

# 穿孔試験による木材構造物部材の耐用度判定について

助 教 授      加 藤   誠   平

大 學 院      上 飯   坂   實  
特別研究生

Seihei KATO and Minoru KAMIIZAKA:

Boring-test of Structural Timbers for their Durability Judgement

## 目 次

I 緒 言.....	163	VII 樹種別穿孔測定値.....	170
II 試験機の機構.....	164	IX 腐朽実験の爲の腐朽処理方法.....	171
III 耐用度の表示法.....	165	X ツガ人工腐朽材の比仕事量と重量減少 率及び壓縮強度の關係.....	72
IV 錐徑の選定.....	166	XI ヒノキ・ブナの腐朽材.....	73
V 比仕事量に及ぼす年輪の影響.....	168	XII 總 括.....	174
VI 比仕事量に及ぼす水分の影響.....	168	XIII 引用文献.....	176
VII ツガ健全材の穿孔測定値及びその 分散と測定回数.....	169	Résumé .....	177

## I 緒 言

試験片をとることなしに木材の耐用度を知る方法の一つとして、1930年ソ聯の SIMINSKI 氏<sup>1)</sup>が主としてマツ電柱材について穿孔実験の結果を發表しているが、氏は穿孔比仕事量と壓縮、引張り、曲げ強度との間に直線的な關係が認められたことにより、それ等機械的諸性質を綜合した強度を表す尺度として穿孔による比仕事量を用い得ることを證している。このことから穿孔試験は或る程度腐朽した木構造物部材についてその耐用度を知る上に極めて好都合であろうということが推論されるが、氏の報告に於ては腐朽度と穿孔比仕事量との關係が明確にされていない。また穿孔試験に比較的似よつた試験法として十代田三郎氏<sup>2)</sup>は釘の引抜抵抗によつて木材の腐朽度を測定する方法を發表し、スギ・マツを人工的に腐朽せしめ10日毎に90日にわたつて壓縮強度と引抜強さを測定し、その間に關係のあることを認めている。

筆者等は螺旋錐の廻轉モーメントから比仕事量を測定し得る試験機を試作してツガ材<sup>\*</sup>について豫備実験を行つた結果の一部を先きに報告したが<sup>3)</sup>、引續き腐朽材に對する穿孔試験を行つたので、その結果をもあわせて、こゝに總括的に報告する。穿孔試験と釘引抜試験の得失については、未だ比較試験を行つていないが、穿孔試験の方がより合理的だと考えている。

この實驗に關して御懇切な御指導をたまわつた東京大學名譽教授山口昇博士、同農學部森林利用學教室藤林誠教授並びに特に腐朽實驗につき御協力を煩わした同植物學教室大橋弘瑞氏に深く

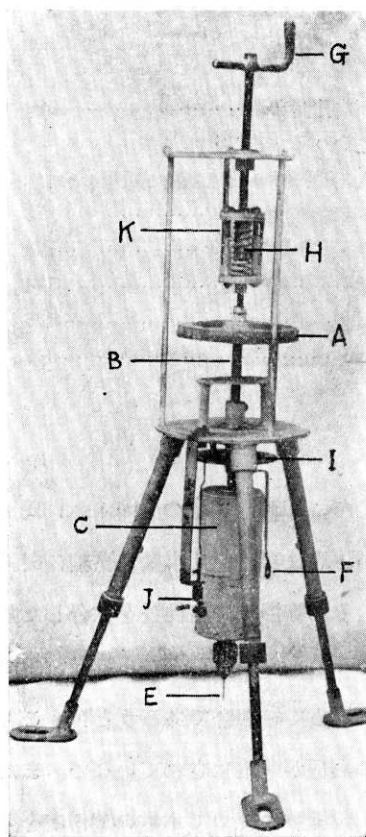
\* *Tsuga Sieboldii* CARR., 秩父産

謝意を表する。

## II 試験機の機構

試験機の機構の原理は、シャフトの廻轉角とドラムの廻轉角の差が、ヘリカル・スプリングの作用によつて廻轉モーメントに比例することを利用したものである。Fig. 1は試作した試験機で

Fig. 1  
Testing-instrument



ある。シャフト(B)とドラム(C)とはヘリカル・スプリング(ドラムの中にあつて外部からは見えない)によつて連結されているから、ドラムを固定させておいて、ハンドル(A)を廻轉させればスプリングの張力がドラムを拘束している力より小なる場合にはドラムは全然廻轉しないことになる。従つて、螺旋錐(E)をドラムの下端に固定させておけば、錐が測定せんとする材中に進入して行つて、摩擦によつて錐が抵抗を受ける場合にはスプリングの張力が抵抗力にかつ返はハンドル(A)を廻はしてシャフト(B)を廻轉させてもドラム(C)が廻轉しないで、(B)と(C)の廻轉角の差ができる。この廻轉角の差はドラムの中のスプリングの作用によつて與えられるドラムの廻轉モーメントに比例する。然るに記録針(F)がシャフトに固定させてあるから錐の抵抗によるドラムの廻轉モーメントがドラムの上で円周に沿つて直線的に描かれることになる。上方のスプリング(H)は錐の穿孔壓力を一定に保つ爲のもので、スケール(K)がつけてある。即ち(K)の讀みを一定に保つように上端のハンドル(G)を操作すれば穿孔壓力が一定に保たれ

る。(I)は円板の一ヶ所を凹ませたカム狀の平板で、シャフトに固定しドラムとの間が自由になつているから、一廻轉毎に指針(J)が錐の廻轉數をドラムの上に記録する。

ドラムの中のスプリングによつて與えられる廻轉モーメントは豫め別のスプリングバランスにより測定し、横軸にドラムに描かれた直線の長さを取り、縦軸に廻轉モーメントの測定値をとつた圖表を作製して置き、穿孔試験の際の廻轉モーメントはこの圖表から求めた。豫め測定した廻轉モーメントの値には $\pm 0.85\text{kg}\cdot\text{mm}$ の誤差があつたが、これは主としてスプリングの遊びであり、 $0.85\text{kg}\cdot\text{mm}$ の廻轉モーメントを與えても材は穿孔されないことを示している。ドラムの重量の影響がスプリングの戻しの力より大である爲にこの様な誤差が生じてくる。上方のスプリング(H)により與えられる穿孔壓力は使用する錐徑との關係から餘り大なるものとする事は出來な

い。ここでは 3~4 kg/mm<sup>2</sup> とした。ハンドルの廻轉は手動であるので、嚴密に廻轉數を定められぬが、大體一分間に 5~6 廻轉が適當である。また SIMINSKI 氏の試験機は 2 人で操作するものであつたが、筆者等の試作機は一人で充分操作し得るものとした。

### III 耐用度の表示法

この試験機を用いて測定する耐用度は、次式に示す錐の穿孔比仕事量を以て表される。

$$w = \frac{2\pi m}{\frac{\pi}{4} v d^2} = \frac{8m}{v d^2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし  $w$  : 穿孔比仕事量 (kg·mm/mm<sup>3</sup>)     $m$  : 廻轉モーメント (kg·mm)

$v$  : 錐一廻轉に進入した深さ (mm)     $d$  : 錐の直徑 (mm)

Fig. 2

Section of decayed *Hinoki* wood

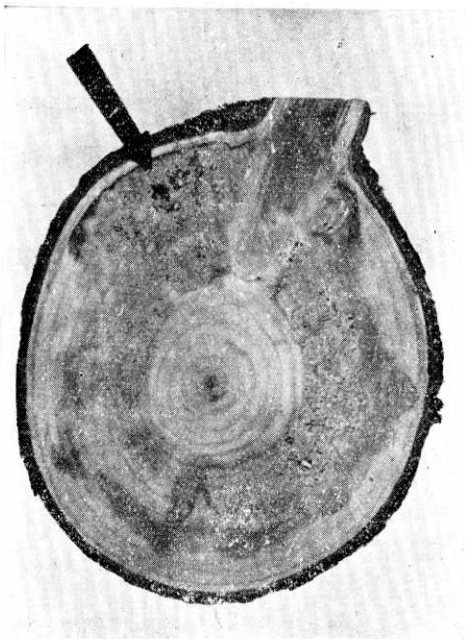


Fig. 3

Moment diagram of decayed *Hinoki* wood

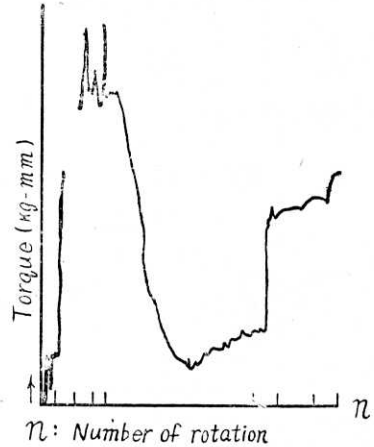


Fig. 2 は白色朽によつて相當腐朽の進んだヒノキであるが、これを本試験機によつて穿孔して自記させた結果を Fig. 3 に示す。これは Fig. 2 の矢の方向に直徑 1.6mm の錐で穿孔し

た場合のもので、Fig. 3 に描かれたダイアグラムの谷と、Fig. 2 の矢印の先の方向にある空隙とは一致している。而して空隙を通過すると、再び抵抗が増大していることがわかる。

Fig. 4 はこの穿孔比仕事量( $w$ )、廻轉モーメント( $m$ )及び一廻轉毎の穿孔深さ( $v$ )を示したものである。 $n$ は錐の廻轉數である。

Fig 5 はツガの健全材(含水率12%)のダイアグラムである。これより明かな如く、錐の進入途中に腐朽の甚しい場所がない限り、錐の進入に従つて、木材内面との摩擦によつて廻轉モーメントは漸増してゆく。したがつて、健全材のダイアグラムは水平線と $\theta$ なる角度をなして、略々直線的に増大してゆく。 $\theta$ は樹種、腐朽度によつて決つてくる。

Fig. 4

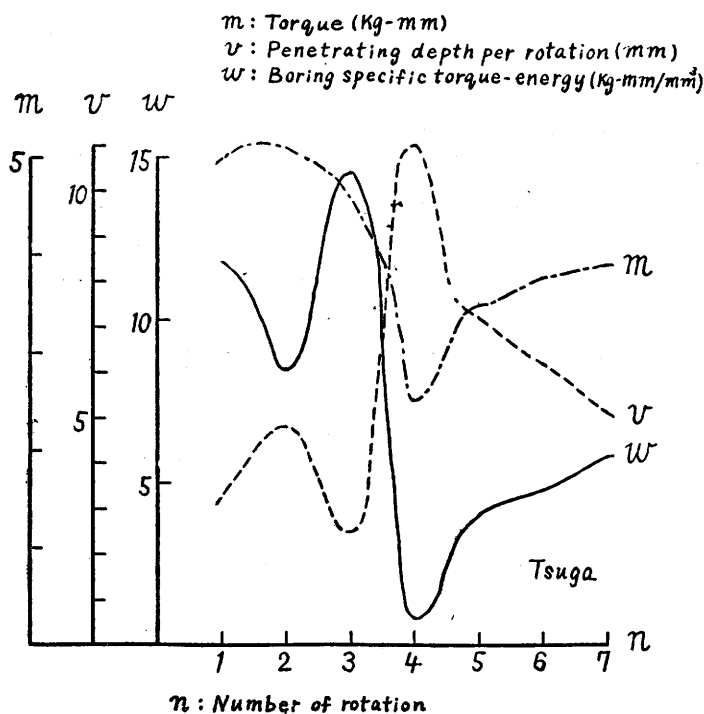
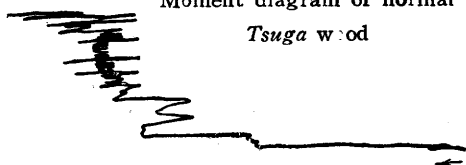


Fig. 5

Moment diagram of normal  
Tsuga wood



(c)による方法が常に最も確實である。

#### IV 錐径の選定

この試験機を使用する場合は、構造物の部材に対して穴をあけるわけであるから、錐径は細ければ細い程よいわけであるが、穿孔圧力に制限されている。SIMINSKI氏は直径6mmのものを使用しているが、何故この径のものを選んだか明確でなく、径としては餘りに大きい様に思われる。筆者等は最も適当な径を選定する爲に、1.4, 1.6, 1.8, 2.3, 2.5, 3.0mmの6種について錐径と穿孔比仕事量、廻轉モーメント、穿孔深度との關係を調べて見た。試験片はツガである。

錐径と廻轉モーメントの關係は Fig.6 に示す様に近似的に一次式で表はされる。

錐径と穿孔深度との關係は Fig.7 に示す通りであつて、これもこの範圍では近似的に一次式で表はされると見て差支えないであろう。

Fig. 8 は錐径と比仕事量の關係で (○計算値, ●實驗値), 径の減少によつて穿孔比仕事量が急

ここで耐用度の判定法をあげて見ると次の様にわけられる。

(a) ダイアグラムによる判定

(b) 廻轉モーメントの増加による判定 ( $\theta$ による判定)

(c) 穿孔比仕事量による判定

(a)は腐朽甚しく、内部に空隙を有する場合にのみ有効である。(b)も腐朽が餘り進んでいない材については適当な判断を下し得ない。しかも、廻轉モーメントの増加が同じでも、單位深さを穿孔するに要する錐の廻轉數は、材の腐朽度、硬さ等により異なるので、

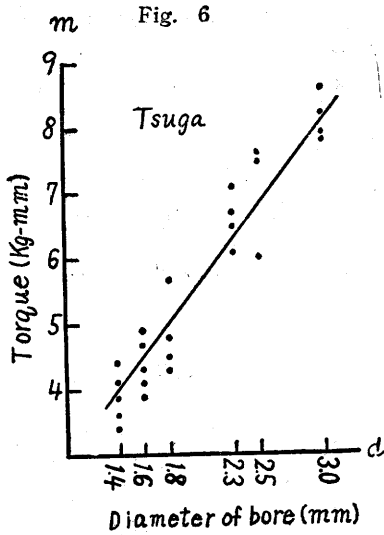


Fig. 8

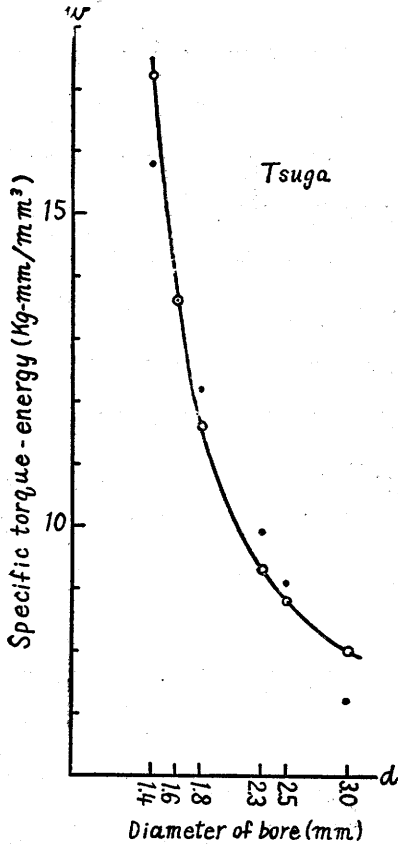
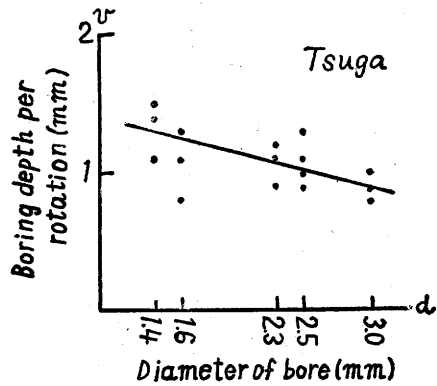


Fig. 7



激に増大していることがわかる。しかもその分散が大きくなっていることは注意せねばならない。第1表はその標準偏差を示したものである。このことから、錐径が細いと、材えの穿孔途中における種々な因子に左右され易くなることが豫想されるのであるが、一方、後述する腐朽実験によつて明かな如く、この分散を示す標準偏差は、必ずしも測定値の精確度を示す目安とはならない。つまり、径が太くなると、健全材の比仕事量の分散が小さい為、健全材と腐朽材との比仕事量の差が明瞭になる様である。

今、 $w$ と $d$ との関係は、穿孔壓力が一定であれば $d$ の如何に拘らず $w$ が一定値に達すると言う假定から Fig. 8 の式を求めて見ると、次式が得られる。

$$w = \frac{d}{0.186d - 0.18} \dots\dots\dots(2)$$

錐径は細いものは感度がよい様であるが、その

第1表 錐径と穿孔比仕事量

錐 径 mm Diameter of bore	1.4	1.6	1.8	2.3	2.5	3.0
穿孔比仕事量 kg-nm/mm <sup>3</sup> Boring sp. cific torque energy	15.9	13.6	12.2	9.9	9.1	7.1
標準偏差 k <sub>s</sub> -mm/m.n <sup>3</sup> Standard deviation	±1.4	±1.18	±0.64	±0.51	±0.87	±0.13

爲に測定値の散らばりが大きくなり、数多くの測定を行わねばならず、又穿孔壓力からも制限を受ける。併し、錐徑が太くなれば、既設構造物に好ましからぬ缺點を残すので、徑1.4~3.0mmの範圍に於て略々中間の1.8mmのものを選りこれをを用いて實驗を行うこととした。

## V 比仕事量に及ぼす年輪の影響

穿孔は總べて、板目面に直角に行われるので（實際に木材構造物部材に穿孔する場合はその様な場合が多い）穿孔比仕事量は、穿孔した場合の錐と木材の摩擦と、錐が秋材部分を横斷する際の週期的に生ずる抵抗が主要な因子となつてゐると想像される。今21個の試験片（年輪密度7~15/cm）について試験を行つて見たが、穿孔比仕事量と年輪密度との相關係数は $r=0.38$ で、この間にこれだけでは何等かの關係があるとは言い切れなかつた。併し、この試験は年輪密度10/cm以上のものが21個の中18個をしめてゐるので、嚴密には10~15/cmの間では明瞭な關係が認められないと言ふべきであろう。

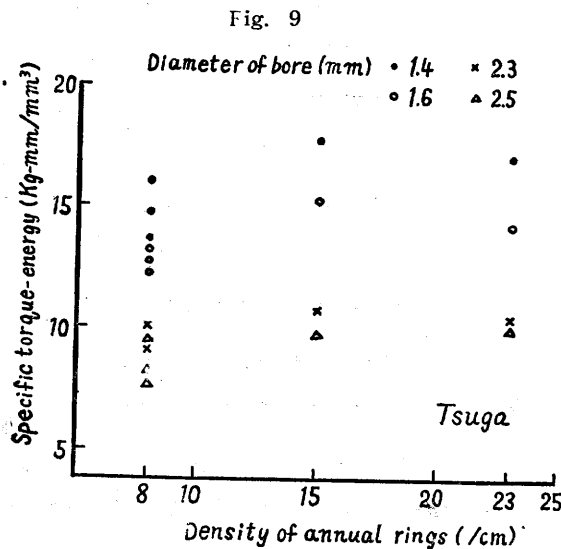


Fig. 9 は錐徑 1.4, 1.6, 2.3, 2.5mm の4種に就いてそれぞれ年輪密度8, 15, 23/cm のものを選んで實驗したものである。之によれば年輪密度15, 23/cm の場合は8/cm の場合にくらべて、幾分比仕事量は増加しているが、15, 23/cm の間には差は認められない。この場合に於ても、錐徑の太いものは細いもの程偏差が大きくない様である。スギの如く年輪密度の小なるものは、年輪の影響が顯著であるが、ツガに於ては年輪密度10~15/cmの間では殆んど影響は認め

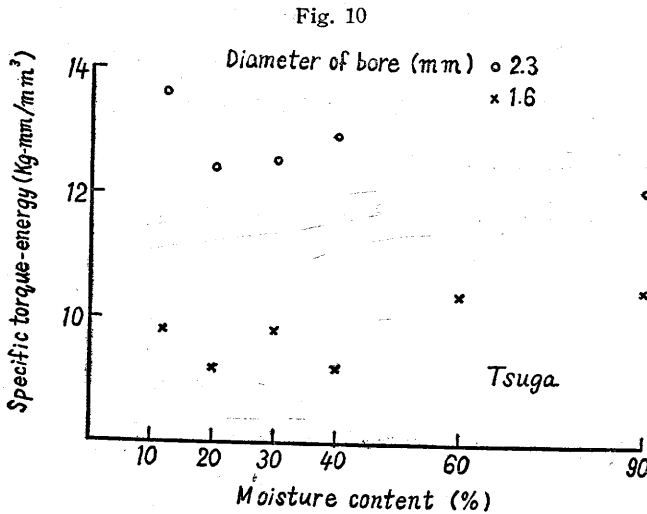
られないと言えよう。

また、年輪の影響を見る爲に、木口面について穿孔試験を行つたが、錐徑 1.6mm で 11.9kg-mm/mm<sup>3</sup>、2.3mm で 7.3kg-mm/mm<sup>3</sup> となり、板目穿孔の場合にくらべそれぞれ約12%、26%の減少を示している。たとえ秋材部の上に錐を置いても穿孔するにしたがつて錐は秋材からはずれ、春材の部分を穿孔してゆくので、この値は或る程度春材そのものの穿孔比仕事量を示すと考へる事が出来ると思う。

## VI 比仕事量に及ぼす水分の影響

2 種角のツガ材を氣乾状態に於て水を含ませ、含水率 10, 20, 30, 40, 60, 90% の試験片を作り、

穿孔比仕事量を測定した。この場合の含水率は平均含水率であつて、試験片の水分傾斜をなくすことを考慮していない。而して穿孔比仕事量の測定は表面より1cmの深さについて行つたので、



実際に測定した場所の含水率は、それぞれ上記の含水率と幾分違つている筈である。なお、使用した錐の径は1.6, 2.3mmの2種である。Fig. 10にその結果を示す。これによると10%から20%の間では水分の増加に伴つて穿孔比仕事量が減少している様であるが、20%から60%の間ではその差は殆んど認められない。錐の径が1.8mm

のものは略々この中間に入ると考えて差支えないであろう。

4) 切削抵抗と水分との関係について実験を行つたものは少ないが、SACHSENBERG 氏が円鋸について水分と比切削抵抗との関係について述べているが、含水率の高い方(10~17%)が低い方(6~9%)より比切削抵抗が幾分大になつている。このことについて氏は含水率の高いものの方が含水率の低いものより弾性に富む爲であると述べている。本試験機の錐によつて穿孔する場合の抵抗は、切削の抵抗と言うよりむしろ押し込みの抵抗の要素が大きい様であり、その抵抗は材を煮沸させる等の處置によつて軟化させねば水分の變化だけでは大した變動は生じない様である。

### VII ツガ健全材の穿孔測定値及びその分散と測定回数

以上の諸點について實驗された様に、この試験機を使用する場合に穿孔比仕事量測定値の分散がどの程度のものであるかと言う事が問題になる。筆者等は年輪密度が大體同じ9個のツガ健全材の試験片について各4回宛36回の穿孔試験を行い、その平均値と標準偏差を求め分散を検討した。第2表は其の結果であるが大體に於て、±10%のちらばりである。木理に直角にオーガビットを用

第2表 ツガ健全材穿孔比仕事量測定値及びその分散

試験片番號 Test-piece	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均値 Average
穿孔比仕事量平均値kg-mm/mm <sup>3</sup> Mean value of specific torque-energy	12.3	13.2	12.1	10.9	12.1	13.1	11.9	12.3	11.9	12.2
標準偏差 kg-mm/mm <sup>3</sup> Standard deviation	0.43	0.44	0.92	0.51	0.39	1.11	0.48	0.46	0.62	0.64*

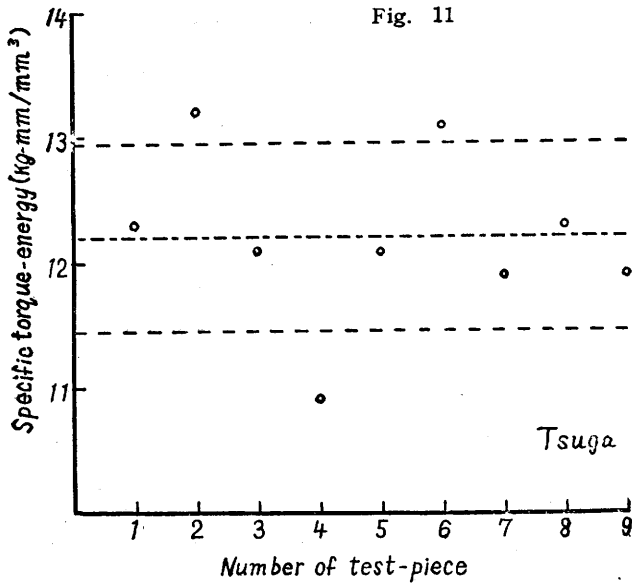
$$* w = \frac{8m}{vd^2} \text{の對數をとつて微分すると } \frac{\Delta w}{w} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\frac{8}{vd^2} \Delta v}{\frac{8}{vd^2}} \text{ 今 } \frac{8}{vd^2} = 0, \Delta m = \pm 0.85,$$

$$w = 12.2, m = 4.9 \text{ とすると } \Delta w = \pm 2.1$$

併し  $\Delta m$  は互いに消し合うので實際には  $\Delta w$  は小さい値となる。

いて穿孔した場合の被切削抵抗のムラは、マツで±49%、ブナで±18%とすると、本測定値のムラは多すぎるとは言えないが、腐朽度判定の爲には決して小さくない。前記の如く、含水率及び年輪の影響は殆んど認められないので、このムラは試験機によるものと思われる。機械の誤差を惹起するものは、記録用の鉛筆と紙との摩擦、又錐が材中に進入してゆく時、完全に垂直でないと言うことが主な原因となつている。鉛筆と紙との摩擦は略々一定にすることが可能であり、後者は機械を出来得る限り正確に作ることで除去出来る。

以上でこの試験機による測定値の分散とその意味がわかつたが、次にこの分散より、或る程度



信頼のおける測定値を得る爲の測定回数を考えて見よう。Fig. 11は第2表の結果を圖示したものであるが、圖上で明かなように出たらめに選んだ3個の測定値の平均値は例外なく標準偏差

の中に入つていることがわかる。従つて約5%の危険率が許されるのなら、12個の測定値の平均値は大體に於て標準偏差の中に存在すると言えよう。これはツガ健全材の場合であるが若しその標準偏差がツガのそれと大差がないならば他の樹種についても同様であろう。少数回の試験で、例えば4~5回の穿孔試験でその平均値が標準偏差内にあることを期待するのは、なお約30%の危険性がある。

### VIII 樹種別穿孔測定値

ツガの他にシホヂ・ブナ・スギ・ヒノキについてそれぞれ同様に穿孔比仕事量を測定し、なお参考の爲 30 ton アムスラー試験機を用いて壓縮強度を測定し、ツガ材の場合と比較して見た。

\* シホヂ : *Fraxinus commemoralis* KOIDZ., 秩父産  
 ブナ : *Fagus crenata* BLUME, 岩手産  
 スギ : *Cryptomeria japonica* D.DON, 産地不明  
 ヒノキ : *Chamaecyparis obtusa* SIEB. et ZUCC., 愛鷹産



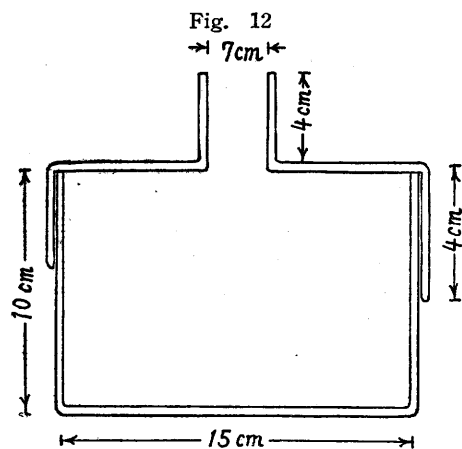
第3表 樹種別穿孔比仕事量比較

樹種 Species of wood	シホヂ	ブナ	スギ	ヒノキ	ツガ
穿孔比仕事量平均値 kg-mm/mm <sup>3</sup> Mean value of specific torque-energy	14.0	13.3	9.9	11.7	12.2
標準偏差 kg-mm/mm <sup>3</sup> Standard deviation	1.06	1.04	0.85	0.48	0.64
壓縮強度(参考) kg/cm <sup>2</sup> Compressive strength	428	435	322	335	549

その結果は第3表の通りである。大體に於て廣葉樹の方が針葉樹よりも比仕事量大きい。第3表によつてわかる様に、シホヂ・ブナは他に比べて分散が比較的大きく出ているが、この理由は詳かでない。ブナの如き散孔材はスギとかツガにくらべて比較的均質であり、分散は小さいと思われたが、結果はその逆であると言うことは、この値が材の均質、不均質によると言うより、むしろ材の硬さに基因する機械のムラであると考えることが出来るかも知れない。シホヂ・ブナのダイアグラムを見ると、同じ1cmを穿孔させるのに、スギ・ヒノキに比して錐の廻轉数が非常に多くなり、錐が一廻轉しても1mmも進入してをらぬことが多かつた。このことは、硬い材に對しては、この穿孔壓力と、錐が餘り適當でないことを示すが、筆者等の用いた機械では穿孔壓力を任意に變えることが困難であるから結極錐の双先きをより鋭いものに變えることを考えねばならない。

### IX 腐朽實驗の爲の腐朽處理方法

試験片は2種角のツガを用い、腐朽菌にはキチリメンタケ<sup>\*</sup>を用いた。キチリメンタケはカヒガラタケ屬に屬し、その分布極めて廣く、主として針葉樹の龜裂性褐色朽の起因となるものである。腐朽實驗には Fig. 12 に示す如きガラス容器を用いた。それに氣乾状態にある針葉樹の鋸屑45gとぬか3gを混入し、之に蒸溜水150ccを加えて飽和状態に近いものとなし、別にツガの邊材部の



健全材より試験片をとり、その絶乾重量を測定した後、前記ガラス容器に入れ、試験片の高さの $\frac{1}{3}$ を鋸屑に埋め、1個の容器に15個の試験片を入れた。しかる後、高壓殺菌釜で約20分間消毒し、翌日馬鈴薯寒天培養基にて培養した旺盛なる腐朽菌(キチリメンタケ)の菌叢を寒天と共に切り取り、ガラス容器の中央部の鋸屑の面に接種し、 $26^{\circ}\text{C}$ に保つた定温器内に置き2月より7月迄の5ヶ月にわたつてその腐朽状態を

\* *Lenzites trabea* (PERS.) FR.

観察し、重量減少率、壓縮強度、穿孔比仕事量を測定した。全體として材の含水率は100~150%の範圍にあり菌の發育は良好であつた。1ヶ月後に於て、氣中菌糸は容器の側壁及び試験片上面に旺盛に發育し、黄白色を呈し、鋸屑内の菌糸は菌束状をなして全面に繁殖していた。又子實層の形成も僅かに見られた。

X ツガ人工腐朽材の比仕事量と重量減少率及び壓縮強度の關係

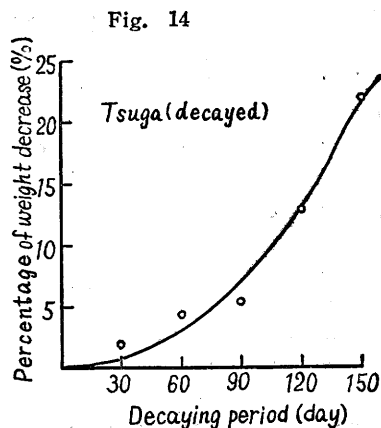
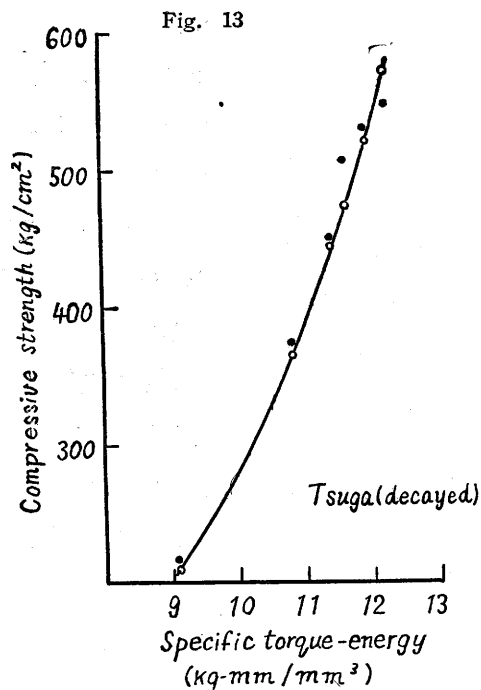
穿孔比仕事量と壓縮強度の測定は腐朽菌を接種してから1ヶ月毎に5ヶ月にわたつて行つた。比仕事量の測定は先きに述べたものと同じ方法で、板目面に於て、常に邊材から心材の方向に穿孔した。壓縮強度は30tonのアムスラー試験機で測定した。穿孔比仕事量の測定に於て、腐朽材の特徴としてあげられる點は、そのダイアグラムの水平線となす傾斜が非常に大であること、つまりⅢで述べた $\theta$ が $\pi/2$ に近くなることである(頭打ちの傾向)。腐朽1ヶ月後ではダイアグラムの傾向は健全材のそれと相似しているが、2ヶ月目にはダイアグラムに頭打ちの傾向が見られるものが出た。全部が一樣にその傾向を示すのは腐朽菌接種後5ヶ月目であつた。接種後4ヶ月になると腐朽は著しく進行して、健全材に比べて濃褐色を呈し、乾燥すると材は收縮して各處に龜裂を生じ、端は小片に解離し易くなつた。また、材の龜裂中には屢々白色菌糸の發育を認められた。4ヶ月と5ヶ月ではその外觀的な腐朽状態は殆んど同じ様に見えたが、5ヶ月目のものは測定中錐の壓入力または廻轉する時の力で試験片が割れて仕舞うことが多かつた。第4表は測定結果の總括である。

第4表 ツガ人工腐朽材の穿孔比仕事量・重量減少率及び壓縮強度

腐朽期間 Decaying period 月	0	1	2	3	4	5
絶乾重量減少率 % Percentage of dry weight decrease	0	1.7	4.3	5.2	12.9	21.6
穿孔比仕事量 kg-mm/mm <sup>3</sup> Boring specific torque-energy	12.2	11.9	11.6	11.4	10.8	9.1
同 比 率 % Ratio of do.	100	97	95	93	88	74
壓縮強度 kg/cm <sup>2</sup> Compressive strength	549	528	507	449	372	212
同 比 率 % Ratio of do.	100	96	92	81	67	38

Fig. 13 に穿孔比仕事量 ( $w$ : kg-mm/mm<sup>3</sup>) と壓縮強度 ( $p$ : kg/cm<sup>2</sup>) の關係を示す(○計算値, ●實驗値)。これは次式で表はされる。

$$p = 11.23e^{0.3:3w} \dots\dots\dots (3)$$



式中の係数は腐朽菌の種類、含水率、樹種によつて變化するが、少く共ツガ材の場合には SIMINSKI 氏の認めたような直線的關係ではなかつた。

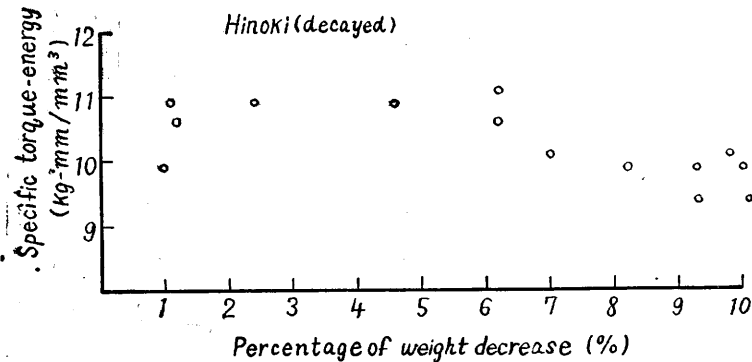
Fig. 14 に絶乾重量減少率と人工腐朽日數の關係を示す。腐朽速度は大體に於て森・浅野氏の實驗式に一致する様であるが、絶乾重量減少率の最大限度が之だけではわからぬので實驗式を求めることは出来なかつた。若しこの穿孔比仕事量測定法によつて材の腐朽度を知らうとするとき、如何なる場合に於ても測定値の持つてゐる分散の程度に左右されることは言うまでもない。健全材との穿孔比仕事量の差が有意となるのは人工腐朽後3ヶ月目である。人工腐朽後2ヶ月に於ても、その差が或る程度有意であると言ひ得る場合もあるかも知れないが、それは分散の程度による。重量減少によつて腐朽度を調べる方法は後に述べる様な疑點があり、必ずしも確實とは言えない。しかも我々が現場に於てその腐朽度を知る爲には、知らんとする材そのものの重量減少を知らねばならない。壓縮強度の減少についても同様である。しかも壓縮強度の値には非常にムラが多い。腐朽菌の種類、溫度、樹種等によつて、このことは一般的な結論を得ることは困難であるが、ツガにキチリメンタケを用いて26°Cで人工腐朽させた場合は穿孔法により人工腐朽後3ヶ月目にそれを發見することが可能である。なお3mmの徑の錐を用いてツガの3ヶ月腐朽材について試験を行つたところ、穿孔比仕事量は健全材の28%減であつた。1.8mmの徑の錐を用いた場合は僅か7%である。したがつて腐朽度の判定の爲には、若し穴の大きさをそれ程考慮しなくてすむのであれば1.8mmの錐より3.0mmの錐の方が有効である。

## XI ヒノキ・ブナの腐朽材

ヒノキ・ブナはチヂレタケによつて大橋氏が6ヶ月の人工腐朽を行つたものについて實驗を行

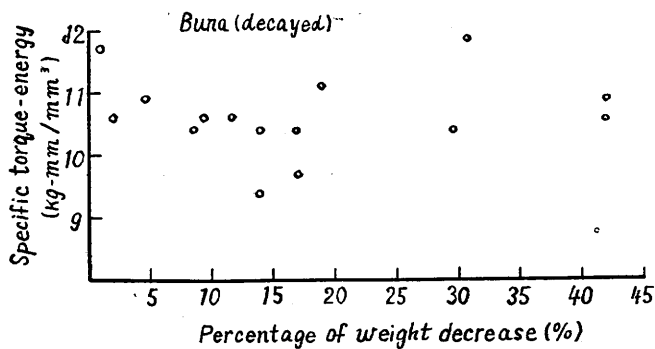
\* *Trogia crispa* FR.

Fig. 15



率と穿孔比仕事量との関係を示したが、重量減少率も6%あたりまでは穿孔比仕事量との間にもそれ程有意な関係は認められない。重量減少率6%は大體接種後3~4ヶ月目で示す値である。

Fig. 16



或る決つた値に近く分布している。このことはヒノキの人工腐朽材についても言えることである。

チヂレタケの腐朽力は左程強くなく、しかも試験片が一樣に腐朽しているとは言えないので、穿孔する場處がどの程度の腐朽をしていたかと言うことが大いに問題となつて來ると思う。殊にブナの腐朽は恰もなめくじが這つたあとの如く、部分的になめた様にはがれた場合が多かつた。

木材が腐朽菌によつておかされる場合、必ずしもその重量が減少するとは限らず、外部からの榮養分の攝取によつて逆に増加することもあり得るから必ずしも重量がその時の正しい腐朽状態を示すとは限らない。しかも Fig. 15, 16 の様な場合には、腐朽によつて先づ強度を左右する物質を破壊することが考えられるわけである。その様な場合には重量減少率よりも穿孔比仕事量の方がより適正な値を示す筈である。

## XII 總 括

木構造物部材の耐用度を判定する方法として、螺旋錐を用いて部材に直接その強度に影響を與

つた。穿孔比仕事量はヒノキが10.3kg-mm/mm<sup>3</sup>、ブナが10.6kg-mm/mm<sup>3</sup>であり、健全材にくらべてそれぞれ12%、20%の減少を示している。Fig. 15にヒノキの絶乾重量減少

Fig. 16はブナの絶乾重量減少率と穿孔比仕事量との関係であるが、これには全然相關關係が認められない。併し乍ら、この値は横軸(重量減少率)には廣く分布するが、縦軸(穿孔比仕事量)には

えない程度の小さな孔を穿ち、この穿孔に費された比仕事量を測定することが實用上、極めて便利であろうと言う豫想により基礎的資料を得る爲に、Fig. 1 に示す様な試験機を作製して、主としてツガ材について穿孔実験を行つた。実験には 2cm×2cm×2cm の立方體試験片を用いたが、試験機に若干の変更を加えれば、現實の木構造物部材の耐用度測定が可能であるとの見通しを得た。本実験の結果を要約すれば次の通りである。

(1) 穿孔比仕事量は自記装置により記録されたグラフを用いて次式により算出した。

$$w = \frac{2\pi m}{\pi v d^2} = \frac{8m}{v d^2}$$

但し  $w$ : 穿孔比仕事量 (kg-mm/mm<sup>3</sup>),  $m$ : 廻轉モーメント (kg-mm),  $v$ : 一廻轉毎の進入深さ (mm),  $d$ : 錐徑 (mm)

(2) ツガ健全材の場合、錐徑と廻轉モーメント、穿孔深度及び比仕事量の間には次の関係が認められた。

- a) 錐徑と廻轉モーメントの関係は近似的に直線である。
- b) 錐徑と穿孔深度の関係も近似的に直線である。
- c) 錐徑と比仕事量の関係は次式で示され、錐徑が小さくなるにつれて比仕事量測定値の分散度は大となる。

$$w = \frac{d}{0.186d - 0.18}$$

よつて測定には穿孔壓力、測定値の分散等を考慮し、標準として直徑 1.8mm の錐を使用した。

(3) ツガ健全材の場合、板目面に直角の方向の穿孔比仕事量と年輪密度との間に殆んど相關々係がない (年輪密度 7~15/cm の間で相関係數  $r=0.38$ )。木口面に直角の方向の穿孔比仕事量は板目面に直角方向のそれに比べて錐徑 1.6mm の場合には 12%, 錐徑 2.3mm の場合には 26%, それぞれ減少を示した。これは錐が春材部に偏して進入する爲と認められたので、試験は板目面に直角方向の穿孔を標準とした。

(4) ツガ健全材の場合、穿孔比仕事量と含水率の間には明確な関係が認められなかつた。(含水率 10~90%)。

(5) ツガ健全材の穿孔比仕事量の平均値は 12.2kg-mm/mm<sup>3</sup>(標準偏差 0.64kg-mm/mm<sup>3</sup>)であつた。

(6) その他の樹種健全材の穿孔比仕事量は概ね次の通りであつた。

$$\begin{aligned} \text{シホチ } w &= 14.0 \text{ kg-mm/mm}^3 & \text{スギ } w &= 9.9 \text{ kg-mm/mm}^3 & \text{ブナ } w &= 13.3 \text{ kg-mm/mm}^3 \\ \text{ヒノキ } w &= 11.7 \text{ kg-mm/mm}^3 \end{aligned}$$

(7) 廣葉樹硬材の比仕事量測定には本試験に用いた錐よりも鋭い双先のものを用いる必要が

ある様に思われる。

- (8) キチリメンタケにより人工的に腐朽させたツガ材の穿孔比仕事量は腐朽の進行に伴つて漸次減少し、腐朽5ヶ月目には健全材の74%を示した。
- (9) 同上ツガ腐朽材の穿孔比仕事量 ( $w$  kg-mm/mm<sup>3</sup>) と壓縮強度 ( $p$  kg/cm<sup>2</sup>) との関係は次式で示され、SIMINSKI 氏がマツ電柱材について報告したような正比例関係ではない。

$$p = 11.23e^{0.323w}$$

- (10) 同上のツガ腐朽材の場合、菌の接種後3ヶ月に至れば1.8mm錐による穿孔比仕事量の測定により材の腐朽を發見し得る。錐徑3.0mmのものを用いれば健全材と腐朽材の穿孔比仕事量の差は更に明瞭になる様である。
- (11) チデラケにより6ヶ月人工的に腐朽させたヒノキ及びブナの穿孔比仕事量はそれぞれ12%及び20%の減少を示した。
- (12) 穿孔比仕事量と重量減少率の間には明瞭な相關々係は認められなかつた。

以上の結果を総合的に考察すると次のことが言えると思う。

- (1) 穿孔試験による比仕事量の測定により木構造物部材の耐用度又は腐朽度を或る程度正確に判定し得る。
- (2) 強度の觀點から腐朽度を判定するには絶乾重量減少率を測定するよりも穿孔比仕事量の減少を測定する方が有効である。
- (3) 現實の部材の測定の場合、徑3mm程度の錐の使用が不都合でないならば、それより細い徑を用いるよりも、より有効である。
- (4) 本實驗に使用した試験機の原理を用いて適當な大いさの可搬式試験機を作製して、構造物部材の要所に穿孔試験を行えば、現實の構造物の耐用度乃至は腐朽による危險度を簡便且つ相當正確に判定し得る。

## XII 引 用 文 献

- (1) SIMINSKI, K. : Ein vereinfachtes Verfahren zur Holz Prüfung (Erste Mitteilungen des Neuen Internationalen Verbandes für Materialprüfungen), 1930
- (2) 十代田三郎 ; 木材腐朽度測定器の試作と其の測定値 (於林業試驗場研究會發表), 1951
- (3) 加藤誠平・上飯坂實 : 穿孔試験による木材構造物部材の耐用度について (豫報), 第59回日本林學會大會講演集, 1951
- (4) SACHSENBERG, E. ; Ausgewählte Arbeiten des Lehrstuhles für Betriebswissenschaften in Dresden, Bd. 3, 1926
- (5) 木下直治 : 木材切削加工法 (木工機械要覽), 1948
- (6) 森徹・淺野猪久夫 : 木材の腐朽速度に關する研究 (第1報), 木材工業, Vol. 5 No. 10, 1950

## Résumé

The authors considered that a new boring-test method might be more effective for practical purposes to investigate durability of wooden structural members. They devised an unique boring-test instrument shown in Fig. I, which enables the measurement of specific torque-energy of boring and carried out some fundamental experiments with 2cm×2cm×2cm test-pieces mainly of *Tsuga*. Boring tests were performed with ordinary round steel bores attached to the instrument, the diameters of which were small enough that the bored holes may cause no effects on the strength of timbers when the tests applied to the actual structural members. The authors believe that the testing-instrument, if being somewhat modified in convenient size, may be practically applicable for the judgement of durability of any wooden structures. Brief summary of the results obtained by the experiments are here noted.

(1) Specific torque-energy of boring was calculated by the following expression, the amount of  $m$  and  $v$  being read on the graphs made by the automatic recorder of the instrument.

$$w = \frac{2\pi m}{\frac{\pi}{4}vd^2} = \frac{8m}{vd^2}$$

where,  $w$ : Specific energy (kg-mm/mm<sup>3</sup>)

$m$ : Torque (kg-mm)

$d$ : Diameter of bore (mm)

$v$ : Penetrating depth of bore per rotation (mm)

(2) In the case of normal *Tsuga* (*Tsuga Sieboldii* CARR.) wood, following relations were found in regard to the diameter of the bore.

a) There was an approximately linear relation between diameter of bore and torque.

b) There was also an approximately linear relation between diameter of bore and penetrating depth per rotation of bore.

c) Relation between diameter of bore and specific torque-energy was given by the expression,

$$w = \frac{d}{0.186d - 0.18}$$

Deviation of the measured values of torque-energy increased according to the decrease of diameter of bore. Therefore, considering adequate pressure given to the bore and the deviation of measured values of torque-energy, standard diameter was chosen at 1.8mm.

- (3) In the case of normal *Tsuga* wood, there observed scarce relation between torque-energy and density of annual rings (Density of annual rings: 7~15/cm, correlation coefficient: 0.38) when boring was performed in the radial direction. In the case of boring direction parallel to the grain, torque-energy decreased 12% and 26%, as compared with radial boring, according to the change of diameter of bore 1.6mm and 2.3mm respectively. The reason of such decrease was considered to be caused by the fact that the bore penetrated automatically along softer fibers of springwood. Therefore, standard tests were performed in radial direction.
- (4) In the case of normal *Tsuga* wood, there observed no clear relation between torque-energy and moisture content of wood (Moisture content 10~90%).
- (5) The amount of specific torque-energy for normal *Tsuga* wood was average 12.2kg-mm/mm<sup>3</sup> (Standard deviation 0.64kg-mm/mm<sup>3</sup>).
- (6) The amounts of specific torque-energy for other wood species were, for example,
- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| a. <i>Shioji</i> ( <i>Fraxinus commemoralis</i> KOIDZ.)        | w: 14.0 kg-mm/mm <sup>3</sup> |
| b. <i>Buna</i> ( <i>Fagus crenata</i> B.UME)                   | 13.3 "                        |
| c. <i>Sugi</i> ( <i>Cryptomeria japonica</i> D.DON)            | 9.9 "                         |
| d. <i>Hinoki</i> ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> SIEB. et ZUCC.) | 11.7 "                        |
- (7) For boring-tests of hard woods, it may be preferable to use bores with somewhat sharper edges.
- (8) In the case of artificially decayed *Tsuga* wood [*Kichirimentake*, *Lenzites trabea*(PERS.)FR. was inoculated], specific torque-energy decreased according to the progress of decaying. For the wood of 5 months of decay, the amount of specific torque-energy decreased to 75% of that of the normal wood.
- (9) Compressive strength of the decayed *Tsuga* wood was correlated with



specific torque-energy. The relation was given by the expression,

$$P = 11.23e^{0.323w}$$

where,  $p$ : Compressive strength (kg/cm<sup>2</sup>)

$w$ : Specific torque-energy (kg-mm/mm<sup>3</sup>)

$e$ : Base of natural logarithm

- (10) In the case of decayed *Tsuga* wood, the fact of decay was reasonably distinguished by the measurement of specific torque-energy after 3 month progress of decaying when standard 1.8mm bore is used. When 3.0mm bore was used, rather clearer difference of specific torque-energy was observed between decayed and normal wood.
- (11) In the case of artificially decayed *Hinoki* and *Buna* woods [*Chijire'ake*, *Troglia crispa* Fr. was inoculated], specific torque-energy decreased 12% and 20% respectively after 6 month of decaying as compared with normal woods.
- (12) There observed no clear relation between specific torque-energy and ratio of decrease in weight due to decay.

Investigating the results of the experiments mentioned above as a whole, the authors conclude that,

- (1) Durability or grade of decay of wooden structural members can be judged with considerable accuracy by the measurement of specific torque-energy of boring.
- (2) It is more preferable to apply the torque-energy method than to measure weight decrease for the judgement of grade of decay on the view point of strength of structures.
- (3) For application of the new boring method to the actual wooden members, use of 3mm class bore, so far as it is allowable, may be more effective than that of bores with smaller diameters.
- (4) If the principle of the testing instrument were applied to a portable type instrument of an adequate size and boring tests carried out on some important points of members, durability of any actual structure or dangerous conditions caused by decaying of wooden members could be presumed or judged with considerable accuracy and convenient.