

「スギ正角材の曲げ強度の評価に関する研究」

（福井県産スギ材）

山 本 英 一

Bending Strength Evaluation of Sugi Timber

Eiichi YAMAMOTO

Wooden structures are as important as reinforced concrete and steel-frame structures. However, the technique to check the qualities of structural materials has not been sufficiently developed for the former, in comparison with that for the latter. Namely, the quality evaluation has been mainly based on the traditional experiences and observances rather scientific and technical approaches. In the present days when we use various kinds of timber produced in Japan and overseas and live in a highly advanced technical society, the conventional quality evaluation based on empirical appearance inspection is considered to be lacking in persuasion and wanting in reliability. The evaluation levels are not closely related with the allowable stress levels of timber material, specified in the execution rules of the building standard act of Japan and are, therefore, not prevalently used. Under these situations, it has been required to provide the grades will related with the strengths of the materials and to form the international standard for timber materials. In accordance with these trends, data all being accumulated in many parts of this country, with respect to the physical properties of timber materials produced in Japan. Also, in Fukui Prefecture, a survey on the qualities of sugi timber produced in the Okuetsu area. In this study, bending strength evaluations were made of practical size samples of sugi timber obtained in Fukui Prefecture. And, examinations and discussions are made on the relationships between the strength levels and the conventional grades based on the empirical method of appearance inspection.

I 緒 言

木造建築物は、鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造と共に主要な構造物であるが、構造を支配する部材の材質上のチェックについては、鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造に比較して十分とは云えないようである。即ち、材料の品質評価が、従来よりの伝統的な経験や慣習に支配されることが多く、科学技術的なチェックが少ないのである。こうした状況下に於いて、近年とくに国内外産を問わず、各種の木材が氾濫する傾向にあるとき、経験的な外観による判別方法での品質評価

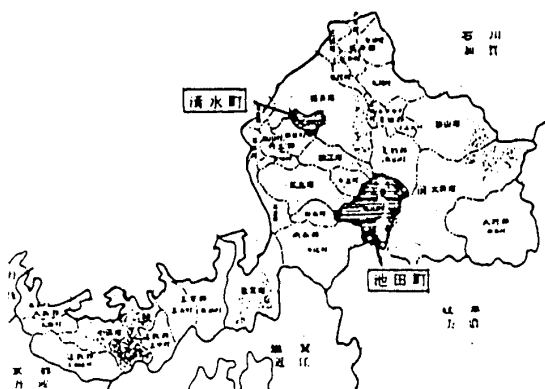
は、今日の如き高度な技術社会に於いては説得力にも欠け、信頼性にも乏しいものと考えられるのである。しかも、建築基準法施行令に於ける許容応力度との間には、今も尚距離感があり、定着性も薄いのである。従って、このような背景も手伝って、材の強度面をも加味した等級区分の必要性和、木材の国際的規格化が要望されるに至ったのである。斯様な意味から、最近国内各地域では、国内産木材の物理的性質に関する資料の蓄積が行われつゝあり、福井県に於いてもこの動静に同調すべく、奥越産のスギ材の品質に関して調査が行われるようになった。そこで本報告では、福井県内の今立郡池田町及び丹生郡清水町の二地域に於けるスギ正角材の曲げ強度について、実大供試体による試験を行い、その結果から得られる評価と、従来での経験的外観上の等級区分との間に、関係があるか否かを検討し言及するものである。

Ⅱ 実験概要

— 方針 —

本研究では、実大供試体を従来の方法(JAS規格に準じた方法)にて等級区分を行い、その等級区分上での各因子と、機械的な曲げ強さとの関係を検討するを目的としている。従って曲げ試験方法では2点載荷とし、其の中央区間(1/3区間)、即ち、曲げ応力が集中する中央部について、其の挙動を追求しようとするものである。とくに、中央部に存在する最大節径比、集中節径比、年輪幅、並びに材の比重、含水率等が曲げ性能に対して如何に関わり合うか、又、其の間に定量性があるか否かについて検討するものである。以下各試験及び調査過程に於ける各細目に関して次の通りとした。

1)、供試体



本実験に使用する供試体は、前述の如く福井県今立郡池田町及び丹生郡清水町の二地域産もので、樹齢17年～30年の心持ちスギの実大材のものを供した。サイズの種類は池田町産の場合、10.5cm角、12cm角の2シリーズとし、清水町産の場合は、10.5cm角1シリーズで、材長は全て300cmとした。尚、供試体の数量は、各シリーズ50本、計150本とした。

2)、等級区分に関する各因子

曲げ性能に関係するものと推測される等級区分上での各因子を次の通りとした。

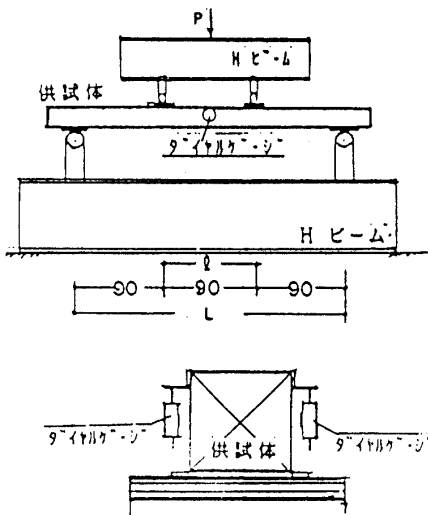
- | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| a) 気乾比重. | b) 含水率. | c) 平均年輪幅. | d) 集中節径比. |
| e) 最大節径比. | (f) 繊維方向の超音波伝播時間.) | | |

以上6項目を乾燥後に計測、試験を行うものとした。

3) 曲げ試験方法

試験は(図-1)の如く、スパン270cmで3等分の2点载荷とした。供試体中央部(ヨークスパン90cm)の変位測定には、供試体両側面に取り付けたダイヤルゲージを用い、その測定データはデータロガーにて収録した。又、载荷装置には100 t 万能試験機を使用した。

(図-1)



尚、曲げ領域1/3区間のヤング係数E及び、曲げ強度 σ (曲げ破壊係数)に就いては次式より算定した。

$$E = 3 \Delta P(L-1) l^2 / 8 y b h^3 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma = 3 P_{\max}(L-1) / 2 b h^2 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

但し、L…スパン(cm) l…ヨークスパン(cm)

P…荷重(kg) y… ΔP でのタワミ(cm)

b…材の幅(cm) h…材のせい(cm)とする

池田町産

試験結果表 (表-1)

| 12角 | 気乾 比重 | 平均年輪幅 W1 | 平均年輪幅 W2 | 含水率 全体% | 最大節径比 中央 1/3 | 集中節径比 中央 1/3 | ヤング係数 $E \times 10^3$ kg/crd | 曲げ強度 σ b kg/crd |
|---------|----------|-------------|-------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------|
| 一等 × | 0.41 | 3.40 | 4.08 | 18.1 | 16.0 | 21.9 | 74.6 | 381.9 |
| S.D | 0.01 | 0.29 | 0.93 | 0.69 | 4.12 | 7.17 | 4.87 | 17.5 |
| n=4 | | | | | | | | |
| 二等 × | 0.39 | 5.04 | 5.69 | 17.3 | 13.2 | 20.6 | 71.7 | 359.9 |
| S.D | 0.01 | 0.69 | 1.11 | 0.60 | 5.06 | 10.30 | 6.79 | 37.3 |
| n=26 | | | | | | | | |
| 等外 × | 0.39 | 5.50 | 5.60 | 17.4 | 13.8 | 22.7 | 68.1 | 366.2 |
| S.D | 0.03 | 0.73 | 1.18 | 0.92 | 5.81 | 12.08 | 6.95 | 42.8 |
| n=20 | | | | | | | | |
| 全数 50 × | 0.39 | 5.07 | 5.50 | 17.4 | 14.3 | 22.5 | 70.3 | 364.3 |
| S.D | 0.03 | 0.85 | 1.24 | 0.80 | 4.85 | 10.4 | 7.13 | 39.3 |
| C.V | 7.7 | 16.7 | 22.5 | 4.6 | 33.9 | 46.2 | 10.1 | 10.8 |
| Max | 0.47 | 6.7 | 8.9 | 20.5 | 25.6 | 45.1 | 87.8 | 432.6 |
| Min | 0.35 | 3.2 | 3.1 | 10.1 | 0 | 0 | 50.8 | 263.6 |
| 10.5角 | | | | | | | | |
| 一等 × | 0.41 | 4.75 | 6.05 | 16.1 | 14.6 | 17.68 | 71.88 | 344.6 |
| S.D | 0.14 | 0.15 | 0.69 | 0.19 | 6.33 | 7.87 | 4.55 | 35.4 |
| n=4 | | | | | | | | |
| 二等 × | 0.41 | 5.31 | 5.07 | 16.2 | 17.4 | 29.6 | 63.8 | 336.5 |
| S.D | 0.03 | 0.62 | 0.81 | 0.46 | 5.05 | 9.35 | 7.70 | 36.2 |
| n=32 | | | | | | | | |
| 等外 × | 0.40 | 5.11 | 5.08 | 16.0 | 15.6 | 28.1 | 69.6 | 352.6 |
| S.D | 0.03 | 0.90 | 1.18 | 0.32 | 4.46 | 12.04 | 6.43 | 29.8 |
| n=16 | | | | | | | | |
| 全数 30 × | 0.41 | 5.21 | 5.15 | 16.1 | 16.6 | 28.2 | 66.2 | 342.3 |
| S.D | 0.03 | 0.73 | 0.98 | 0.43 | 5.15 | 10.8 | 7.84 | 35.3 |
| C.V | 7.3 | 14.0 | 19.0 | 2.7 | 31.0 | 38.3 | 11.8 | 10.3 |
| Max | 0.49 | 6.6 | 8.3 | 17.1 | 28.5 | 64.2 | 83.9 | 432.7 |
| Min | 0.36 | 3.5 | 3.4 | 15.2 | 4.6 | 4.6 | 46.2 | 236.5 |

Ⅲ 試験結果と考察

各試験並びに計測の結果に就いては(表-1,2,)の通りである。尚本報告では、等級区分に於いて2等材と判定された数量が全体の70%以上であったので、2等材に焦点を絞って考察を行うものとした。

— 気乾比重 —

気乾比重については両地域共、平均的には0.4程度であるが、池田町の場合、0.35~0.4に集中しており、やや低めであった。

一方清水町産の場合、上下の幅が池田町産に比較してやゝ大きく、0.36~0.60であった。この

点の影響が曲げ性能にも関係したものと推測される。ヤング係数並びに曲げ強度の分布の幅が比較的大きいようであった。

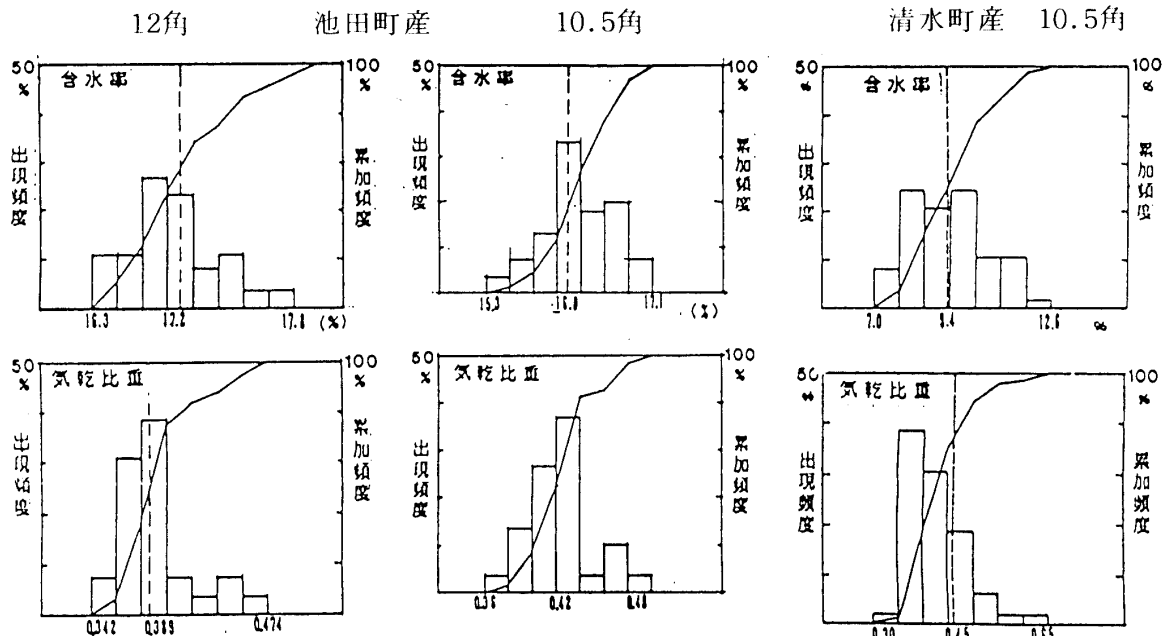
— 含水率 —

木材の含水率は、曲げ性能に関係する因子として重要なポイントであるが、今回の試験結果では清水町産の材が約13%とかなり下回り、しかも分散の幅も大きい結果となった。

清水町産

試験結果表 (表-2)

| 10.5角 二等 | 気乾 比重 | 平均年輪幅 (mm) | | 含水率 全体% | 最大節径比 中央 1/3 | 集中節径比 中央 1/3 | ヤング係数 EL×10 ³ kg/cm ² | 曲げ強度 σ b kg/cm ² |
|-------------|----------|---------------|------|------------|-----------------|-----------------|---|--------------------------------|
| n=50 × | 0.44 | 4.78 | 4.56 | 9.30 | 18.51 | 34.41 | 83.76 | 449.3 |
| S.D | 0.17 | 1.51 | 1.42 | 1.15 | 4.82 | 12.50 | 27.97 | 89.0 |
| C.V | 39.4 | 31.5 | 31.1 | 12.3 | 25.50 | 36.30 | 33.30 | 19.8 |
| Max | 0.60 | 6.00 | 6.86 | 12.0 | 28.07 | 62.70 | 142.20 | 631.7 |
| Min | 0.36 | 3.50 | 3.81 | 7.1 | 5.59 | 5.59 | 28.11 | 248.8 |

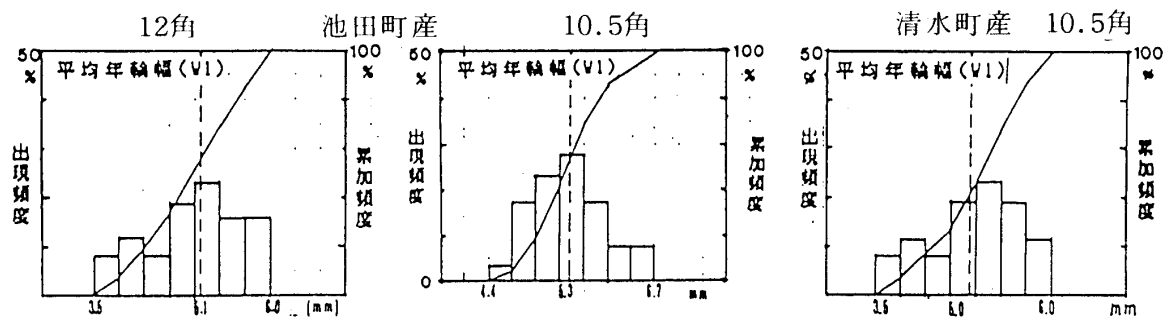


(図-2)

— 平均年輪幅 —

年輪幅に就いては両地域共、3.5mm~6mmの範囲にあり、割合よく似た性状であった。この点に於いて樹齢の同一性を確認したわけであるが、若齢時の年輪幅が多少大きいようであった。

(図-3)

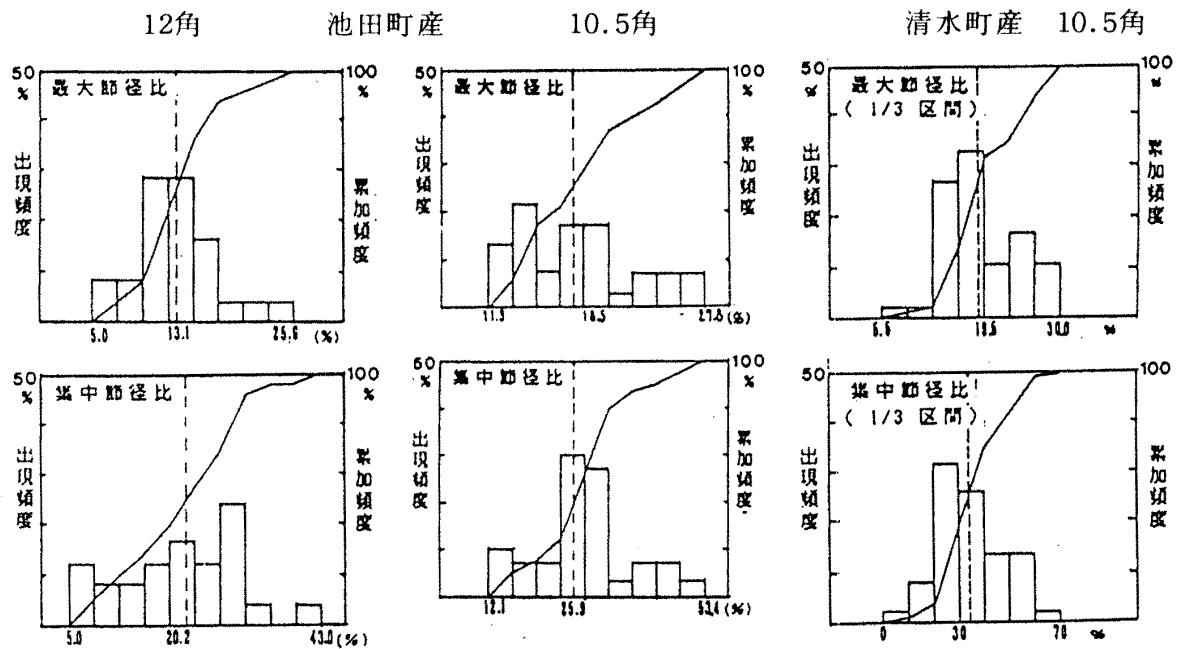


(図-3)

— 節径比 —

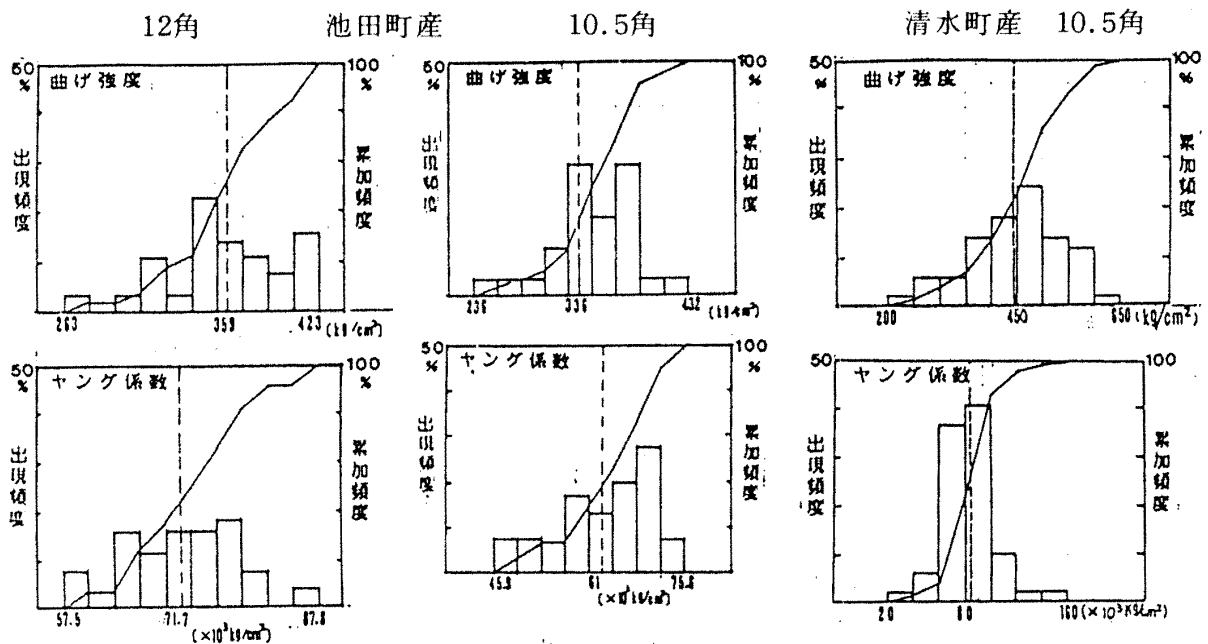
本報告では、曲げ試験に於いて曲げの影響を直接受ける供試体の中央1/3区間の節径比について述べるが、先ず最大節径比は、約5%~30%にて分散し、平均的には18%程度であった。また両地域産共に、きわめて大きく目立つ節はなかった。

次に中央1/3区間に於ける集中節径比であるが、これは2等材(並材)の常として、20%~30%の節径比は当然のようである。しかも、20%以上の集中節径比が全体の70%に達している。こうした性質が曲げ性能にバラツキをもたらすものと考えられる。(図-4)



(図-4)

「曲げ性能」



(図-5)

— ヤング係数 —

平均値に於いて、池田町産の10.5角が日本建築学会の基準値 $70(\times 10^3 \text{kg/cm}^2)$ を下回る結果となり、基準値をクリアしたものは、30%に過ぎなかった。逆に清水町産の場合は、基準値を下回るものが15%程度で、平均値に於いて $80(\times 10^3 \text{kg/cm}^2)$ とかなり高い数値が得られた。これは、含水率の影響があるものと推測される。又、池田町の12角の場合は、ほぼ平均的な材で基準値を割るものは全体の30%程度であり、低い値で $57.5(\times 10^3 \text{kg/cm}^2)$ であった。

— 曲げ強度 —

清水町産の場合、建築基準法に抵触する材が約3%程度あるが、トータル的には満足すべき結果が得られた。即ち、池田町の場合12角で平均値 359kg/cm^2 、10.5角が 336kg/cm^2 であった。また、清水町の場合 450kg/cm^2 ときわめて高い数値が得られた。(図-5)

— 曲げ性能と等級区分上の諸因子との相関性について —

本研究の目的である、等級区分上の諸因子と曲げ性能との関連性に就いて述べる。

「池田町産の場合」(表-3)にて明らかな如く概略的には際だって相関性ありと云い難いようである。即ち、12角の場合、ヤング係数と曲げ強度、ヤング係数と最大節径比、曲げ強度と年輪幅に於いて比較的高い相関性を見いだすが、他の因子に関しては相関性が認められなかった。次いで10.5角の場合は、ヤング係数と気乾比重、平均年輪幅及び最大節径比に於いて弱い相関が認められた。この現象は曲げ強度に於いても同様であり、集中節径比及びヤング係数との間に弱い相関があった。

曲げ性能と各因子との相関(R)(表-3)

| 池 田 町 産 | | 気 乾 比 重 | 平均年輪幅 W1 | 含水率 | 節径比1/3区間 | | ヤング 係数 E1 |
|------------|-------|------------|-------------|-------|----------|--------|-----------------|
| | | | | | 最 大 | 集 中 | |
| ヤング 係 数 | 12 角 | 0.176 | 0.228 | 0.187 | -0.533 | -0.333 | ... |
| | 10.5角 | 0.400 | -0.407 | 0.180 | -0.455 | -0.177 | ... |
| 曲 げ 強 度 | 12 角 | 0.184 | 0.510 | 0.010 | -0.055 | 0.311 | 0.640 |
| | 10.5角 | 0.090 | 0.480 | 0.040 | -0.090 | 0.423 | 0.430 |

清水町産の場合」(表-4)の如く、ヤング係数に於いて、気乾比重、平均年輪幅の両者に0.67、0.58とはほぼ相関ありとの説明がつき、曲げ強度では、ヤング係数、気乾比重、平均年輪幅に於いて、相関性を見い出すことができるが、其の他の因子に就いては相関がほとんど認められなかった。また清水町産の場合、ちなみに超音波測定装置によって材の繊維方向の音波伝播速度を測定し、速度と曲げ性能との関係を求めた。結果としてヤング係数との間には、負の相関係数0.59、曲げ強度についても負の相関係数0.54と、両者ともに割合高い相関が得られた。なお、(図-6)

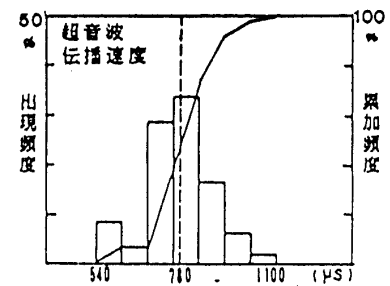
に於ける超音波速度のヒストグラムで明かなように、その分布は比較的集中度が高く、繊維方向では年輪幅に影響があるものと推測できる。

曲げ性能と各因子との相関(R)(表-4)

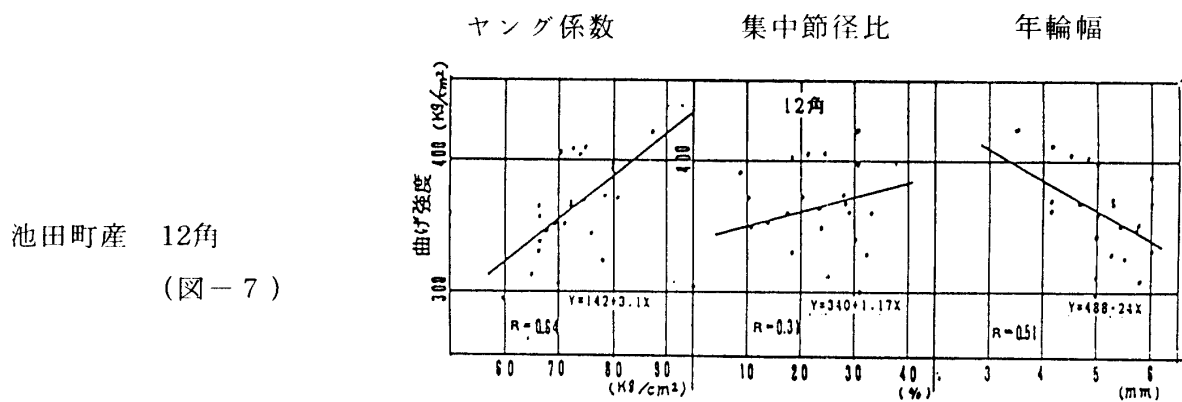
| 清水町産 10.5角 | 気乾 比重 | 平均年輪幅 W1 | 含水率 全体 | 節径比1/3区間 | | ヤング 係数 E1 | 超音波 速度 |
|--------------------|----------|-------------|-----------|----------|--------|-----------------|-----------|
| | | | | 最大 | 集中 | | |
| ヤング係数 E1 | 0.672 | 0.584 | 0.188 | -0.189 | -0.038 | ... | -0.591 |
| 曲げ強度 σ_b | 0.532 | -0.601 | 0.278 | -0.152 | 0.033 | 0.691 | -0.542 |

以上、二地域産に関する相関性に関しては、明かに差異が生じたが、これは池田町産の場合、データのバラツキに起因するものと考えられる。其の最たる理由としては、2等材としてのデータ数が多少不足した為と推測される。木材の場合1シリーズ50本程度は必要とするようである。

(図-6)

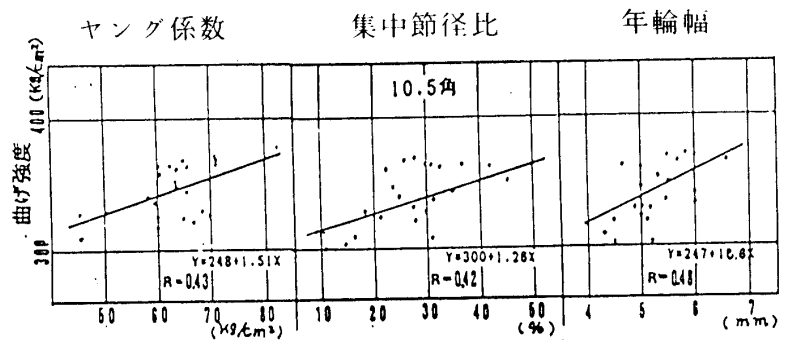


以上の諸要素から、各シリーズに於ける曲げ強度と各因子との関係を1次回帰分析にて求めた。次に掲げたものは比較的相関性の高いものである。

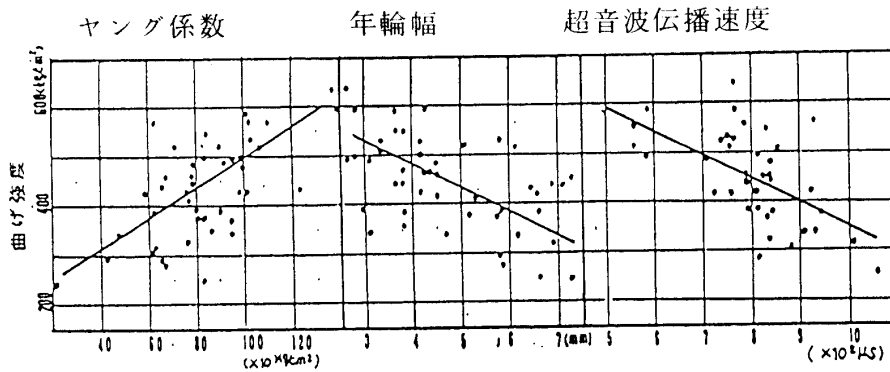


| | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|
| ヤング係数 | 集中節径比 | 年輪幅 |
| $\sigma = 142 + 3.10x$ | $\sigma = 340 + 1.17x$ | $\sigma = 488 - 24x$ |

池田町産 10.5角
(図-8)



| | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| ヤング係数 | 集中節径比 | 年輪幅 |
| $\sigma = 248 + 1.51x$ | $\sigma = 300 + 1.26x$ | $\sigma = 247 + 18.6x$ |



(図-9)
清水町産
10.5角

| | | |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| ヤング係数 | 集中節径比 | 超音波伝播速度 |
| $\sigma = 196.7 + 3.02x$ | $\sigma = 619.3 - 35.5x$ | $\sigma = 841 - 0.49x$ |

IV 結 言

今回の研究では、福井県の二産地におけるスギ製材品の曲げ性能に関して、各種実験を通して考察を加えたのであるが、とくに従来よりの外観上での慣習的等級区分と、曲げ性能との関係を量的に追究してみた。結果的には、資料がいま少し不足気味であった為、100%これを評価することは出来ないが、曲げ性能の高い材に於ける因子との間に、定量性を窺わせる材料を見いだせた。

尚、今後は木材の品質、性能に関する資料の蓄積を図る上からも、曲げ破壊試験のみならず、試験方法を変え、角度を変えて研究する必要があると考えるものである。斯様な点から次報に於いては、非破壊試験法による品質評価に関する研究を進め報告するものである。

— 参考文献 —

- 日本建築学会：木造設計基準同解説
- 林野庁研究報告書25：構造用製材強度区分に関する研究
- 全国木材組合連合会：素材製材等の日本農林規格同解説