

地域産材を利用した異樹種積層材の製造と性能評価

柴 和宏*, 中谷 浩*, 鷺岡 雅*

Production and Performance Evaluation of Glulam Composed of Two Different Wood Species in Toyama Prefecture

Kazuhiro SHIBA*, Hiroshi NAKATANI*, Tadasu SAGIOKA*

地域産材（県産スギとシベリア産カラマツ，以下カラマツ）による異樹種積層材の実大強度性能と接着耐久性について検討した。合わせてJAS規格によるスギ集成材を製造し，異樹種積層材の効果を確認した。結果は以下のとおりである。

- 1) JAS規格によるスギ集成材ではE85クラスまでが限度であるのに対し，シベリア産カラマツとスギによる異樹種積層材は，曲げ剛性が向上し，E120クラスまで製造が可能であり，強度的な信頼性も確認された。
- 2) JAS規格外の低等級スギラミナ（L40，30）を使用しても，最外層にカラマツを配することでE95クラスの曲げ剛性に優れた異樹種積層材の製造が可能であった。
- 3) 異樹種積層材は，めりこみ強さにおいて最外層カラマツラミナの効果が現われたが，めりこみ剛性では内層ラミナの影響が大きいため，カラマツの効果は現われなかった。
- 4) カラマツスギの接着耐久性は，スギ同士のものと同程度であり，特に顕著な劣化はみられなかった。

1. はじめに

現在，富山県内の木造住宅建築において，横架材には主としてベイマツ，シベリア産カラマツが使用されておりスギの使用量は極めて少ない。県内では今後，スギ供給量の増大が予想されており，横架材など建築構造材への用途拡大が期待されている。しかし，スギ材はベイマツ等に比べてヤング係数が低く，横架材としての適性は低い。

本研究では，スギ材の構造材としての利用拡大を図るため，最外層に高強度なカラマツを配したスギ・カラマツによる異樹種積層材を製造し，その実大強度性能と異樹種接着で問題とされている接着層耐久性について検討した。

2. 実験方法

2.1 積層材の製造

2.1.1 ラミナの調製

県産スギ中径丸太から製材したスギラミナおよびカラマツラミナ（厚さ35mm×幅175mm×長さ約400cm）を人工乾燥し，含水率12%以下に調整した。また，その前後においてラミナの材質を測定した。

2.1.2 ラミナ構成

ラミナの構成は，異等級対称7層構成（図-1）とした。なお，異樹種積層材の曲げ強度の目標値は，等価断面法により積層材の曲げヤング係数を算出し，それをもとにJAS規格を参考に設定した。

2.1.3 ラミナの集成化

積層材（仕上げ寸法：15×21×410cm）の製造は，

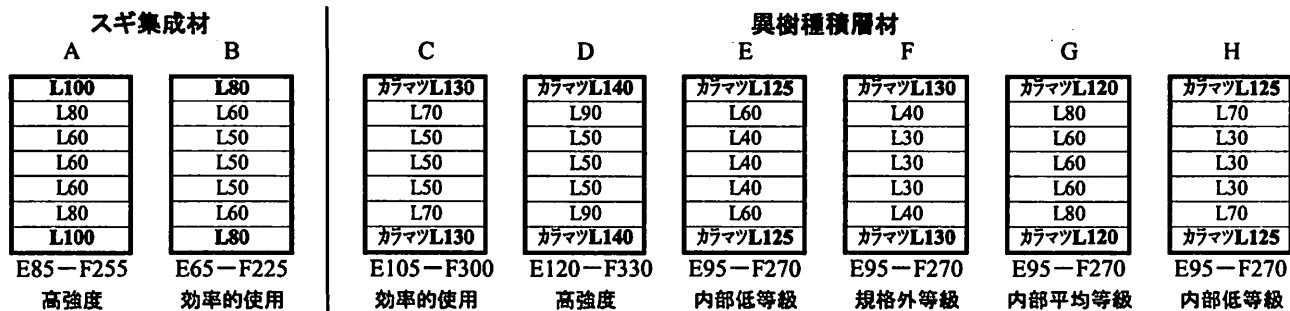


図-1 各積層材のラミナ構成

集成材メーカー（小池木材（株）草島工場）において実施した。初めに、グレーディングマシン（飯田工業（株）MGFE-251型）により供試ラミナの平均曲げヤング係数（E）を測定し、等級区分を行った。

次に、節等の欠点を除去した後、垂直型フィンガージョイント（以下F J）で縦継ぎした。接着剤は、スギラミナにはレゾルシノール系樹脂接着剤（大鹿振興（株）DF-1000）を、カラマツラミナにはレゾルシノール系樹脂接着剤（大鹿振興（株）D-40）を使用した。コンポーザのクランプ圧、圧縮圧は、スギ；30、20kgf/cm²、カラマツ；50、40kgf/cm²とした。

F J加工したラミナを1週間養生した後、鉋がけを行い、レゾルシノール系樹脂接着剤（大鹿振興（株）D-300）を用い、積層接着を行った。積層接着条件は、塗布量325g/m²、圧縮圧10kgf/cm²、圧縮時間24時間とした。なお、積層材の最外層には中央付近にF Jを有したラミナを用いた。

2.2 積層材の性能評価

2.2.1 実大曲げ試験

曲げ試験は、構造用集成材JASに規定された4点荷重法により、スパン378cm、荷重点間距離84cm、

荷重速度10mm/minで行った。なお、各試験体の最外層ラミナ（引張、圧縮側とも）のF Jは、荷重点間に入るように設置し、試験を行った。

2.2.2 めりこみ試験

試験体は、曲げ試験後の積層材から破壊の影響や節等欠点のない部分から採取した。めりこみ試験は、「構造用木材の強度試験法」（（社）住宅・木材技術センター）に準拠した。

2.2.3 接着耐久性試験

実大材とは別途に、スギ、カラマツラミナによりスギースギ、カラマツ-カラマツ、カラマツ-スギの3種類の組み合わせで製造した2層の積層材からJASに規定された大きさのブロックせん断試験片を作製し、これに減圧加圧処理（635mmHg減圧：5分間、5.2kgf加圧：1時間）を最大10回繰り返した後、せん断試験を実施した。

3. 結果と考察

3.1 供試スギ丸太の性状

供試スギ丸太38本の性状を表-1に示す。富山県が実施した県産スギ性状調査の結果¹⁾と比較すると、真円度はやや低く、曲がりはやや大きかったものの、平均年輪幅は同等であり、供試したスギ丸太は平均

表-1 供試スギ丸太の性状

	末口径 (cm)	真円度(元口) (%)	細り率 (cm/cm)	曲がり率 (%)	平均年輪幅 (mm)	動的ヤング係数 (10 ³ kgf/cm ²)
平均値	27.4	91.5	0.013	11.0	4.2	73.1
最大値	37.0	98.7	0.026	24.0	6.0	110.6
最小値	21.0	58.6	0.004	3.7	2.6	40.8
標準偏差	3.2	7.6	0.005	4.9	0.8	13.1
変動係数	11.6	8.3	37.6	44.0	19.1	18.0

表-2 スギラミナの性状(乾燥後)

n=40	含水率 (%)	曲がり (mm)	縦ぞり (mm)	比重
平均値	10.9	6.5	10.2	0.39
最大値	15.0	27	51	0.50
最小値	7.3	0	0	0.31
標準偏差	1.8	4.7	8.4	0.04
変動係数	16.2	72.3	82.6	9.2

表-3 カラマツラミナの性状(乾燥後)

n=200	含水率 (%)	曲がり (mm)	縦ぞり (mm)	幅ぞり (mm)	ねじれ (mm)	比重
平均値	9.2	5.2	7.5	1.5	6.5	0.64
最大値	16.0	12	18	2.5	30	0.74
最小値	5.3	2	2	0.4	0	0.56
標準偏差	2.7	2.4	4.1	0.6	7.2	0.04
変動係数	28.9	46.4	54.5	37.6	110.9	6.9

的な県産スギ材であったと言える。なお、供試丸太の大半は1番玉である。

3.2 ラミナの材質

ラミナの乾燥による変形の発生量を表-2, 3に示す。スギラミナは、カラマツラミナよりも曲がり、縦ぞりが大きい傾向を示した。これは、根曲がり部位を含む丸太から採材したスギラミナでは繊維傾斜が著しく大きくなり、その状態での木材の収縮異方性が影響したものと考えられる。一方、カラマツラミナでは、曲がり、縦ぞりはスギより小さかったものの、らせん木理に起因すると思われるねじれが大きかった。また、幅ぞりも極めて大きかった。

スギについて丸太と採材ラミナの動的ヤング係数の関係を図-2に示す。両者に相関関係がみられるものの、決定係数は0.54とばらつきが大きくなっている。図-3に供試丸太内でのラミナの採材位置と動的ヤング係数の関係の1例を示す。ラミナのヤング係数は樹皮側が高く、樹心側は未成熟材を多く含むため低くなるという傾向がみられる。このことが、丸太とラミナのヤング係数の相関を低下させる要因になっていることが考えられる。

次にスギおよびカラマツラミナの曲げヤング係数の分布を図-4に示す。スギラミナは、平均 $64.5 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ を示し、JAS規格外となるL40 ($40 \leq E < 50 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$)、L30の低等級ラミナも多く出現した。一方カラマツの分布は、スギの分布に対して高い方に分布しており、平均は $127.6 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

3.3 実大曲げ性能

スギ単一集成材およびスギーカラマツ積層材の曲げ強度性能を表-4に示す。大半の試験体は、曲げヤング係数、曲げ強さとも実測値が計算値および目標値に近似しており、部材設計サイドから要求され

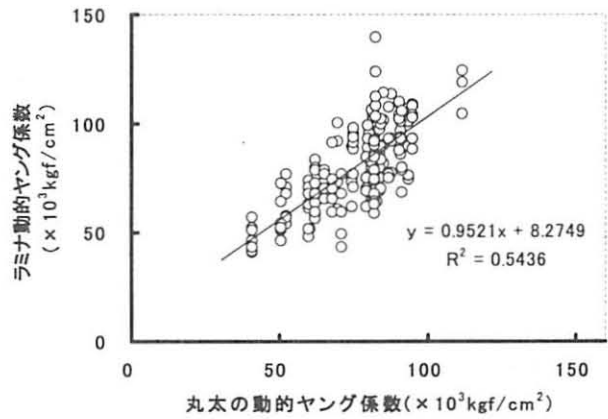


図-2 スギの丸太と乾燥ラミナの動的ヤング係数



図-3 スギ丸太内からのラミナ採材の1例

{上記の値はヤング係数を示す}
単位: 10^3 kgf/cm^2

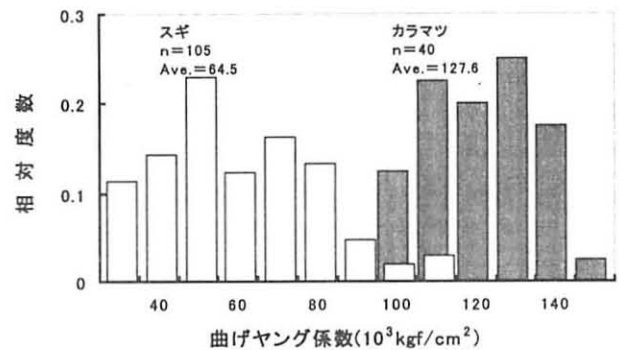


図-4 連続送り式グレーディングマシンによる各ラミナの曲げヤング係数分布

表-4 スギ集成材, 異樹種積層材の実大曲げ性能

Type-No.	比重	曲げ強さ (kgf/cm ²)	目標値 (kgf/cm ²)	実測値/目標値	曲げヤング係数 (10 ³ kgf/cm ²)	計算値 (10 ³ kgf/cm ²)	実測値/計算値	破壊形態
A-1	0.42	264	255	1.04	99.8	96.1	1.04	FJ
A-2	0.41	360	255	1.41	94.8	96.1	0.99	FJ
B-1	0.41	299	225	1.33	82.3	76.9	1.07	T
B-2	0.42	263	225	1.17	86.4	76.9	1.12	FJ
C-1	0.46	325	300	1.08	131.9	111.6	1.18	K
C-2	0.48	374	300	1.25	114.4	111.6	1.03	FJ
D-1	0.48	413	330	1.25	136.0	126.8	1.07	FJ
D-2	0.49	322	330	0.97	132.8	126.8	1.05	K
E-1	0.47	342	270	1.27	99.8	104.7	0.95	K
E-2	0.46	345	270	1.28	95.1	104.7	0.91	FJ
F-1	0.45	277	270	1.02	108.1	101.4	1.07	FJ
F-2	0.46	271	270	1.00	98.5	101.4	0.97	K, FJ
G-1	0.45	307	270	1.14	101.9	108.8	0.94	T, FJ
G-2	0.45	413	270	1.53	108.4	108.8	1.00	K
H-1	0.45	358	270	1.33	102.0	106.8	0.96	K, T
H-2	0.44	328	270	1.21	105.9	106.8	0.99	FJ, K

破壊形態：T 引張り, 目切れ, K 節, F J フィンガージョイント

る強度性能を満たす積層材を製造することが可能であると考えられる。ただし、試験体D-2では、引張側最外層に規格外の節があり、曲げ強さの低下の原因となったため、曲げ強さが目標値に達していない。A, Bタイプのスギ集成材において、利用できるラミナ等級の範囲を図-5, 6に示す。Aタイプではラミナの使用率は全体の17%に留まるが、Bタイプまでランクを下げることで使用率は72%に上昇する。以上のことから県産スギ単一での集成材では、E65クラスまでの製造がラミナを使用する上で効率が最も良く、高いランクを目指してもE85クラスが限度であるといえる。一方、異樹種構成としてカラマツを用いると、最も使用効率の良い積層材はE105クラスとなるが、高いランクを目指すE120クラスが製造可能であった。

既往の研究において、集成材の実大曲げ試験により等価断面法による計算値が実験値に良く適合することが確かめられている²⁾。本実験においては、表-4に示すとおり、曲げヤング係数の実験値/計算値は、0.91~1.18の範囲であり、平均は1.02(標準偏差0.07)を示し、等価断面法による積層材の曲げヤング係数の推定が十分に可能と考えられる。

カラマツ-スギ異樹種積層材の比重はスギ集成材より0.05程度の増加に抑えられており、比較的軽量で曲げ強度性能の高い積層材となっている。現行

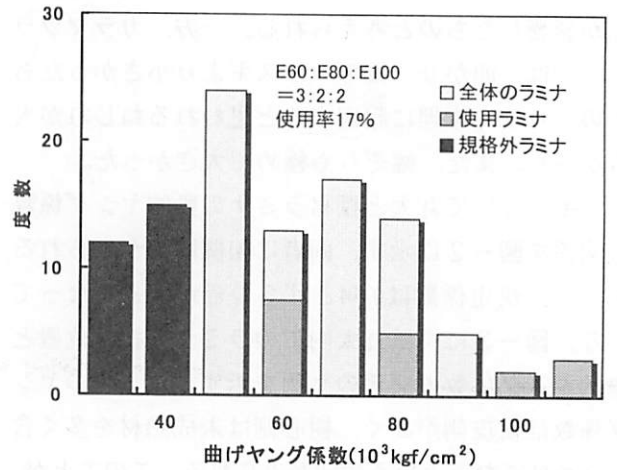


図-5 Aタイプでのスギラミナの使用率

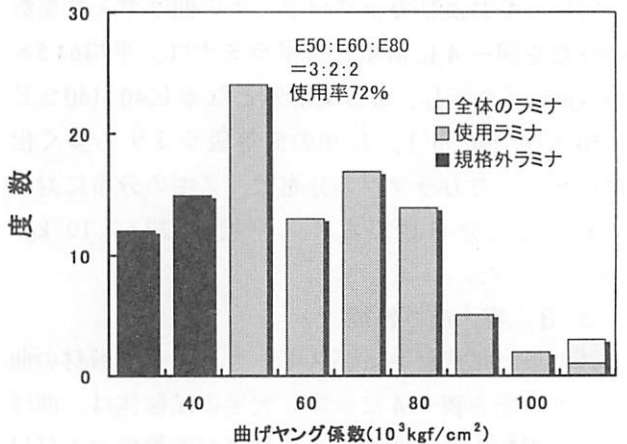


図-6 Bタイプでのスギラミナの使用率

JASでは規格外となる低ヤング係数のスギラミナ (L40, 30) を使用しても、カラマツラミナを最外層に配することでE95クラスの積層材が製造可能である。

3.4 めりこみ性能

めりこみ試験の結果を表-5に示す。めりこみ強さは、スギ集成材よりも異樹種積層材のほうが高い値を示しており、t検定において5%水準で有意差が認められた。図-7に変位とめりこみ応力との関係を示す。スギ集成材では60kgf/cm²付近から変位が著しく大きくなるのに対して、異樹種積層材では80kgf/cm²付近からとなっている。これらのことから最外層のカラマツラミナ自体のめりこみに対する硬度により、めりこみ強さが上昇することが示唆された。

図-8に内層ラミナの等級とめりこみ剛性との関係を示す。スギ集成材、異樹種積層材とも両者に相関がみられ、異樹種積層材では決定係数が0.87となり高い相関が認められた。めりこみ剛性でも最外層のカラマツラミナによる効果が期待されたが、異樹種積層材とスギ集成材との間に有意差は認められなかった。これは、材せいの圧縮変形量をめりこみ量として測定したため、最外層のカラマツよりも内層スギラミナの材質の影響が強く現れたためと考えられる。

3.5 接着耐久性能

減圧加圧処理回数とブロックせん断強さ、木破率との関係を図-9, 10に示す。ブロックせん断強さおよび木破率は、常態 (処理回数0) ではJASでの適合基準 (カラマツ, スギ: せん断強さ72, 54kgf/cm², 木破率65, 70%) をおおむね満たし、処理回数の増加に従い、低下する傾向が認められた。異樹種接着では、構成樹種の比重等材質が大きく異なるため、吸放湿に伴う膨潤収縮量だけでなく膨潤収縮速度にも差異を生じる。これにより木材と接着層の界面において複雑な応力が発生し、異樹種接着は、同樹種接着より接着耐久性が劣ることが指摘されている³⁾。しかしながら、本実験においては、カラマツ-スギ接着とスギ-スギ接着は、せん断力、木破率とも同様の傾向を示しており、本試験の範囲では異樹種の接着耐久性に特に問題が認められなかった。また、既往の研究⁴⁾で、スギと広葉樹による異樹種接着では、スギ-スギ接着よりも常態でのせん断力

表-5 スギ集成材, 異樹種積層材のめりこみ性能

No.	含水率 (%)	内層ラミナ 等級	めりこみ強さ (kgf/cm ²)	めりこみ剛性 (kgf/cm ³)
スギ集成材				
A1	11.7	60	95.2	326.3
A2	11.5	60	91.1	317.0
B1	11.5	50	94.4	280.3
B2	11.4	50	106.7	278.9
平均値	11.5		96.9	300.6
異樹種積層材				
D	12.0	50	127.5	294.9
E	12.2	40	110.8	271.2
F	12.7	30	101.2	270.4
G	11.4	60	122.9	347.9
H	11.5	30	120.7	253.8
平均値	12.0		116.6	287.6

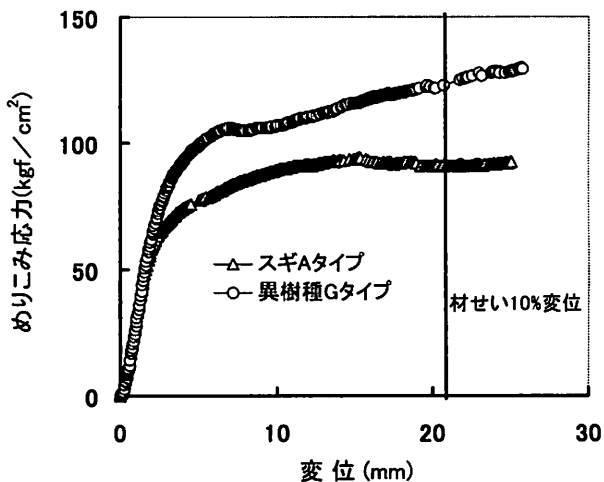


図-7 変位と応力との関係

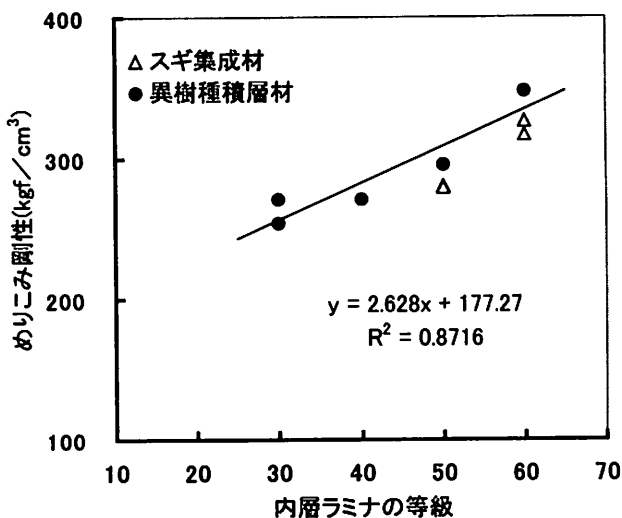


図-8 内層ラミナの等級とめりこみ剛性との関係

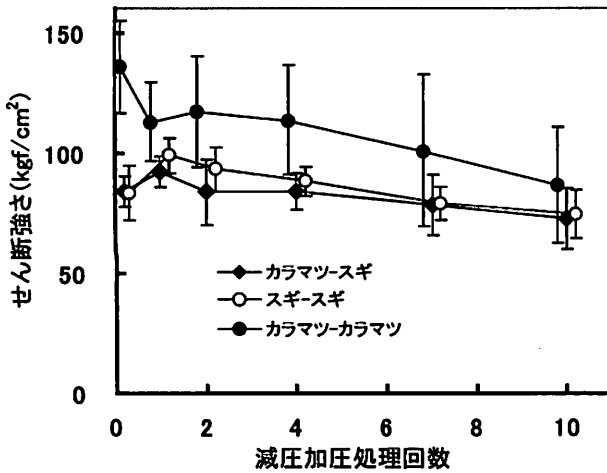


図-9 減圧加圧繰返し回数とせん断強さの関係
*縦棒は標準偏差を示す

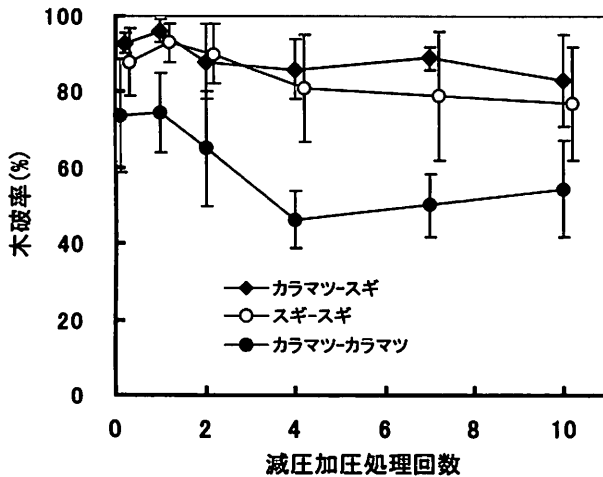


図-10 減圧加圧繰返し回数と木破率との関係
*縦棒は標準偏差を示す

が10~20%増加すると報告されているが、その傾向は見られなかった。

カラマツ-カラマツの接着は、処理回数の増加に

伴うせん断力低下の割合が大きかった。カラマツの全収縮率は接線方向で約10%⁵⁾であり、吸放湿に伴う膨潤収縮率が顕著に大きいためであると考えられる。

4. おわりに

内部にスギ、最外層にカラマツを配することにより、軽量で強度的にも優れた異樹種積層材を製造することができた。また、JAS規格外の低等級スギラミナを使用してもE95クラス異樹種積層材が製造可能であり、県産スギの構造用集成材の原料として効率的な使用が期待できる。

現在のところ、異樹種積層材はまだ市場に受け入れられていない感があるが、今後の利用普及を図るためにも、他の試験方法も含めたデータ蓄積が必要と思われる。

文 献

- 1) 富山県林政課内県産材利用促進研究会：“県産材需給実態調査報告書”，“原木の性状”，1998，pp.5-6.
- 2) 例えば，三橋博三，板垣直行ら：スギ集成材の力学的性能設計のための解析モデル（第1報），木材学会誌 42(2)，122-129（1996）.
- 3) 本谷由紀，中野隆人：異樹種積層材としての広葉樹の利用，林産試験場報 11(5)，1-12（1997）.
- 4) 長谷川智，坂井正孝，元木英生：異樹種集成材の性能評価（第1報），木材と技術 No.49，13-16（1982）.
- 5) 鷺岡雅，吉田直隆：主要北洋産樹種および県内産スギの材質特性について，木材と技術 No.11，13-15（1972）.

Summary

The production and the performance evaluation were examined on the glulam composed of sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) grown in Toyama Prefecture and larch logs imported from Russia. In addition, the glulam composed of sugi and larch were compared with the glulam produced from only sugi in JAS-regulations. The following were observed.

- 1) The Young's modulus of glulams which was produced from sugi and larch showed improved bending stiffness, and achieved the E120-F330 grade, although the glulam produced from only sugi in JAS-regulations is limited to the E85-F255 grade on bending strength.

- 2) Sugi laminae which have Young's modulus lower than $50 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ are not provided in the JAS regulations. However, If the laminae are used in the glulam composed of sugi and larch, the E95-F270 grade of glulam can be produced with the outside layers of the laminae made of larch.
- 3) In the glulams composed of sugi and larch, the outside layers of the laminae made of larch were effective on the bearing strength perpendicular to grain. But no effect was found on the bearing stiffness perpendicular to grain.
- 4) The durability of the adhesion between larch and sugi were the same as that of the adhesion between sugi and sugi. Therefore there was no remarkable deterioration in the adhesive strength between larch and sugi.