

5 . コウヨウザン材の利用特性

コウヨウザンの材質を明らかにするため、林齢がそれぞれ 22～52 年生の 4 林分(図 5-1) において立木を伐採・製材して、縦振動法による動的ヤング係数の測定や曲げ強度試験等を行いました(近藤ら 2020a、山田ほか 2017b、渡辺ほか 2017、涌嶋・渡辺 2017、涌嶋ほか 2018、渡辺ほか 2019、渡辺ほか 2021a)。

また、コウヨウザン原木の利用先を検討するため、国内産のコウヨウザン原木丸太を使用した集成材(渡辺・山本 2019)、LVL(渡辺ほか 2021b)、合板、平パレット(渡辺ほか 2020) を作製し、その際の加工特性、製品の性能について明らかにしました(図 5-2、模式図は飯島(秋田県大) を改変)。なお、LVL・合板・平パレットの原料は(国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター(茨城県日立市) の場内から同時期に伐採されたコウヨウザン原木(伐採時林齢 25 年) を使用しています。

(1) 原木・正角・平角の強度性能

4 産地のコウヨウザン原木の調査結果は表 5-1 の通りです。供試木(原木丸太) の動的ヤング係数の等級区分では広島県産、京都府産、千葉県産で E90 が最も多い一方、茨城県産では E70 が最も多くなっていました(図 5-3、 図 5-4)。これは茨城県産のものは伐採時の林齢が他産地と比較して若く、未成熟材の割合が高かったことが原因であると考えられます。



図 5-1 伐採した林分

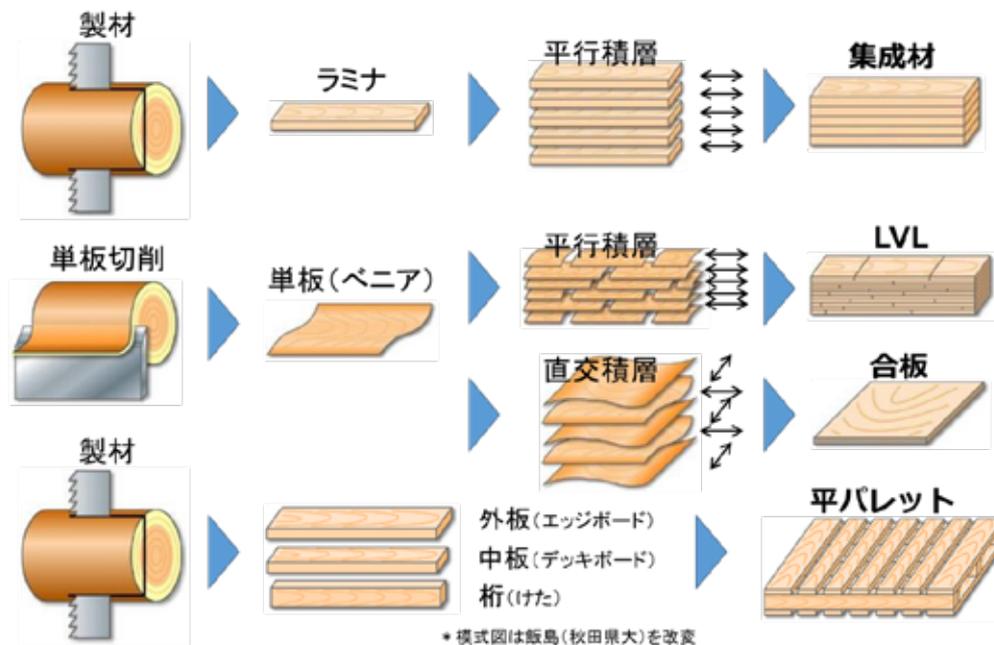


図 5-2 作製した製材品

表 5-1 供試木（原木丸太）の内訳

| 項目 | 広島県 庄原市 | 京都府 京都府 | 千葉県 鴨川市 | 茨城県 日立市 |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 伐採時林齢(年) | 52 | 47 | 34 | 22 |
| 調査丸太本数(本) | 34 | 30 | 20 | 50 |
| 平均末口径(cm) | 33.9 | 30.4 | 25.3 | 22.3 |
| 平均材積(m ³) | 0.44 | 0.34 | 0.25 | 0.20 |
| 平均みかけ密度(kg/m ³) | 676 | 733 | 752 | 825 |
| 動的ヤング係数(kN/mm ²) | 9.37 | 9.97 | 8.99 | 7.43 |



原木丸太の動的ヤング係数の測定



製材品の動的ヤング係数の測定

図 5-3 コウヨウザンの材質調査(動的ヤング係数)

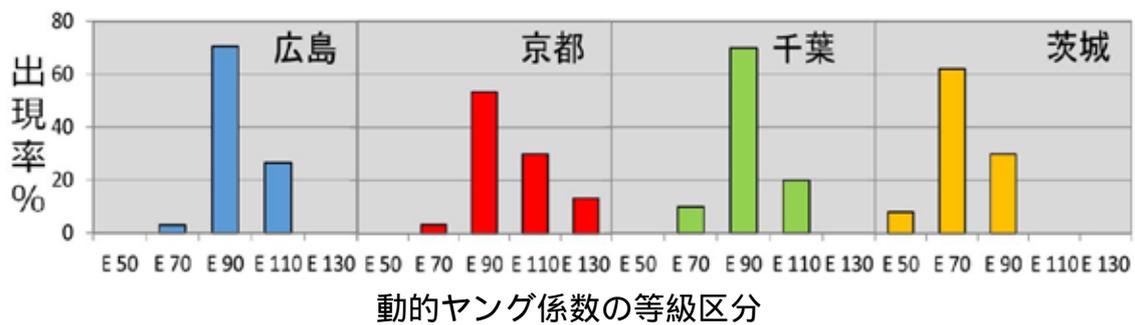


図 5-4 原木丸太の動的ヤング係数の等級区分

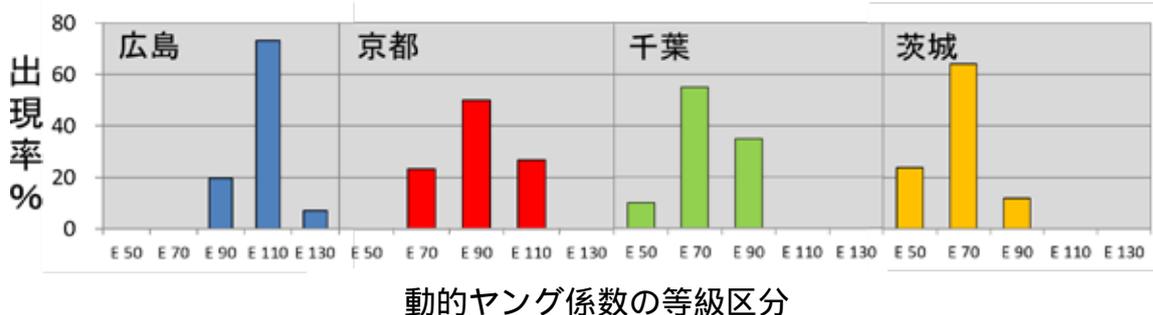


図 5-5 製材品の動的ヤング係数の等級区分

広島県産を平角材（150×105×4000mm）、京都府産を正角材（120×120×4000mm）、千葉県産を正角材（120×120×4000mm）、茨城県産を正角材（105×105×4000mm）に製材し、動的ヤング係数を測定したところ、等級区分では広島県産でE110、京都府産でE90、千葉県産、茨城県産でE70が最も多くなっていました（図5-5）。広島県産で原木時の動的ヤング係数より高い製材品が多く出現し、他3産地で低い製材品が多く出現した理由としては、製材時の木取の違い（広島県産のみ心去りの平角2丁取り、他3産地は心持ち正角）が考えられます。

正角・平角の曲げ、縦圧縮、せん断、めり込み試験（図5-6）を行った結果を表5-2に示します。スギ、ヒノキの曲げ基準強度はそれぞれ22.2N/mm²、26.7N/mm²ですが、これをコウヨウザンの曲げ強度の5%下限値（基準強度に相当する値）と比較すると、広島県産でヒノキを上回り、京都府産、千葉県産、茨城県産でスギをやや下回っていました。一方、見かけの曲げヤング係数の5%下限値については、普通構造材の基準弾性係数E_{0.05}と比較すると、広島県産、京都府産がヒノキを上回り、千葉県産、茨城県産がスギとヒノキの中間の値を示しました。また、縦圧縮強度の5%下限値は広島県産でヒノキを上回り、京都府産でスギとヒノキの中間、千葉県産、茨城県産でスギを下回りました。めり込み強度は全産地でスギを下回るという結果でした。

これらの結果から、コウヨウザンの材は、建築用材として十分に利用可能であることが分かりました。ただし、めり込み強度が低い結果となったので、利用の際には注意が必要です。

また、産地や系統、施業、伐採樹齢、木取りなどの違いが材の強度やヤング係数に影響している可能性があるかと推察されます。



曲げ試験

圧縮試験

めり込み試験

イス型せん断試験

図 5-6 製材の強度試験

表 5-2 製材品の強度試験結果

| 測定項目 | 単位 | 産地 | 試験体 | 試験体数 | 平均含水率 | 平均値 ±標準偏差 | 5% 下限値 | 基準強度 | |
|------------------|--------------------|-----|-----|------|-------|--------------|-----------|------|------|
| | | | | | | | | スギ | ヒノキ |
| 曲げ強度 | N/mm ² | 広島県 | 平角 | 43 | 18.6% | 41.5 ± 6.6 | 29.5 | 22.2 | 26.7 |
| | | 京都府 | 正角 | 29 | 20.8% | 31.7 ± 6.6 | 20.9 | | |
| | | 千葉県 | 正角 | 30 | 18.0% | 27.1 ± 4.5 | 18.4 | | |
| | | 茨城県 | 正角 | 42 | 37.4% | 23.3 ± 4.1 | 16.6 | | |
| 見かけの曲げヤング係数 | kN/mm ² | 広島県 | 平角 | 43 | 18.6% | 9.69 ± 0.81 | 8.21 | 4.5 | 6.0 |
| | | 京都府 | 正角 | 29 | 20.8% | 8.27 ± 1.14 | 6.31 | | |
| | | 千葉県 | 正角 | 30 | 18.0% | 7.04 ± 0.88 | 5.39 | | |
| | | 茨城県 | 正角 | 42 | 37.4% | 6.34 ± 0.83 | 4.83 | | |
| 縦圧縮強度 | N/mm ² | 広島県 | 平角 | 43 | 15.2% | 25.2 ± 2.3 | 21.3 | 17.7 | 20.7 |
| | | 京都府 | 正角 | 29 | 14.0% | 25.4 ± 2.9 | 20.5 | | |
| | | 千葉県 | 正角 | 20 | 14.8% | 23.2 ± 3.1 | 17.4 | | |
| | | 茨城県 | 正角 | 43 | 17.5% | 16.0 ± 2.0 | 12.4 | | |
| めり込み強度 (材中央部) | N/mm ² | 広島県 | 平角 | 22 | 15.2% | 5.45 ± 0.80 | 4.12 | 6.0 | 7.8 |
| | | 京都府 | 正角 | 29 | 14.0% | 5.75 ± 1.11 | 3.99 | | |
| | | 千葉県 | 正角 | 16 | 14.7% | 5.25 ± 0.76 | 3.74 | | |
| | | 茨城県 | 正角 | 39 | 18.2% | 4.24 ± 0.79 | 3.05 | | |
| せん断強度 (実大イス型) | N/mm ² | 広島県 | 平角 | 40 | 15.6% | 4.02 ± 0.70 | 2.82 | / | / |
| | | 京都府 | 正角 | 30 | 13.4% | 4.22 ± 1.14 | 2.09 | | |
| | | 千葉県 | 正角 | 20 | 13.4% | 4.88 ± 1.22 | 2.85 | | |
| | | 茨城県 | 正角 | 42 | 12.3% | 5.62 ± 0.98 | 3.83 | | |

スギ、ヒノキ基準強度 曲げ強度、縦圧縮強度は建設省告示第 1452 号第 6 の無等級材基準強度に基づく。

見かけの曲げヤング係数は日本建築学会木質構造設計基準普通構造材の繊維方向特性値の基準弾性係数 E0.05。

材中間部めり込み強度は国土交通省告示第 1024 号第 1 第 2 号ロ(3)に規定するめり込みに対する基準強度 F_{cv}に基づく。

(2) 集成材の強度性能

集成材の作製のため、京都府立大学大枝演習林（伐採時林齢 47 年生）で採取した原木丸太（長さ 4000mm、平均密度 732.8 kg/m³、n=30）より、心持ちの正角（120×120mm）を、採った残りの部分から、ラミナ（4000×125×35mm、平均密度 358.1 kg/m³、n=160）を製材しました。製材したラミナは、縦振動法による動的ヤング係数の測定を行い、各等級区分に仕分けしたのちに、厚さ 30mm に仕上げ、全体が 5 層でラミナの構成が同一等級の集成材（4000×120×150mm）を 3 種類（L90・L110・L125）作製しました。使用した接着剤は、株式会社オーシカ製ディアノール D-320（レゾルシノール系接着剤）で、コールドプレスにより接着しています。

強度試験は、曲げ試験と縦圧縮試験を実施しました（図 5-7）。それぞれの試験時に、試験体の接着層が剥がれるといった接着不良による破壊はみられませんでした。結果については表 5-3 と表 5-4 の通りで、それぞれ使用したラミナの強度区分に応じた強度の違いの基本的データを示すことができました。また、コウヨウザン材でも従来と同じ方法で集成材を作製できることを確認しました。



曲げ試験



縦圧縮試験

図 5-7 集成材の強度試験

表 5-3 集成材の曲げ試験結果

| 試験体の構成ラミナ | 項目 | 密度 kg/m ³ | 見かけ 曲げヤング係数 kN/mm ² | 真 曲げヤング係数 kN/mm ² | 曲げ強度 N/mm ² | 含水率 % |
|-----------|-------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------|
| L90 | 平均値 | 337 | 8.62 | 9.43 | 37.1 | 12.1 |
| | 標準偏差 | 15.85 | 0.12 | 1.03 | 6.89 | |
| | 変動係数% | 4.7 | 1.4 | 11.0 | 18.6 | |
| L110 | 平均値 | 363 | 10.32 | 12.06 | 53.2 | 11.8 |
| | 標準偏差 | 6.89 | 0.08 | 0.49 | 6.02 | |
| | 変動係数% | 1.9 | 0.7 | 4.1 | 11.3 | |
| L125 | 平均値 | 406 | 12.18 | 13.85 | 64.5 | 11.7 |
| | 標準偏差 | 10.67 | 0.13 | 0.33 | 7.45 | |
| | 変動係数% | 2.6 | 1.1 | 2.4 | 11.6 | |

表 5-4 集成材の縦圧縮試験結果

| 試験体の構成ラミナ | 項目 | 密度 kg/m ³ | 縦圧縮 ヤング係数 kN/mm ² | 縦圧縮 強度 N/mm ² | 含水率 % |
|-----------|-------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------|
| L90 | 平均値 | 340 | 9.26 | 30.3 | 12.1 |
| | 標準偏差 | 12.95 | 0.50 | 1.39 | |
| | 変動係数% | 3.8 | 5.4 | 4.6 | |
| L110 | 平均値 | 363 | 12.09 | 35.1 | 11.8 |
| | 標準偏差 | 4.28 | 0.62 | 1.88 | |
| | 変動係数% | 1.2 | 5.1 | 5.3 | |
| L125 | 平均値 | 412 | 13.28 | 40.0 | 11.6 |
| | 標準偏差 | 4.09 | 0.73 | 2.08 | |
| | 変動係数% | 1.0 | 5.5 | 5.2 | |

(3) LVL の強度性能

LVL は、林木育種センターで採取した原木丸太（長さ 4000mm、平均密度 693.9 kg/m³、n=10）から作製しました。単板を、超音波伝播時間による曲げヤング係数の推定により“弱（曲げヤング係数：7 kN/mm² 未満）”、“中（曲げヤング係数：7 kN/mm² 以上 9 kN/mm² 未満）”、“強（曲げヤング係数：9 kN/mm² 以上）”と仕分けして、3 水準の LVL を作製しました。作製し

た LVL の寸法は、材長 2700mm、幅 90mm、厚さ 45mm で平均密度 388.5 kg/m³ でした。

強度試験は、曲げ試験と縦圧縮試験、めり込み試験、水平せん断試験(図 5-8)を実施しました。こちらも集成材の時と同様で、それぞれの試験時に、試験体の接着層が剥がれるといった接着不良による破壊はみられませんでした。結果については表 5-5、5-6、5-7 の通りで、弱・中・強の 3 水準で分けて作製しましたが、曲げ(平・縦使い)とせん断試験(縦使い)では、構成する単板の曲げヤング係数が上がると製品の強度が高くなる傾向がみられたものの、縦圧縮試験・めり込み(平・縦使い)・水平せん断(平使い)試験ではそのような傾向はみられませんでした。



図 5-8 LVL の強度試験

表 5-5 曲げ(平・縦使い)試験結果

| 項目 | 曲げ試験(平使い) | | | | | | | 曲げ試験(縦使い) | | | | | | |
|-------|-----------------------------|------|-------|---------------------------|-------|-------|----------|-----------------------------|------|-------|---------------------------|-------|-------|----------|
| | ヤング係数 kN/mm ² | | | 曲げ強度 N/mm ² | | | 含水率 % | ヤング係数 kN/mm ² | | | 曲げ強度 N/mm ² | | | 含水率 % |
| | 単板の強度 | | | 単板の強度 | | | | 単板の強度 | | | 単板の強度 | | | |
| | 弱 | 中 | 強 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 | 弱 | 中 | 強 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 |
| n | 6 | 14 | 14 | 6 | 14 | 14 | 34 | 7 | 14 | 14 | 7 | 14 | 14 | 35 |
| 平均値 | 6.87 | 8.04 | 9.53 | 30.58 | 36.42 | 44.49 | 10.27 | 6.54 | 8.13 | 11.01 | 25.78 | 32.63 | 51.87 | 10.42 |
| 標準偏差 | 0.14 | 0.43 | 1.20 | 2.86 | 4.23 | 4.50 | 0.00 | 0.20 | 0.18 | 1.64 | 3.48 | 2.93 | 9.32 | 0.00 |
| 変動係数% | 2.05 | 5.39 | 12.56 | 9.35 | 11.61 | 10.12 | 4.09 | 3.12 | 2.24 | 14.93 | 13.51 | 8.98 | 17.97 | 3.88 |
| 5%下限値 | 6.54 | 7.17 | 7.36 | 23.90 | 28.28 | 36.06 | | 6.09 | 7.77 | 8.02 | 17.95 | 26.98 | 36.01 | |

表 5-6 縦圧縮・水平せん断(平・縦使い)試験結果

| 項目 | 縦圧縮試験 | | | | | | | せん断試験(平使い) | | | | せん断試験(縦使い) | | | |
|-------|-----------------------------|------|-------|----------------------------|-------|-------|----------|------------------------------|------|------|----------|------------------------------|------|------|----------|
| | ヤング係数 kN/mm ² | | | 縦圧縮強度 N/mm ² | | | 含水率 % | 水平せん断強度 N/mm ² | | | 含水率 % | 水平せん断強度 N/mm ² | | | 含水率 % |
| | 単板の強度 | | | 単板の強度 | | | | 単板の強度 | | | | 単板の強度 | | | |
| | 弱 | 中 | 強 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 |
| n | 7 | 14 | 14 | 7 | 14 | 14 | 35 | 7 | 13 | 14 | 35 | 7 | 14 | 14 | 35 |
| 平均値 | 7.42 | 8.95 | 11.53 | 25.87 | 29.55 | 33.21 | 10.72 | 4.40 | 4.20 | 4.36 | 10.37 | 3.65 | 4.03 | 4.55 | 10.55 |
| 標準偏差 | 0.85 | 0.84 | 1.71 | 0.49 | 1.06 | 3.41 | 0.00 | 0.35 | 0.33 | 0.32 | 0.00 | 0.36 | 0.34 | 0.17 | 0.00 |
| 変動係数% | 11.44 | 9.38 | 14.86 | 1.88 | 3.58 | 10.26 | 2.97 | 7.99 | 7.80 | 7.38 | 3.83 | 9.77 | 8.55 | 3.67 | 3.79 |
| 5%下限値 | | | | 24.77 | 27.48 | 26.83 | | 3.67 | 3.54 | 3.76 | | 2.85 | 3.34 | 4.22 | |

表 5-7 めり込み(平・縦使い)試験結果

| 項目 | めり込み試験(平使い) | | | | | | | めり込み試験(縦使い) | | | | | | |
|-------|-----------------------------|------|-------|-----------------------------|-------|-------|----------|-----------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|----------|
| | めり込み強度 N/mm ² | | | めり込み剛性 N/mm ³ | | | 含水率 % | めり込み強度 N/mm ² | | | めり込み剛性 N/mm ³ | | | 含水率 % |
| | 単板の強度 | | | 単板の強度 | | | | 単板の強度 | | | 単板の強度 | | | |
| | 弱 | 中 | 強 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 | 弱 | 中 | 強 | 弱 | 中 | 強 | 全結果 |
| n | 7 | 14 | 14 | 7 | 14 | 14 | 35 | 7 | 14 | 14 | 7 | 14 | 14 | 35 |
| 平均値 | 7.37 | 6.91 | 7.39 | 9.54 | 10.47 | 9.29 | 10.27 | 8.07 | 7.77 | 9.14 | 10.16 | 8.97 | 9.94 | 10.31 |
| 標準偏差 | 0.59 | 0.54 | 1.39 | 0.72 | 0.94 | 3.72 | 0.00 | 0.88 | 0.40 | 0.85 | 0.84 | 0.44 | 0.75 | 0.00 |
| 変動係数% | 7.97 | 7.80 | 18.77 | 7.50 | 8.96 | 40.07 | 3.83 | 10.85 | 5.16 | 9.28 | 8.30 | 4.91 | 7.57 | 3.60 |
| 5%下限値 | 6.05 | 5.91 | 5.03 | | | | | 6.34 | 6.96 | 7.44 | | | | |

(4) 合板の強度性能

合板は、林木育種センターで採取した原木丸太（長さ 4000mm、平均密度 688.0 kg/m³、n=12）から作製しました。作製した合板は、比重が 0.36 と軽いことが特徴でした。

強度試験としては、曲げ試験と曲げ剛性試験、1 類および 2 類の浸せきはく離試験を行いました（図 5-9）。こちらも集成材・LVL の時と同様で、それぞれの試験時に、試験体の接着層が剥がれるといった接着不良による破壊はみられませんでした。曲げ剛性試験では、全試験体が JAS 構造用合板 2 級の基準を満たしました。また、1 類および 2 類の浸せきはく離試験の基準も満たしていることを確認しました。



曲げ試験



曲げ剛性試験

図 5-9 合板の強度試験

(5) 平パレットの強度性能

平パレットは、林木育種センターで採取した原木丸太（長さ 4000mm、平均密度 676.2 kg/m³、n=18）から、木製平パレットのなかで最も流通量の多い T11 型（JIS Z 0601、寸法 1100×1100×144mm、両面使用形二方差し、最大積載質量 1.0t）と、2 番目に流通量の多い T14 型（JIS Z 0651:2002、寸法 1100×1400×144mm、両面使用形二方差し、最大積載質量 1.5t）を作製しました。作製した平パレットは、平均重量が軽い（T11 型 20.1kg、T14 型 25.8kg）ことが特徴でした。

強度試験としては、脚部圧縮試験と、曲げ試験下面デッキボード試験、落下試験を行いました（図 5-10）。それぞれの試験の結果は表 5-8 の通りで、若齢コウヨウザンは T14 型としては利用不可能ですが、木製平パレットのなかで最も流通量の多い T11 型としての利用が可能であることが分かりました。



脚部圧縮試験



曲げ試験



下面デッキボード試験



落下試験

図 5-10 平パレットの強度試験

表 5-8 平パレットの強度試験結果

| 試験名 | 想定積載質量/ 落下距離 | T11 型 | T14 型 |
|------------|-----------------|-------|-------|
| 脚部圧縮試験 | 1.0 t | 適合 | 適合 |
| | 1.5 t | 適合 | 適合 |
| | 2.0 t | 不適合 | 不適合 |
| 曲げ試験 | 1.0 t | 適合 | 適合 |
| | 1.5 t | 適合 | 不適合 |
| | 2.0 t | 適合 | 不適合 |
| 下面デッキボード試験 | 1.0 t | 適合 | 適合 |
| | 1.5 t | 適合 | 適合 |
| | 2.0 t | 適合 | 適合 |
| 落下試験 | 500 mm | 適合 | 適合 |
| | 1000 mm | 適合 | 適合 |
| | 1500 mm | 不適合 | 不適合 |

(6) コウヨウザンの強度性能まとめ

コウヨウザンは早生樹であることから、スギやヒノキと比べて比較的早期から多くの材積が確保できます。今回、その利用先を検討するため、若齢木（伐採時林齢 25 年）のコウヨウザンを用いて LVL・合板・平パレットを作製してそれぞれの強度性能について調査した結果、いずれの用途においても利用可能であることが確認できました。若齢木のコウヨウザンは高齢木（50 年生以上）のコウヨウザンと比較して強度は低い傾向はあるものの、比重が低い傾向があり扱いやすい特徴があるため、その用途としてはその特徴が活かせる合板（構造用 2 級）や平パレット（T11 型）が適すると考えられます。

（涌嶋・渡辺）