木材の動的弾性に関する研究（第2報）
人工空胴および人工節の影響

中山　義雄・鴛海　四郎
（農学部林産学研究室）

Studies on the Dynamic Elasticity of Wood
Part II. Effect on the artificial round hole and the artificial round knot

Yoshio NAKAYAMA and Shiro OSHIUMI
(*Laboratory of Physics of woods and Forest Products, Faculty of Agriculture*)

This paper deals with the test for rate decreased in dynamic Young's modulus by artificial round hole and artificial round knot in the transverse vibration method.

We worked the clear samples 9mm×9mm×270mm into the samples possessing of artificial round holes 3mm and 5mm in diameter and artificial round knots 3mm and 5mm in diameter.

The position and number of the artificial round holes and artificial round knots are shown in Fig. 2.

The results are summarized as follows.

1. The rate decreased in the bending moment is parpendicular to the plain on which the artificial round holes 3mm and 5mm in diameter at the center of the sample, and the one is parallel to the plain in which the artificial round holes 3mm and 5mm in diameter at the center of the sample, regarding holes with diameter in 3mm, the former rate is more than 3.7 times as higher as the latter in the same way regarding holes with diameter in 5mm, the former rate is more than 4.5 times as the latter one.

2. The rate decreated in the sampls possessing of the artificial round knots (Fig. 8) is found to be a similar tendency to the rate decreased in the sampls possessing of the artificial round holes.

3. The comparative table under several conditions of the artificial round holes and the artificial round knots is shown in Fig. 11.

1 緒　　言

木材を構造用材料として使用する場合，その力学的性質は，木材が天然有機材料であるために必然的に生ずる生育条件および採材部による差異はさけられないが，ことに節，抜節など各種の欠点の存在による影響が大である。

そこで，木材ビームに存在する節および空胴が曲げヤング率におよぼす影響を明らかにするための基礎的研究として，無欠点の試験体に人工空胴および人工節を加工し，その大きさ，位置および数について，空胴および節をもつ面に垂直に曲げモーメントを受ける場合と，その面内にうける場合との影響を比較し，動的な方法で実験を行ない検討を加えた。

2 実　　験

2．1　測定装置

装置（Fig. 1）は[1]，CR発振器，励振用増幅器，Synchroscope，電源部，前置増幅器，励振器，受振器および frequency countor で構成された本研究室製作の低周波たわみ振動測定装置を用いた。

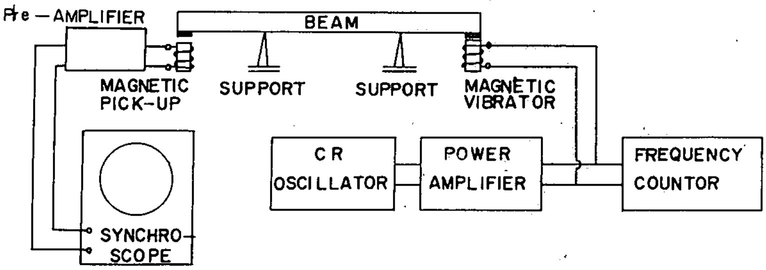

Fig. 1 Schematic diagram of the measuring appartus.

2．2　試　験　体

2．2．1　無欠点の試験体

i）樹種および産地

スギ Cryptomeria japonica D. Don

高知県馬路村魚梁瀬産天然木（ヤナセスギ）

ii）採材部位

力学的諸性質の異なる未成熟材部[2]（髄から10～15年輪）を除き成熟材部とした。

iii）採材方法

節，腐れ，割れその他のキズがなく，繊維の走行はビームの軸方向に平行な柾目木取り。

iv）含水状態

実験室内に2年間保存した気乾材

v）寸　　法

9 mm× 9 mm×270mm

厚さおよび巾は 9 mm±0.1mm，長さは270mm±0.5mm にかんな仕上げした。

2．2．2　空胴および人工節を加工した試験体

i）上記の試験体を用いて，天然の抜節および節を想定し，空胴および人工節を試験体の板目面に加工した。

ii）人工節材

人工節は，あらかじめ天然節の比重を測定し，その比重に近似させるため，比重 1.2 の不飽和ポリエステル樹脂（エポラックG－155B）を採用し，これを24時間室温で硬化させたのち，85

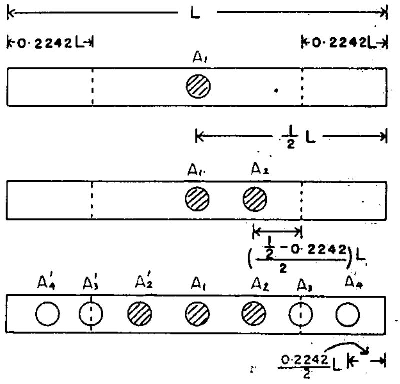

Fig. 2 Position of artificial round hole and artificial round knot of beam.

°Cで3時間加熱硬化させて，円柱状に成型し，人工節とした。

これを空胴に挿入し，速乾性接着剤で接着して人工節材とした。

iii）空胴および人工節の径は 5 mm および 3 mm の2種

iv ）空胴および人工節の位置はビームの中央（A_1），および A_1 と node の中央（A_2，A'_2）node（A_3，A_3'），node とビーム端との中央（A_4，A_4'）（Fig. 2）

2．3　方　　法

両端自由梁の低周波たわみ振動方法を採用した。

ヤング率の測定にあたって，長さ（l）/厚さ（h）が小さくなると，すなわち thick beam となれば，ここで用いる thin beam の理論にせん断力，回転慣性などの影響をとり入れなければならない。

このことについては， Timoshenco にはじまる一連の研究があり， 修正項を加えることによって thick beam の近似理論ともいえるものを導き出し，これに対し，樋口[3] は thick frees beam の横振動の振動数を理論的に求めている。

これらは，ともに等方性材料について弾性理論から導き出されたものであり，木材のような異方性材料については，そのまま適用できないであろう。

そこで，松本[4] は，実験から $l/h \geqq 15$ であればせん断力を考慮しなくともヤング率の値に差異がないことを確かめ，また筆者[5] の実験でも同様の結果を得ているので，せん断力，回転慣性の影響を受けずにヤング率の測定をするために，l/h を充分に大きくとり $l/h=30$ として，次式のたわみ振動方程式からヤング率を算出した。

$$f=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{m^2}{2\sqrt{3}}\cdot\frac{h}{l^2}\cdot\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

ここに

f＝共振振動数（c/s）

m＝常数（1次共振の場合4.730）

h＝試験体の断面の振動方向の厚さ（cm）

l＝試験体の長さ（cm）

E＝試験体の動的ヤング率（dyn/cm^2）

ρ＝密度（g/cm^3）

この際，人工空胴材および人工節材の比重は

$$\rho_h=\frac{W_h}{b\cdot h\cdot l}\qquad \rho_k=\frac{W_k}{b\cdot h\cdot l}$$

より比重を算出した。

ここに

ρ_h＝人工空胴材のみかけの比重

ρ_k＝人工節材のみかけの比重

W_h＝人工空胴材の重量（g）

W_k＝人工節材の重量（g）

b＝ビームの巾（cm）

h＝ビームの厚さ（cm）

l＝ビームの長さ（cm）

なお，試験体の固体差にもとづくバラツキをさけるために，無欠点の試験体のヤング率の測定を

行なったのち，その試験体に人工空胴および人工節を加工して測定することとした。

無欠点材の半径方向に曲げモーメントを受ける場合と人工空胴，人工節をもつ面に垂直に曲げモーメントを受ける場合（面外曲げ）の測定は，電磁的に励振・受振させるために試験体の両端下面に貼付するパーマロイ薄片を，木材ビームの板目面に貼付して測定した。この試験体を用いて無欠点材の半径方向に曲げモーメントを受ける場合と人工空胴，人工節をもつ面内に曲げモーメントを受ける場合（面内曲げ）については，このパーマロイ薄片を木材ビームの柾目面に貼り替えて測定した。（Fig. 3）

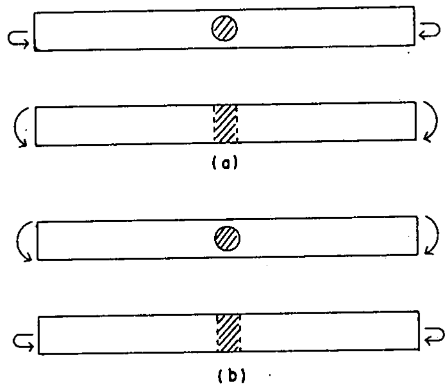

Fig. 3　Direction of bending moment.

（a）　The direction of the bending moment is parpendiculer to the plain on which the artifical round hole or artificial round knot.

（b）　The direction of the bending moment is parallel to the plain on which the artificial round hole or artificial round knot.

3　結果と考察

3．1　木材ビームの半径方向（板目面荷重）と接線方向（柾目面荷重）の動的ヤング率の関係

木材は，その組織，構造から，一般に直交異方性体として取り扱かわれ，その力学的性質は横断面，半径面および接線面の3面で代表できる。

この報告の人工空胴および人工節は，前述のとおり天然の抜節および節を想定して木材の板目面に加工したので，空胴および節の存在する面に面外曲げモーメントを加える場合は，このビームの接線方向のヤング率を測定することとなる。空胴および節の存在する面に面内曲げモーメントを加える場合は，半径方向のヤング率を測定することとなる。

そこで，人工空胴および人工節を加工する前の，無欠点試験体の半径方向と接線方向の動的ヤング率の関係を示したのが Fig. 4 である。

両者の間には，高い有意水準で正の相関関係が認められ，接線方向は半径方向より平均5％高い値を示した。

これは，材料力学において異質の層の重なり合いからなるビームに曲げ荷重を加える場合，これらの層に平行方向に負荷した方が，直角方向に負荷した場合よりも，たわみが小さいことが認められているように，木材を巨視的にみれば，弾性率の異なる春材および秋材の層が交互に重なり合った構造となっているので，これが主な原因であろう。

また，放射組織の存在も影響していると考えられている。

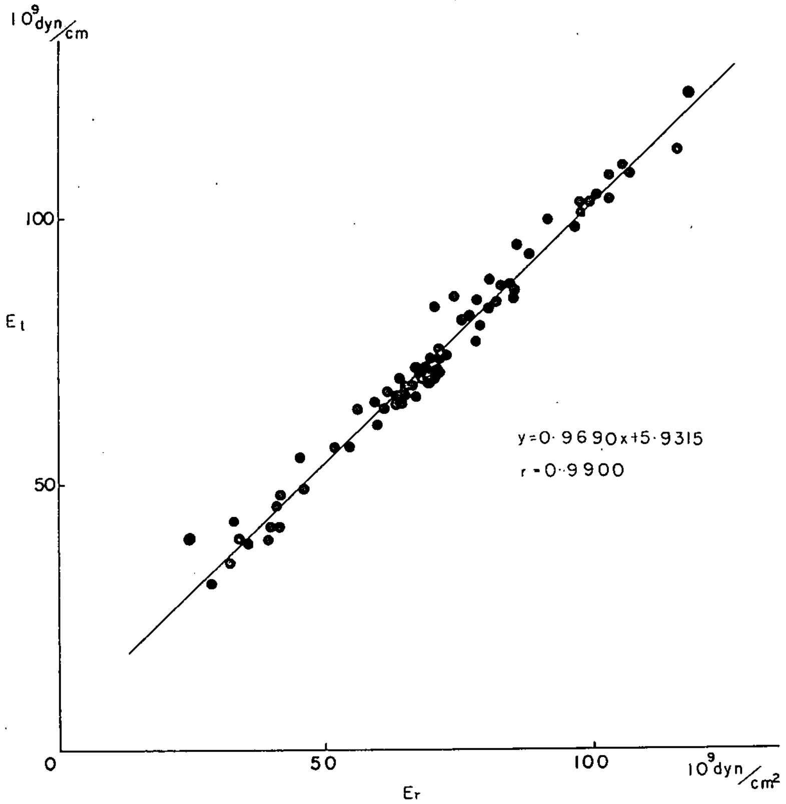

Fig. 4 Relation between dynamic Young's modulus of tangential direction (Et) and dynamic Young's modulus of radial direction (Er).

3．2　人工空胴の影響

木材は無欠点材においてもヤング率に相当な個体差があるため，人工空胴（人工節）のヤング率におよぼす影響をあらわす尺度として，無欠点材のヤング率に対する人工空胴材（人工節材）のヤング率の減少率は

$$d=\left(1-\frac{E_t}{E_o}\right)\times 100$$

ここに

E_o＝無欠点材のヤング率

E_t＝人工空胴（人工節）材のヤング率

であらわすこととした。

面外曲げと面内曲げ別に，空胴の直径および位置とヤング率の減少率との関係を示したのが，Fig. 5である。

ここで，空胴の位置による減少率が，ビームの中央からの長さ（$l$cm）に影響を受けているのか，あるいは，空胴の位置の曲げモーメント（M_{at}）に影響されるかをみるために，最大曲げモーメントに対する曲げモーメント（$_{at}\ M_{max}$）の比（等分布荷重として算出）をX軸とした。

まず，空胴がビームの中央に1個存在する場合，減少率は

面外曲げでは　空胴径5 mmで10.14%

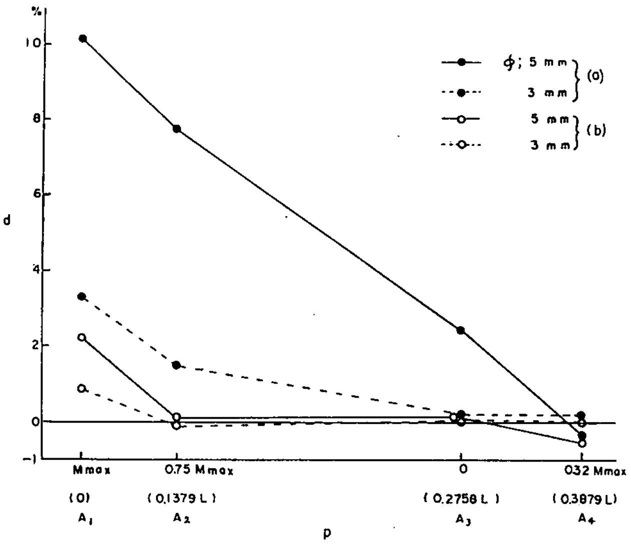

Fig. 5 Relation between rate decreased in dynamic Young's modulus (d) and position of a. r. hole and a. r. knot (p).

〃　3 mm, 3.30%

面内曲げでは　〃　5 mm, 2.23%

〃　3 mm, 0.90%

となり面外曲げの場合が，面内曲げより大きく減少し 5 mm では4.5倍，3 mm では 3.7 倍となった。

このことは，空胴が面外曲げを受ける場合（空胴が上下方向に開けられている場合）は，剛性が変化し，固有振動数も低下して，ヤング率の減少率も大となるが，面内面曲げを受ける場合に空胴が中立軸に近い場合はこの影響が少ないためであろう。

一方，空胴の存在による形状係数[6)7)]では，ビームの厚さを考慮して近似的に求めると，面外曲げの場合，空胴径 5 mm では $a_5=2.9$，3 mm では $a_3=2.5$（ただし，基準応力＝完全断面の応力）となり，ヤング率の減少率に影響しているであろう。

面内曲げの場合，空胴の直径 $2r/2b$（ビームの巾）が 0.5 以下の場合，空胴縁辺に生ずる応力は，基準応力よりも小さくなるから，この実験での空胴径 5 mm，3 mm の形状係数はヤング率の減少に影響しない。

つぎに，空胴の位置による減少率は，面外曲げの空胴径 5 mm の場合，その位置の曲げモーメント比（$\alpha_i M_{max}$）にしたがって減少するが，その他の空胴では，むしろ node からの距離にしたがう傾向がみられる。しかし，減少率の小さい場合は実験誤差の影響も大きくなるので，この実験だけでは傾向はつかめない。空胴の位置が node 上にある場合（A_3・A_3'），直径 5 mm の面外曲げを除いて，他は減少を示さなくなる。面外曲げの直径 5 mm のものは断面欠損率が大であるので，node からはなれたところで曲げモーメントの影響を僅かに受けているためと考えられる。

空胴位置が A_4・A_4' の場合，いずれの空胴についても固有振動数が無欠点の時より僅かに増加する傾向にあり，前記の算出式で算出されたヤング率は無欠点の時とほぼ同程度か，むしろ増加する傾向がみられる。

空胴の数が増える場合のヤング率の減少率を，空胴径 5 mm のものの面外曲げと面内曲げについて示したのが Fig. 6 である（空胴径 3 mm の場合も同様の傾向を示す）。

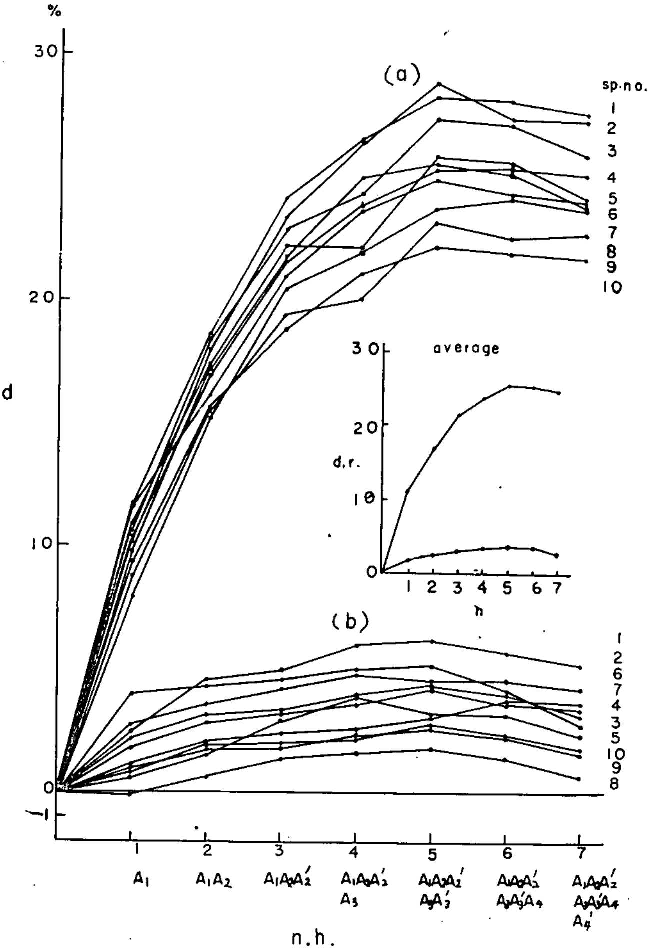

Fig. 6 Relation between rate decreased in dynamic Young's modulus (d) and number of artificial round hole (n. h.).

試験体は10個で，その平均値は，ほぼスムーズな放物線を画き node からビーム端の間で空胴が加わると，ヤング率の減少率は低下し，前述したとおり固有振動数も増加する傾向を示し，空胴の存在によってビームのヤング率は増加することとなって矛盾する。

これは cantilever beam の自由端側に空胴が存在する場合も固有振動数は増加することと似かよった傾向を示しているので，このことは，別に検討することとして，この報告では 2 つの node の間，すなわち，A_1・A_2・A_2' の 3 個に限って，その相互関係を示したのが Fig. 7 である。

この A_1，A_1A_2，は，1 つのグループとして 10 個の試験体をとり，同一の試験体に順次穿孔したものであり，A_1，A_2A_2' は別の10個の試験体のグループの平均値であるので，グループによる差が含まれているが，近似的には円孔が並んだ場合の減少率は，それぞれの位置の減少率を加えたものに等しくなった。

しかし，このことは，この実験の範囲でいえることであろう。

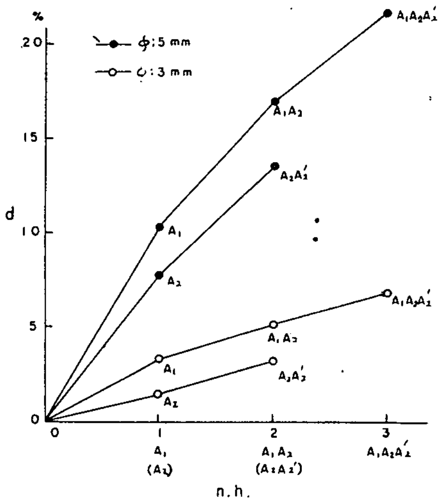

Fig. 7 Relation between rate decreased in dynamic Young's modulus (d) and number of artificial round hole (n. h.).

3．3　人工節の影響

人工節の直径，位置および数について，2つの node の間に存在する場合の減少率の相互関係を示したのが Fig. 8 である。

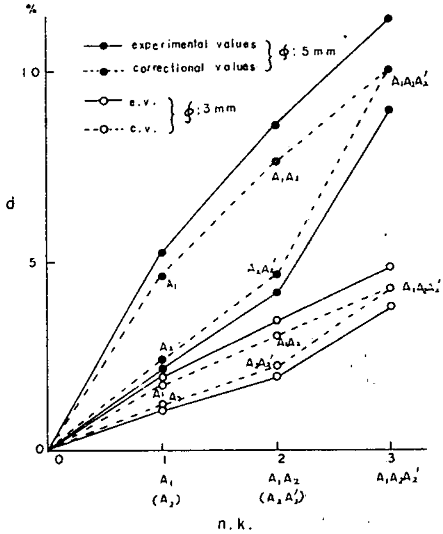

Fig. 8 Relation between rate decreased in dynamic Young's modulus (d) and number of artificial round knot (n).

図の実線は実験値で，点線は修正値である。

この修正は，人工節材の場合に，無欠点のヤング率と人工節材のヤング率の減少率との間に，それぞれの組合せのすべてのものに1～10%の危険率で有意な正の相関関係が認められた。その1例として直径 5 mm の場合を Fig. 9 に示した。

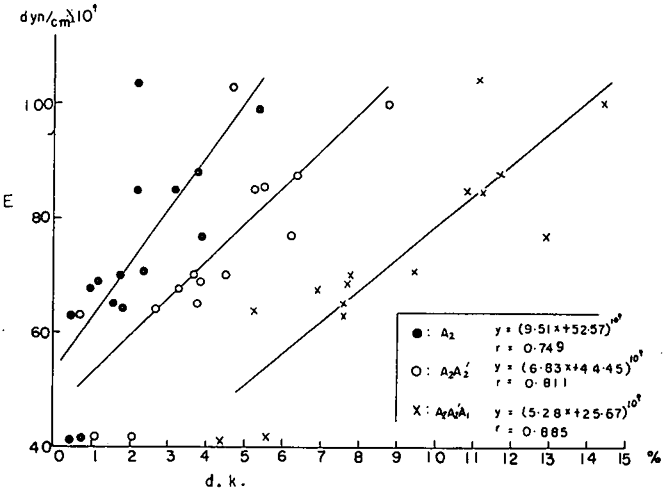

Fig. 9 Relation between dynamic Young's modulus of clear sample (E) and rate decreased in dynamic Young's modulus of sample with artificial round knot (d. k.).

また，減少率の相互間にも同様の相関関係が認められ，その1つを示したものが Fig. 10 である。

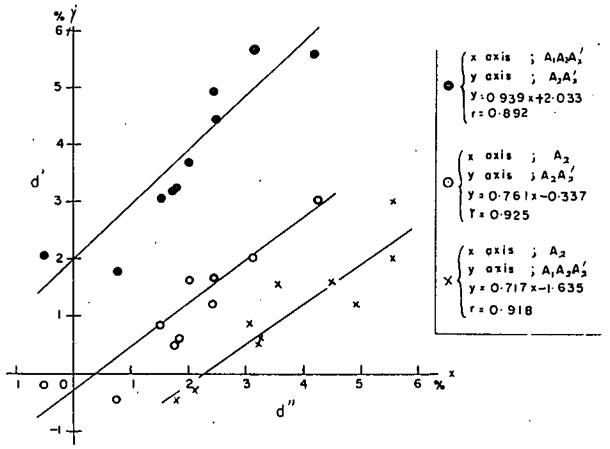

Fig. 10 Interaction between rate decreased in dynamic Young's modulus of sample with artificial round knot by number of artificial round knot (d′ and d″).

同一条件の人工節材で無欠点材のヤング率の大きいものほど減少率は大となり，また，1個の人工節で大きく減少するものは，2個，3個の場合も減少率が大となる傾向を得た。

そこで，人工節材の2つのグループ（節の充てん順序，$A_1 \to A_2 \to A_2'$ の a グループと $A_2 \to A_2' \to A_1$ の b グループ）の差異をこれらのグループがもつ木材のヤング率その他の特性によると考えて，$A_1A_2A_2'$ の値を一致させるように修正した。修正は次式によった。

$$C_{da}(A_1A_2A_2' = d_a(A_1A_2A_2') - d_b(A_1A_2A_2')\frac{d_a(A_1A_2A_2')}{d_a(A_1A_2A_2') - d_b(A_1A_2A_2')}$$

ここに　$C_{da}(A_1) = C_{da}(A_1A_2A_2') \cdot \dfrac{d_a(A_1)}{d_a(A_1A_2A_2')}$

$d_a(A_1\cdots)=(A_1\cdots)$ の減少率

$C_{da}(A_1\cdots)=(A_1\cdots)$ の減少率

ここで，aグループの修正値は負であり，bグループは正である。

人工節などの充てん物の応力集中は，木材と人工節との剛性率比にも関係するが，ここでは人工節の剛性率を測定できなかったので定量的にはいえないが，減少率には応力集中も影響していると考えられる。

位置と数については，人工空胴と同様の傾向を得た。

3．4　人工空胴材と人工節材との比較

人工空胴材と人工節材のヤング率の減少率をそれぞれの条件のもとで比較したのが Fig. 11 である。

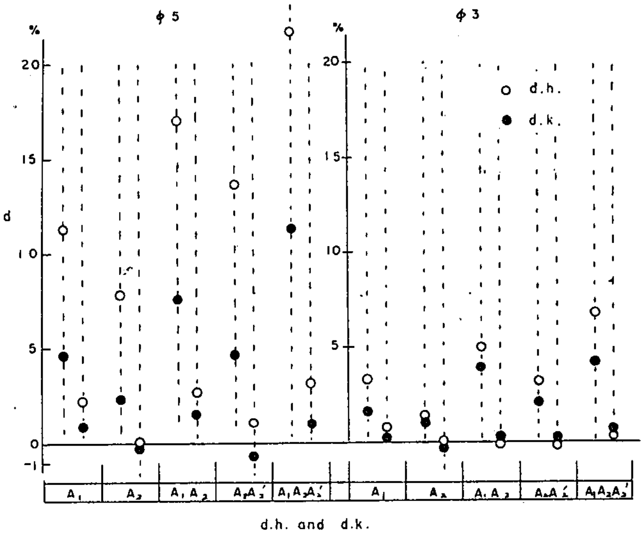

Fig. 11 Relation between rate decreased in dynamic Young's modulus (d) and sample with artificial round hole (d. h.) and artificial round knot (d. k.).

面外曲げについて，径 5 mm で人工節の減少率は空胴材のそれの30～45%，3 mm では50～80%となった。

要　　約

人工空胴および人工節による動的ヤング率の減少率について，たわみ振動試験を行なった。9 mm× 9 mm×270mm の無欠点試験体に 3 mm と 5 mm の人工空胴および人工節を加工した。

人工空胴および人工節の位置と数は Fig. 2 に示してある。

結果を要約すれば次のとおりである。

1．試験体の中央に直径 3 mm および 5 mm の人工空胴をもつ面に垂直に曲げモーメントを受ける場合と，その面内に曲げモーメントを受ける場合とを比較すると，空胴直径 3 mm の減少率は前者が後者の 3.7 倍となり，空胴直径 5 mm では4.5倍となった。

2．人工節材の減少率（Fig. 8）は人工空胴材の減少率と同様の傾向である。

3．それぞれの条件のもとでの，人工空胴と人工節の比較表を Fig. 11 に示す。

文　　献

1）中山義雄・青木昭男；木材の動的弾性に関する研究（Ⅰ）高知大学術報16（1967）
2）渡辺治人・松本　勗・堤　寿一・太田貞明：未成熟材の力学的特性に関する研究（第1報）木材学会誌，10，125，（1964）
3）樋口盛一・橋本千秋：両端自由の Thick Beam の振動の研究　岩大工報9（1955）
4）松本　勗；木材の動的弾性率，特に撓み振動によるヤング率と対数減衰率とに関する研究　九大農演報36（1962）
5）中山義雄；木材の動的なヤング率に関する研究（Ⅰ）高知大農演報　2（1968）
6）西田正孝；応力集中，森北出版（1967）
7）SAVIN, G. N.；Strees Concentration around Holes. Pergamon Press（1961）

（昭和45年9月30日受理）