（後藤と中山 (2013)；井上，清水，沖林，田中，及び岡崎(1999)；大橋，戸田，藤原ら (2008)；田畑，吉田，今井，山内，及び柴田(2015)；吉田，伊東，及び橋爪(2005)など）。しかし，国産材を利用したものについては個別に設計・開発されるにとどまり，量産化による低コスト化が図られなかったため，ほとんど普及していない状況にあります。そのような状況を受け，平成 25

年度秋田県の「地域材利用開発事業」の一環として、上述した「地域材新規用途導入促進支援事業」のコンビニ店舗への木造導入事業と連携をとりながら、スギ材を用いた低コスト梁部材の供給を実現することを目的とした研究を行うことになりました。対象とした梁部材はコンビニ店舗に用いたスギツーバイフォー製材を使用したトラス梁部材、スギ材およびスギ合板を使用したボックスビーム・I型梁部材、現場接着型I型梁部材の3種類であり、いずれも秋田県産スギ材を主要部材として使用しています。

### スギツーバイフォー製材を使用したトラス梁部材

ツーバイフォー工法（枠組壁工法）では、S-P-F材と呼ばれる北米産材を部材とし、これを「メタルプレートコネクター」と呼ばれる接合金物を用いて接合した各種のトラス梁が以前より用いられてきました。これらのトラス梁は工場で製造することにより現場での工期短縮とコストの削減が図られています。今回の研究ではS-P-F材の代わりに秋田県産スギのツーバイフォー製材を使用し、スパン（支点間距離）約10mの平行弦トラス梁部材試験体（図1）を作成し、曲げ強度試験によるその性能評価を行いました。試験を行った梁部材は図1に示した平行弦トラスを2枚貼り合わせたもの（以下、「2PLY」と呼称）、および1枚のもの（以下、「1PLY」と呼称）の2種類で、各タイプ2体の試験体を作成し、実大曲げ強度試験機（東京衡機製 TKN1000 kN）を用い、スパン（支点間距離）10000mm、ロードスパン（加力点間距離）3333.3mmの四点載荷方式で行いました（図2）。

曲げ強度試験の様子は図3に示した通りで、その結果（試験時の荷重-中央部たわみの関係）は図4に示したようになりました。1PLY, 2PLYとも初期

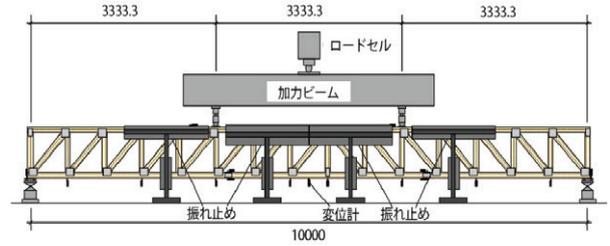


図2 トラス梁部材の曲げ強度試験 試験概要



図3 トラス梁部材の曲げ強度試験の様子

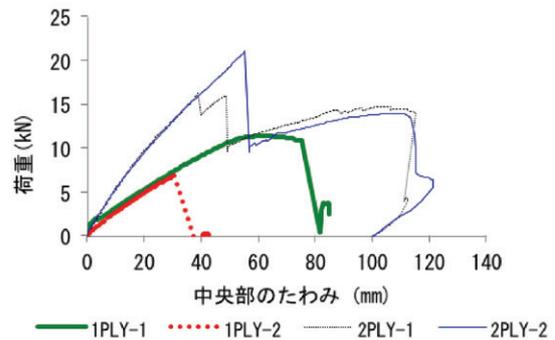


図4 荷重-中央部のたわみの関係

剛性（たわみが0～20mm程度までの範囲の傾き）は2つの試験体ではほぼ一致していましたが、最大荷重は1PLY-1が11.5kN, 1PLY-2が6.9kN, 2PLY-1が16.4kN, 2PLY-2が21.1kNと、試験体による違いがかなり大きくなりました。その点に関しては破壊形態の分析等を含め、今後さらに検討する必要がありますが、どちらのタイプも設計値はクリアしてお

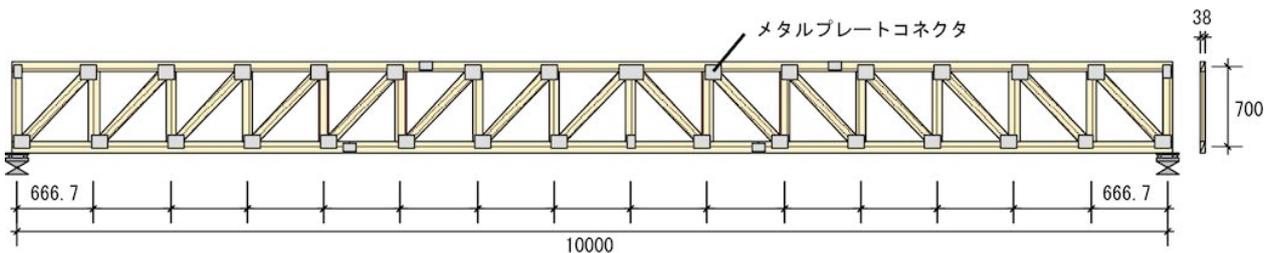


図1 ツーバイフォー平行弦トラス梁部材試験体

り、秋田県産スギツーバイフォー製材を使用したトラス梁部材が十分な性能を有することが明らかになりました。

### スギ材およびスギ合板を使用したボックスビーム・I型梁部材

前章で紹介したトラス梁部材は、スギのツーバイフォー製材という一般的には流通していない材料を部材として用い、比較的大規模な製造設備を有する工場でのみ生産可能な梁部材でした。秋田県のような地方のニーズに応じていくためには、一般流通材（スギの柱材、構造用合板<sup>2</sup>等）を活用した低コスト梁部材を提案し、その製造法を確立することが望まれます。そこで本章では、スギ柱材およびスギ厚物構造用合板（厚さが15mm～28mmの合板）を使用したI型梁部材（断面がI型の梁部材）、ボックスビーム梁部材（断面が箱型（ボックス型）の梁部材）を開発、スパン10100mmの試験体を試作し、曲げ強度試験による性能評価を行いました。

試作した梁部材試験体の仕様および試験体数は表1に示した通りで、Aタイプ（ボックスビーム）、Bタイプ（I型梁）、Cタイプ（ボックスビーム）の3種類の梁部材を作成しました。以下、それぞれの梁部材の仕様について説明していきます。

#### 梁部材の仕様

##### Aタイプ梁部材（ボックスビーム）

今回試作した梁部材は全て、上弦材（施工時に上側に来る軸材）・束材には断面寸法120mm×120mm、長さ4mの秋田県産スギ柱材、下弦材（施工時に下側に来る軸材）には断面寸法120mm×120mm、長さ6m



図5 JCL1 プレートによる下弦材の接合



図6 JCL3 プレートによる下弦材の接合

の秋田県産スギ集成材を用いています。これらの材料を使ってスパン10100mmを実現するには、上弦材、下弦材の縦継ぎを行う必要があるため、上弦材は腰掛継（伝統的接合法の一種）で、下弦材はビス接合型の金属プレートJCL1（厚さ6mm、幅65mm鋼板、図5）またはJCL3（厚さ6mm、幅82mm鋼板、図6）によってつなぐ仕様としました。

Aタイプ梁部材はJCL1を用いて縦継ぎした後、上弦材・下弦材の両側面に24mmのスギ合板をCN75釘（100mm間隔）で打ち付けて箱形に成型しました。その製造手順は図7に示した通りで、完成した梁部材は図8のようになります。このタイプでは、合板

表1 スギ材およびスギ合板を使用したボックスビーム・I型梁 試験体の仕様および試験体数

呼称	梁タイプ※ <sub>1</sub>	梁背mm	仕様						試験体数	
			上弦材	下弦材	面材			下弦材継手		スパン(mm)
					種類	厚さmm	方向			
A	BOX	910	秋田県産スギ製材 (E70, 4m)	秋田県産スギ集成材 (E65-F255, 6m)	国産材構造用合板 (スギ100%)	24	横	JLC1	10100	3
B	IB	605				28	横	JLC3		2
C	BOX	765				15	縦	JLC3		2

※<sub>1</sub> BOX:ボックスビーム, IB:I型梁



① 縦継ぎした上弦材に束を差しつけてフレームを作成



② 接合構造用ビスを下弦材継ぎ手部に 2 本打ち込み



③ 下弦材継ぎ手の両側に JLC1 を取り付け



④ CN75 釘で 24mm 構造用合板をフレームに打ち付け



⑤ 打ち付けられた CN75 釘 (@100mm)



⑥ 片面打ち付け後回転させた状態

図 7 A タイプ梁部材の製造手順



① 上弦材・下弦材の縦継ぎ (仮止め)



② 両端に束を取り付け



③ 構造用合板 (28mm) を下弦材と束に設けたスリットに差込み



④ 上弦材を差し込み



⑤ 28mm 構造用合板の継ぎ手部分の両面から 24mm 構造用合板を角ビットビス (@150mm) で留めつけ



⑥ 完成した B タイプ梁部材試験体

図 9 B タイプ梁部材の製造手順

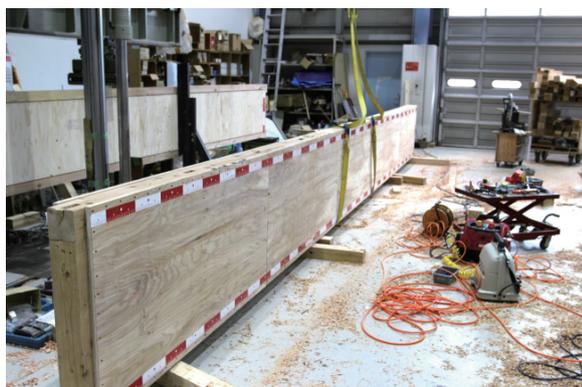


図 8 完成した A タイプ梁部材試験体

の使用歩留まりを上げるために、梁背を合板の幅にあわせて 910mm としています。さらに、構造用合板を横使いにすることで、合板を加工せずにそのまま使える仕様としています。

### B タイプ梁部材 (I 型梁).

B タイプ梁部材は上弦材の下面、下弦材の上面、両端の束材の内側に深さ 30mm、幅 30mm のスリットを設け、そこに厚さ 28mm、幅 425mm×長さ 1820mm のスギ合板を差込み、上下弦材、束材の側面から長いビスを貫通させて留めた仕様の I 型梁で、その製造手順は図 9 に示した通りとなります。このタイプでは、構造用合板の使用歩留まりを上げるた

め、スリット深さ 45mm とし、構造用合板の 1/2 カット幅 (約 453 mm) にあわせて梁背を 635mm にする予定でしたが、部材加工機械の関係でスリットの深さを 30mm にしなければならなかったため、それに合わせて合板の幅を 423mm、梁背を 605mm としました。また、A タイプと同様に構造用合板を横使いにすることで、合板を縦方向にカットせずにそのまま使える仕様となっています。

### C タイプ梁部材 (ボックスビーム).

C タイプ梁部材は上弦材、下弦材の両側面に深さ 15mm、高さ 45mm の欠きこみ加工を施し、その両面の欠きこみ部分に厚さ 15mm 幅 910×長さ 605mm のスギ合板を CN65 釘(100mm 間隔)で、縦向きに打ち付けて箱形に成型した梁部材で、その製造手順は図 10 に示した通りとなります。このタイプでは、構造用合板の使用歩留まりを上げるため、構造用合板を 3 等分にカットした高さ欠き込み寸法にあわせて梁背を 765mm としています。

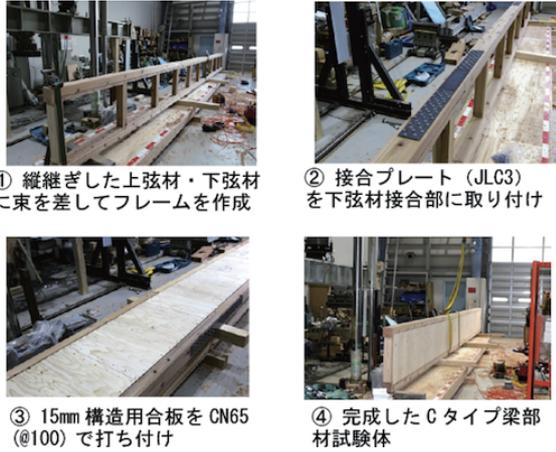


図 10 Cタイプ梁部材の製造手順



図 13 各タイプの代表的な破壊形態



図 11 曲げ強度試験の様子 (Aタイプ試験体)

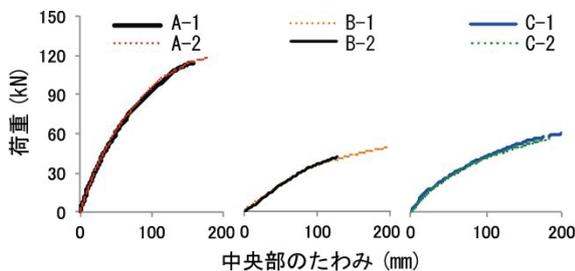


図 12 荷重-中央部たわみの関係  
(左から Aタイプ, Bタイプ, Cタイプ)

### 曲げ強度試験

作成した梁部材試験体に対し、実大曲げ強度試験機（東京衡機製 TKN1000 kN）を用い、スパン 10010mm、ロードスパン 2730mm の四点載荷方式の曲げ強度試験を行いました（図 11）。その結果（荷重-中央部たわみの関係）は図 12、各タイプの代表的な破壊形態は図 13 のようになりました。すべての梁部材試験体で当初の設計値をクリアしており、今回提案した梁部材全て、実用上十分な性能を有して

いることが明らかとなりました。ただし、AタイプおよびCタイプでは束の直下で脆性的な曲げ破壊を起こした試験体はいくつかありました。これは下弦材継ぎ手部分を強くしすぎたためと考えられ、この点については今後検討、改善していく必要があることがわかりました。

### 在来工法部材を用いた現場接着型 I 型梁

ここまで紹介した梁部材は、基本的に工場等で製造することを前提とした梁部材でしたが、これに対し、施工現場で梁部材を製造したいというニーズも考えられます。そこで本章では、現場接着型の I 型梁部材を開発し、その試験体の試作、および曲げ強度試験による性能評価を行いました。

開発した梁部材の形状と仕様は図 14 に示した通りで、上弦材、下弦材には、断面寸法 120mm×120mm、長さ 4m の秋田県産スギ正角材を、束材にも同断面寸法の秋田県産スギ材を使用し、面材に厚さ 24mm の針葉樹構造用合板を使用しています。その製造手順は図 15 に示した通りで、上弦材、下弦材および束材に施した深さ 20mm、幅 28mm のスリットに、湿気硬化型、発泡性ウレタン接着剤（ペンギンセメント 930（サンスター技研））を塗布（③）した後、合板を差し込んで I 型に成型しました（④～⑦）。ただし、そのままでは接着剤が発泡して上弦材が浮き上がってしまうので、接着剤が硬化するまで留め器具

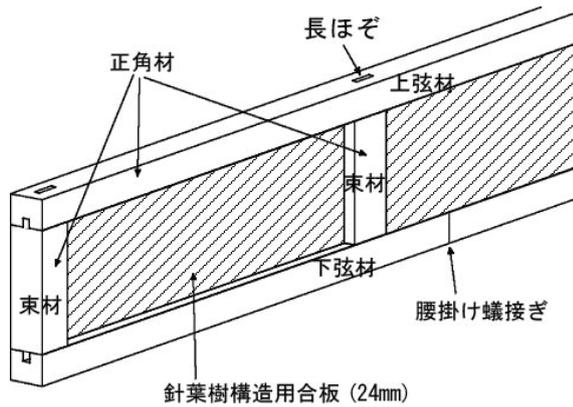


図 14 現場接着型 I 型梁部材

表 2 試作した現場接着型 I 型梁部材の種類と試験条件

タイプ	合板の高さ (mm)	スパン (mm)	ロードスパン (mm)
303	263	8190	2000
455	415	8190	2000
606 (9)	566	9100	2000
606 (10)	566	10010	2000
909	869	10010	2000

を使い上下からボルトで圧縮しました (⑧)。また、今回の実験は冬に行ったため環境温度が低く、そのままだと接着剤の硬化に時間がかかるため、断熱ボックスの中で加温して 1 週間程度養生しました (⑨)。また、この梁部材も、上弦材、下弦材とも縦継ぎ接合を行う必要があるため、腰掛け蟻接ぎ (伝統的接合法の一種) で接合し (①)、両側面にビス留めタイプのホールダウンプレート AF5010 (タナカ製 許容耐力 10kN) を取り付け補強しています (10)。

様々な使用条件を想定して表 2 に示した 5 種類の現場接着型 I 型梁部材 (各 3 体) を試作、実大曲げ強度試験機 (東京衡機製 TKN1000 kN) を用い、それぞれ表 15 に示した条件にしたがい四点荷方式の曲げ強度試験を行いました (図 16)。その結果 (荷重-中央部たわみの関係) は図 17、おもな破壊形態は図 18 に示したようになりました。

303 タイプは、試作時点ではまだ接着剤の適正な塗布量、接着後の圧縮方法等が確立されていなかったために、接着が不十分で強度が著しく低くなってしまいました。455 タイプではその点は改善したも



図 15 現場接着型 I 型梁部材の作成手順



図 16 現場接着型 I 型梁部材 曲げ強度試験の様子

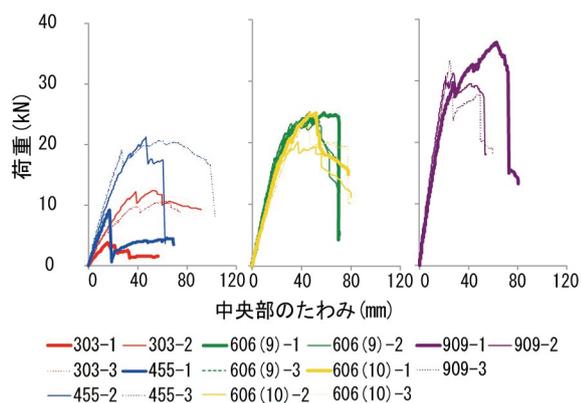


図 17 現場接着型 I 型梁部材試験体 荷重-中央部のたわみの関係



下弦材継ぎ手部の破壊 (455-3)  
— 接着不良により下弦材スリットと合板の間にずれが発生



下弦材継ぎ手部 ホールダウンプレートの破断 (606(9)-1)



下弦材継ぎ手部分から合板が割裂し、最後は曲げのような破壊 (909-2)



下弦材継ぎ手部分 下弦材の欠けにより生じた合板との隙間による接着不良 (909-3)

図 18 現場接着型 I 型梁部材試験体 破壊形態

の、接着剤の塗布方法に問題があり接着ムラがあったため、下弦材と合板の接着部分破壊してしまいました。そこで、それ以後の 606(9), 606(10), 909 タイプでは、接着剤カートリッジの先端を二股にして、溝の側面に均一に接着剤を塗布できるように改良したところ、安定して当初の設計値をクリアする結果が得られるようになりました。これらの結果から、接着剤の塗布・圧縮・温度管理等の施工管理を徹底すれば、ここで提案した現場接着型 I 型梁部材も実用上十分な性能を有していることが明らかとなりました。

### まとめ

スギ材を用いた低コスト梁部材の供給を目的とし

て、3 種類の梁部材を提案し、その評価試験を行いました。その結果、いずれもの梁部材も、いくつかの課題はあるものの実用上十分な強度性能を有していることが明らかになりました。しかしコスト面ではまだまだ改善の余地があり、開発したスギ長尺スパン梁部材を一般企業等への普及を進めていくながら、製造条件等の見直しを行っていく必要があります。そういった観点から、研究期間中および終了後、様々な普及活動を行ってきました (下記)。

- ① 事業報告書「スギ長尺スパン梁部材の開発」およびその簡易版 (パンフレット) を作成し、県内企業等に配布 (2015/3~)。
- ② 建築設計者向けの資料として別添の“秋田県産スギ 2×4 材による木造トラス設計資料 「コネック」トラス”, 「充腹梁設計資料」を作成 (2015/3)
- ③ 秋田スギを活用した 2×4 トラス梁の実大曲げ試験公開実験 (2014/7/17)
- ④ 平成 27 年度の木材応用講座「スギ長尺スパン梁の製造とその強度性能」(2015/11/17, 2015/11/24, 2015/12/1) で、スギ材およびスギ合板を使用したボックスビーム・I 型梁部材の製造・曲げ強度試験を実施
- ⑤ 平成 27 年度秋田県立木材高度加工研究所講演会 (2016/2/9)

今後も引き続き、残された課題に取り組んでいくとともに普及および低コスト化を目指した活動を行っていく予定です。

### 謝辞

本研究は、秋田県・2013 年度地域材利用開発事業の一環として行われました。試験体の設計にあたっては、三井ホームコンポーネント株式会社松尾和午氏、福山弘構造デザイン福山弘氏にご協力頂きました。またスギ材およびスギ合板を使用したボックスビーム・I 型梁部材、現場接着型 I 型梁部材の試験は (公財) 秋田県木材加工推進機構にて行いました。また、試験の実施にあたっては建築環境システム学科 (当時) 川上正敬君をはじめ学生諸氏にご協力い

ただきました。関係各位に深く感謝申し上げます。

## 文献

- 後藤崇志, 中山茂生 (2013). 「県産材を利用した中大スパンに対応する梁トラスの開発」『平成 24 年度島根県中山間地域研究センター業務報告』 51-52.
- 井上正文, 清水武, 沖林聡, 田中圭, 後藤泰男 (1999). 「木造住宅におけるバリアフリー空間確保のための木製合成梁の開発」『構造工学論文集』 45B 463-470.
- 板垣直行, 釜田恵理菜, 岡崎泰男 (2015). 「秋田スギを活用したコンビニエンスストア店舗の開発」『秋田県立大学ウェブジャーナル A』 3 1-7.
- 大橋 義徳, 戸田 正彦, 藤原 拓哉, 佐藤 司, 平井 卓郎 (2008). 「道産材を用いた木質 I 形梁の力学特性 (第 1 報)」『木材学会誌』 54(1) 24-32.
- 田畑衛, 吉田孝久, 今井信, 山内仁人, 柴田直明 (2015). 「応用型接着重ね梁の開発」『長野県林業総合センター研究報告』 29 123-125.
- 吉田孝久, 伊東嘉文, 橋爪丈夫 (2005). 「カラマツ接着重ね梁の製造と曲げ強度性能」『木材工業』 60(2) 65-69

## 注

### <sup>1</sup> 大断面集成材

「集成材」とは、ラミナと呼ばれる木の板を接着剤で集成接着して作られた材料のこと。寸法、断面積によって大断面、中断面、小断面に分類される。

### <sup>2</sup> 構造用合板

「合板」は一般的には「ベニア板」と呼ばれる材料の正式名称。そのうち建築の構造用として使われるものが「構造用合板」。

〔平成 28 年 11 月 30 日受付  
平成 28 年 12 月 22 日受理〕

## Development of Long-span Beams using Akita Sugi

---

Yasuo Okazaki<sup>1</sup>, Naoyuki Itagaki<sup>2</sup>, Noboru Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

<sup>2</sup> *Department of Architecture and Environment Systems, Faculty of Systems and Technology, Akita Prefectural University*

In 2010, the Japanese government established the Act on the Promotion of the Utilization of Wood in Public Buildings. Subsequently, the use of large-scale or medium-sized wooden buildings has increased. Such wooden buildings require long-span beams (6–12 m). In the case of Sugi, main timber resources in Akita Prefecture are used as members, and large dimension timbers are necessary; therefore the cost increases. To overcome this problem and expand wooden buildings using Sugi, it is necessary to develop and supply low-cost long-span beams. Accordingly, we developed 1) a truss beam using Sugi dimension lumber, 2) a box beam and I-beam using Sugi lumber and Sugi plywood, and 3) an I-beam by on-site bonding. We then manufactured test specimens and conducted performance evaluation tests. Here we introduce the manufacturing procedures and test results of these long-span beams.

**Keywords:** large-scale or medium-sized wooden building, long-span, Sugi, truss beam, I-beam, box-beam