

河川構造物に用いられていた 木材の強度

STRENGTH OF WOOD MATERIALS USED FOR RIVER STRUCTURES

杉尾 哲
Satoru SUGIO

正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科（〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1）

It is very important for maintaining the environment of the river to use wood materials for the river structures. Wood had been used well in old times. Because the technology was not succeeded to now, there are many technical problems. Such as, what kind of wood should be used, how strength can be expected, how the endurance years can be expected. A past research on these problems cannot be found. Then, the woods used for the river structures were gathered, strength was examined, and various examinations were conducted.

As a result, the following results were obtained. If the average annual ring width of wood is almost 3.5 mm or less, standard compression strength can be expected for 25-35 years. When the use position exceeds the height of almost 40cm from the water surface, strength is deteriorated by decay. When the wood of almost 4 mm or less in the average annual ring width is used, standard bend strength can be expected.

Key Words : river environment, strength tests, average annual ring width, endurance years, compression strength, bend strength

1. まえがき

自然素材である木材を用いて多自然型川づくりを設計する際に、どのような木材を使用したら良いのか、どの程度の強度を期待できるのか、どの程度の耐用年数を持つのか、などの技術的課題がある。しかし、陸域に施工された杭の耐久性に関する研究^{1)~3)}がわずかに見られる程度で、河川での上記の課題に関する研究は見出せず、具体的な根拠に乏しい。本研究室においては、過去に河川構造物として使われていた種々の木材を採取して材料強度試験を行い、その結果を検討してきた^{4)~7)}が、それらの結果を整理する必要があった。そこで、本報は、これまでの結果に未発表の結果を加えて、新たに検討することにより、木材を用いた河川構造物設計のための基礎資料を提供することを目的とする。

2. 材料強度試験

(1) 試料採取と供試体作成

本試験に使用した試料は、宮崎県内を流れる一級河川大淀川あるいは二級河川清武川や一ツ瀬川で河川構造物として使用されていた木材を河川管理者が採取して、本

研究用に提供されたものである。また、比較対象試料として未使用の宮崎産スギ丸太も含まれている。なお、試験的な試料以外の樹種は、すべてスギであった。これらを整理して表-1に示している。

大淀川で採取した試料の多くは、写真-1に示すような平成3年3月に施工された多自然型護岸に木材の耐久試験用として施工されていた杭で、スギのほかに試験的に用いられたオビスギ、ヒノキ、マツが含まれている。これらの試料の長さは約3mで、下部の約2m部分が河床に

表-1 材料強度試験用の試料とその工種

試料名	採取河川	工種	施工年	採取年	設置年数
大淀杉	大淀川	杭	H3年	H12年	9年
鉄肥杉					
ヒノキ					
マツ					
大淀杉旧	清武川	杭	S10年	H5年	58年
		枠	S37-38年	H3年	37-38年
清武杉1		杭	S40年	H12年	35年
清武杉2		杭	S40年	H2年	25年
清武杉3	一ツ瀬川	沈床	S39年	H3年	27年
一ツ瀬杉		牛	S55年	H3年	11年
新杉	—	—	—	—	なし

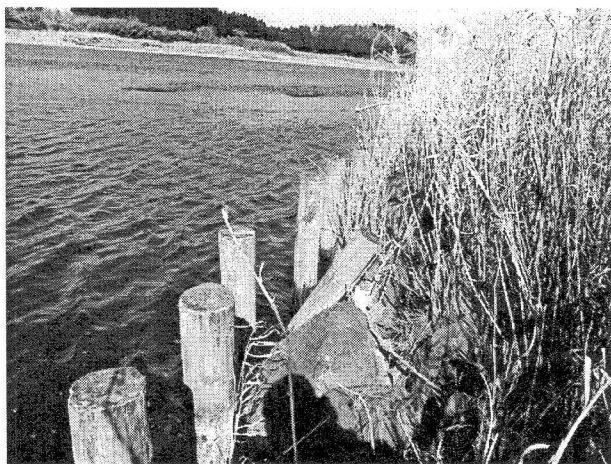


写真-1 大淀川の多自然型護岸の杭

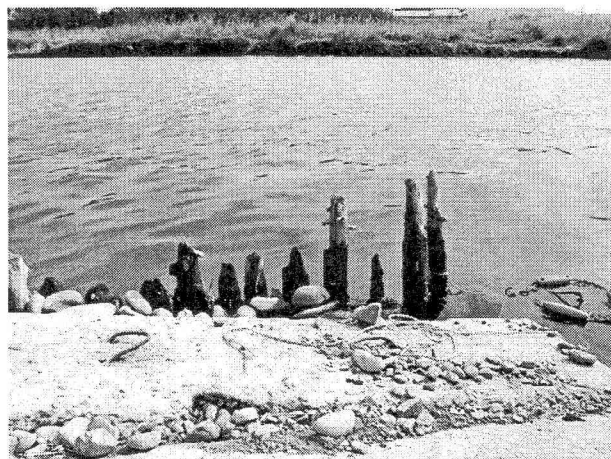


写真-2 清武川の低水護岸の杭

埋まっいて、河床から上の約50cm部分は常時水中にあり、その上部は水位の変動により湿潤と乾燥を繰り返していた。清武川で採取した「清武杉1」と「清武杉2」は、採取地点が同じ試料である。この試料は、昭和40年に施工されたスギ材で、木工沈床と杭として施工されていた。杭の長さは約2mで、下部の約1.3m部分が河床に埋まっていた。採取地点の200m下流に農業用取水堰があるため、河床から上の約50cm部分は、灌漑期には写真-2のように水没するが、非灌漑期には水面より上になる状態であった。一ツ瀬川で採取した試料は、昭和55年に施工されたスギ材で、聖牛として施工されていたものである。聖牛の下部は写真-3の後方に設置されている牛のように、常時水中に位置していた。これらの試料の採取は建設機械を用いて行われた。

これらの採取された試料は、直ちにビニールシートで被覆しておいて製材所に持ち込み、外形を保っている部分をそのまま切断して、材料強度試験用の供試体とした。杭の場合には、河床位置を中心とする1m長の供試体を作成して曲げ試験用とし、残りの部分から直径の2倍の長さで切断して圧縮試験用とした。また、これらすべての供試体を挟む位置で約5cmの長さに切断して含水率測定用の供試体とした。これらの供試体はビニール袋に梱

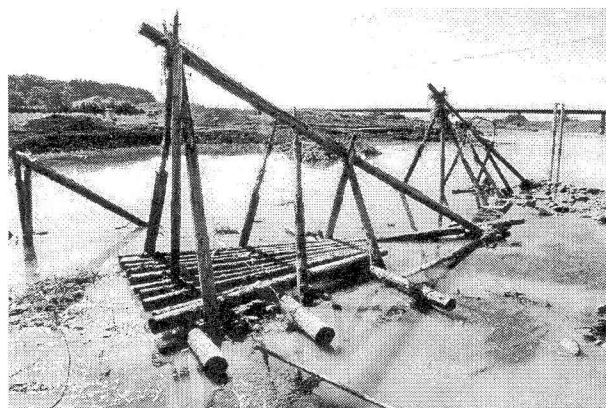


写真-3 一ツ瀬川の聖牛

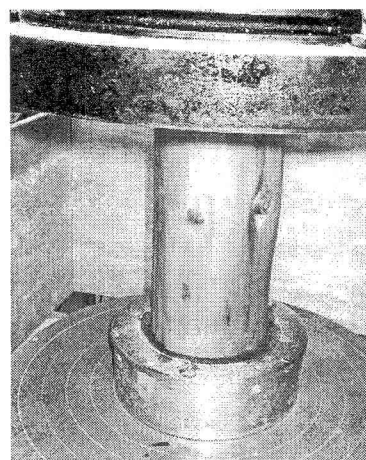


写真-4 圧縮強度試験

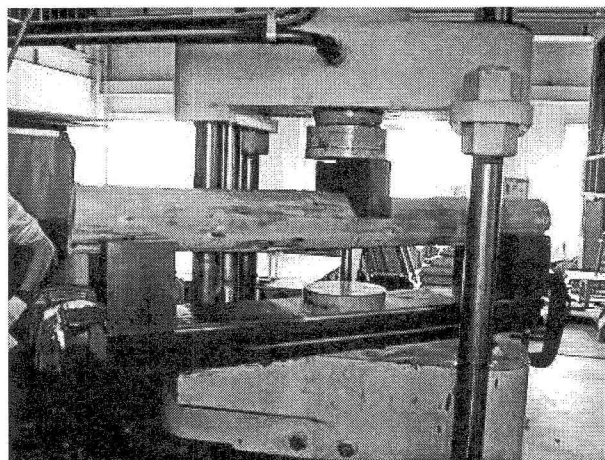


写真-5 曲げ強度試験

包して実験室に持ち込んだ。

(2) 材料強度試験

材料強度試験は、300トン万能試験機により圧縮強度試験を行い、30トン万能試験機で曲げ強度試験を行った。圧縮強度試験は、写真-4のように、供試体を軸方向に立てて繊維方向に载荷して行った。曲げ強度試験は、写

表-2 木材の強さ（強度の単位：kgf/cm²）〔含水率15%のとき〕

樹種	圧縮強度	引張強度	曲げ強度	せん断強度	繊維飽和点(%)
スギ	260～415	515～750	300～750	40～85	24.0
ヒノキ	300～400	850～1500	510～850	60～115	24.6
アカマツ	370～530	840～1860	360～1180	50～120	27.4
ブナ	380～520	105～1025	815～1015	80～160	27.8
ケヤキ	485～610	540～1405	815～1185	85～210	—

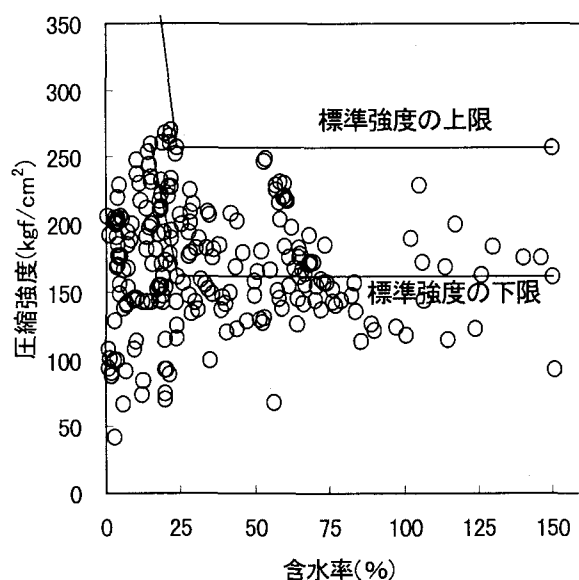


図-1 圧縮強度の試験結果

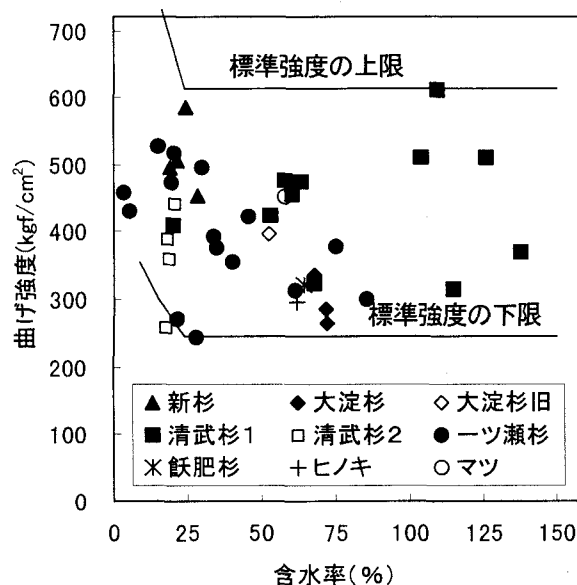


図-2 曲げ強度の試験結果

真-5に示すように、架台の両端に支点を設け、その中央に載荷して行った。なお、曲げ強度試験においては、中央載荷のほかに2点載荷で行う方法もあるので、スギ丸太の1供試体について支点間隔を3等分し、2点に載荷して曲げ強度試験を行って、載荷法の違いによる曲げ強度の相違についても確認している。

すべての供試体について直径と長さ、心材年輪幅、辺材年輪幅、年輪数、終局荷重を測定した。直径 d については、供試体両端での測定値の平均を用いた。

圧縮強度と曲げ強度は次式で算定した。

圧縮強度については

$$f_c = P_c / A \quad (1)$$

曲げ強度については

$$f_b = P_b \cdot a / 2W \quad (2)$$

ここに、 P_c :圧縮試験の終局荷重、 A : $\pi d^2/4$ で算定される供試体の断面積、 P_b :曲げ試験の終局荷重、 W : $\pi d^3/32$ で算定される断面係数、 a :支点からの距離で、支点間隔を L とすると、中央載荷の場合は $L/2$ 、2点載荷の場合は $L/3$ である。

圧縮強度の算定結果を、林学分野で用いられている含水率 $[(W_w - W_d)/W_d]$ 、ここに、 W_w :湿潤重量、 W_d :乾燥重量を横軸にとって図示すると、図-1のようになる。

3. 材料強度試験結果

(1) 標準強度

スギ材の標準強度は、含水率が15%の場合に圧縮強度が260～415kgf/cm²で、曲げ強度が300～750kgf/cm²である⁸⁾。含水率が繊維飽和点(24%)以下では、含水率が1%増えると、圧縮強度は5%低下し、曲げ強度は2.2%低下するが、繊維飽和点を超えるとあまり変わらないとされている。他の樹種と一緒に種々の標準強度の値を表-2に示している。

(2) 圧縮強度試験結果

図-1は、圧縮強度試験を行ったすべての供試体について、圧縮強度の試験結果を示したものである。図中には、スギ材の標準強度の上限と下限を実線で示しているが、標準強度を満たしている供試体もあれば、満たしていない供試体もあることが分かる。

(3) 曲げ強度試験結果

図-2は、曲げ強度の試験結果を試料ごとに示したものである。この場合も、スギ材の曲げ強度の標準強度を実線で示している。また、図中にはスギ材以外の結果を併せて示している。これらの結果は、供試体によって強度に大きな違いがみられるが、ほぼすべての供試体がスギ材の標準強度の範囲内にあることが分かる。

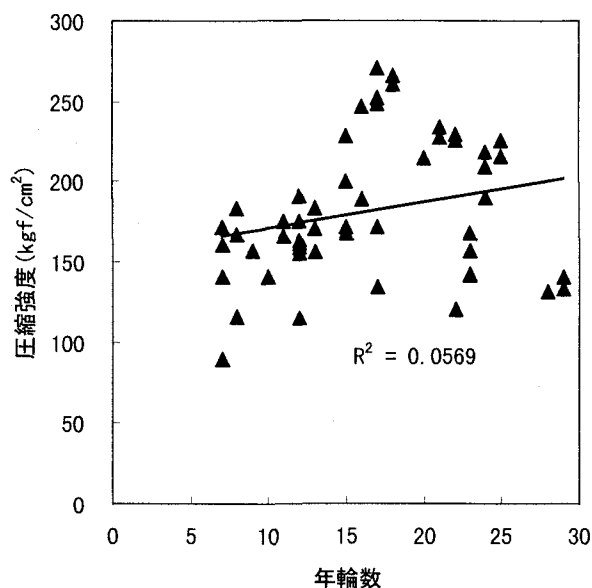


図-3 圧縮強度と年輪数との関係

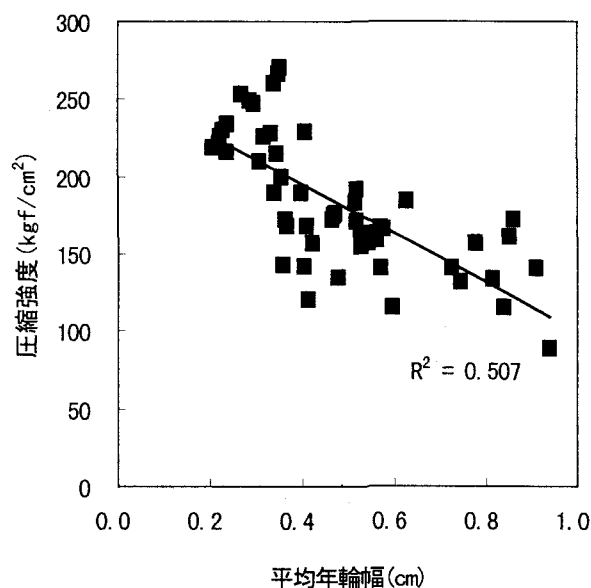


図-5 圧縮強度と平均年輪幅との関係

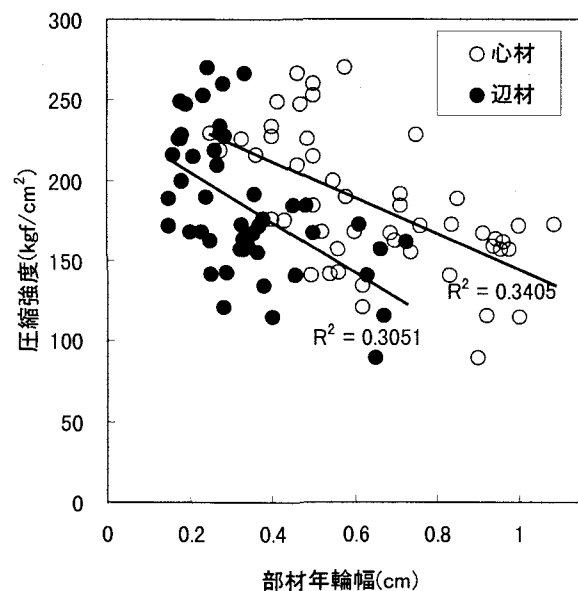


図-4 圧縮強度と材年輪間隔との関係

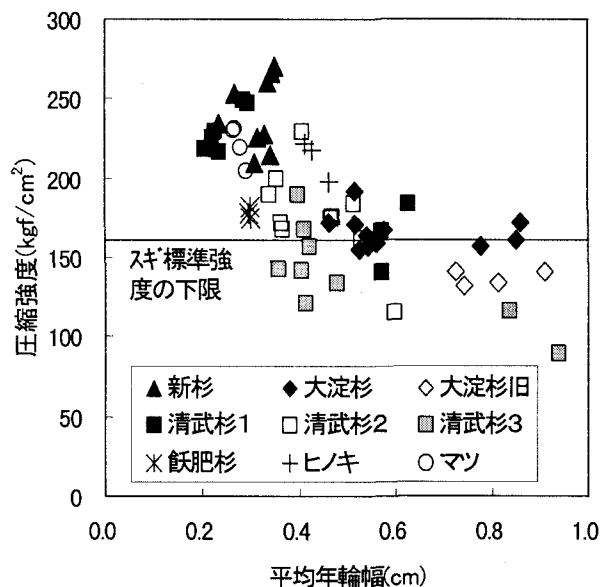


図-6 試料ごとの圧縮強度と平均年輪幅との関係

4. 材料強度の検討

(1) 杭の圧縮強度

木材の圧縮強度は、含水率のほかに、種々の変数に左右されることが知られている²⁾。そこで、杭として使われていたスギ材の供試体について、年輪数や心材年輪幅、辺材年輪幅などの測定値と圧縮強度との関係を調べてみた。図-3は年輪数との関係を示したものであり、図-4は心材年輪幅および辺材年輪幅との関係を示したものである。図中の R^2 の値は、測定値を一次式で推定したときの測定値 y_i と推定値 Y_i の決定度係数であり、測定値の平均値を $\bar{y}$ で表すと次式で定義される。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - Y_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

これらの図では、決定度係数は小さく、上記の変数だけでは圧縮強度と線形の比例関係にないことが分かる。

そこで、これらの変数を総合した変数として、供試体の半径を年輪数で除した値で定義した平均年輪幅を考え、これと圧縮強度の関係を示すと図-5を得た。この場合の決定度係数は図-3と4よりも大きくなっていて、平均年輪幅と圧縮強度との間に線形の比例関係があることが分かる。図-5の結果を試料ごとに示して、他の樹種も併せて示したものが図-6である。この図から、まず、平均年輪幅が3~4mmの範囲の供試体について「清武杉1」と「清武杉2」の圧縮強度を「新杉」のそれと比較すると、これらはほぼ同じ強度を示している。このことから、清武川に25~35年間にわたって浸水していた杭が、新材と変わらない圧縮強度を維持していたことを確認できる。

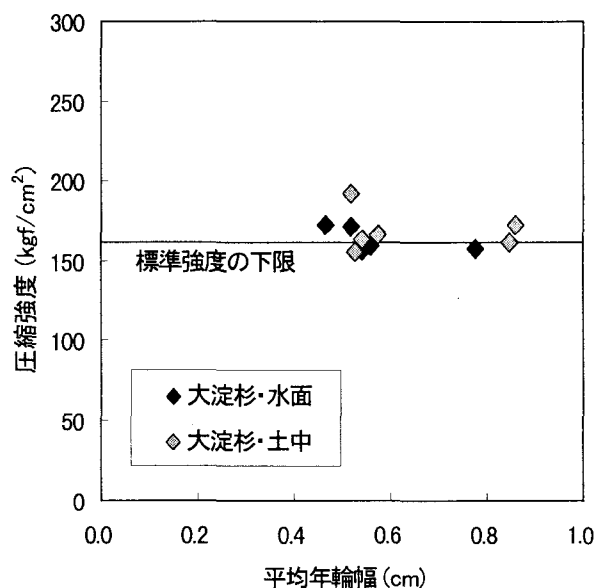


図-7 圧縮強度と供試体切断位置との関係

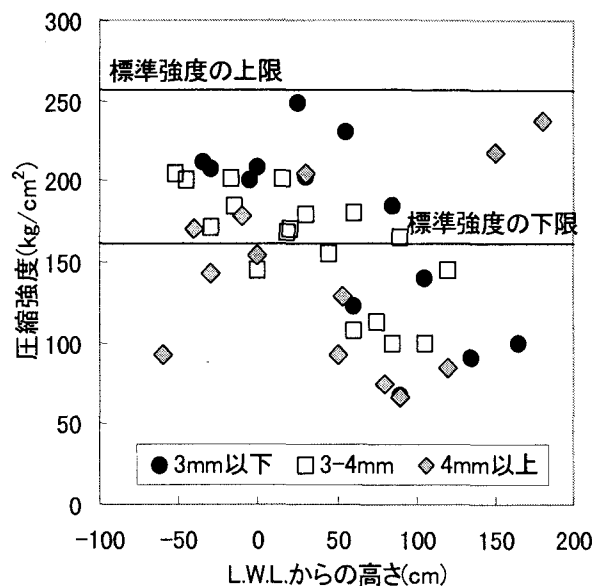


図-9 聖牛縦材のL.W.L.からの高さで圧縮強度との関係

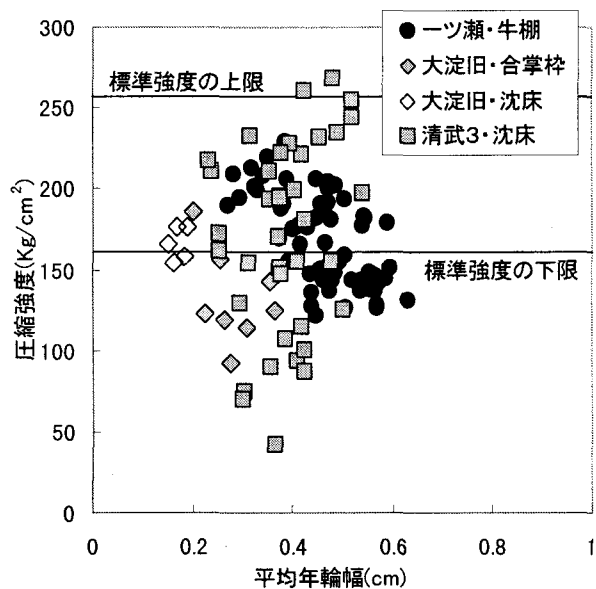


図-8 伝統工法での水平部材の圧縮強度

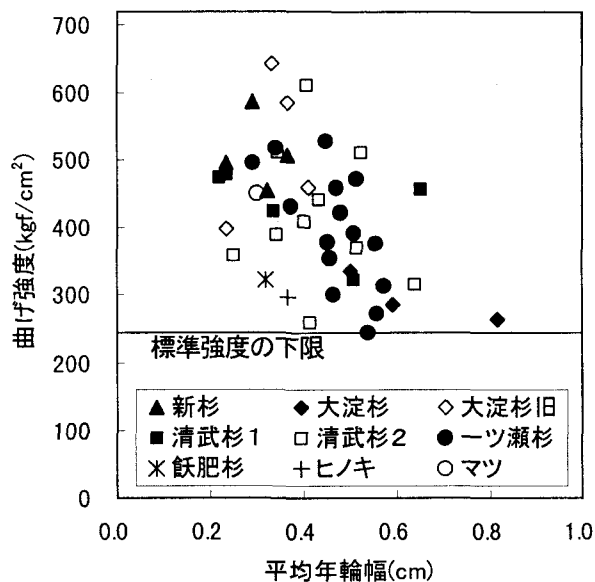


図-10 試料ごとの曲げ強度と平均年輪幅との関係

つぎに、平均年輪幅がほぼ3.5mm以下であれば、標準強度の下限より圧縮強度が大きくなっている。このことから、平均年輪幅がほぼ3.5mm以下のスギ材を杭に用いると25～35年間にわたって標準強度を期待できることが言える。なお、「飢肥杉」は、年輪幅が約3mmと小さいが、他のスギ材に比べて圧縮強度が小さくなっていて、柔らかい材質であることが確認できる。

つぎに、杭の圧縮強度が供試体の切断位置で相違するのかを「大淀杉」について整理すると図-7のようになる。「大淀杉・水面」と記載している供試体が曲げ試験用の供試体よりも上側の水面位置で切断した供試体であり、「大淀杉・土中」と記載している供試体が下側で切断した供試体である。これらを互いに比較しても、圧縮強度に明確な違いはない。したがって、浸水している杭は、部

位による強度の劣化の相違がないと言える。

(2) 伝統工の圧縮強度

種々の伝統工法に水平部材として用いられていたスギ材について、図-6と同様に整理すると図-8のようになる。この場合には、平均年輪幅が3.5mm以下でも標準強度より小さな圧縮強度の供試体があることが分かる。しかし、常時浸水していた聖牛の棚木の供試体「一ツ瀬・牛棚」は、図-6と同様の分布を示している。これに対し、「大淀旧・沈床」や「大淀旧・合掌杵」は、低水時には水面より上に位置していたことが確認されている。ここに、木材の腐朽は、含水比の高い部分では進行せず、部材の切り口部分から繊維方向に進むことが知られている。このことを考慮すると、水面より上で水平部材として使わ

れていた供試体は、腐朽によって強度が劣化していたことが考えられる。

そこで、「一ツ瀬杉」の試料で、聖牛の縦材(合掌木および立木)として使われていた供試体について、圧縮強度がL.W.L.からの高さによって相違するのかを平均年輪幅ごとに整理すると図-9の様になる。ほぼ40cmの高さを境に、それよりも高い位置の供試体には標準強度より小さなものが多いことが分かる。このことから、L.W.L.からの高さがほぼ40cmを超えると、腐朽による強度の劣化が著しいことが言える。

これらの結果から、種々の伝統工法にスギ材を用いる場合には、L.W.L.からほぼ40cmの高さまでの位置で平均年輪幅が3.5mm以下の材を用いることによって、標準強度を期待できると言える。

(3) 曲げ強度

曲げ強度の試験結果について、図-6と同様に、平均年輪幅で整理すると図-10が得られる。図中には、スギの曲げ強度の標準強度の下限を示し、他の樹種も併せて示している。なお、曲げ強度試験については、1個の供試体だけ2点荷重法で試験している。その値は、図中の「マツ」の右に隣接する「新杉」であり、他の中央荷重法で試験した測定値と明確な差は生じていない。したがって、荷重法の違いによる曲げ強度の測定誤差は大きくないことが確認されたと考える。

平均年輪幅が2~4mmの範囲の供試体について、「清武杉1」と「清武杉2」の曲げ強度を「新杉」のそれと比較すると、これらはほぼ同じ強度を示している。このことから、清武川に25~35年間にわたって浸水していたスギ材が、新材と変わらない曲げ強度を維持していたことが分かる。また、平均年輪幅がほぼ4mm以下のスギ材を用いると25~35年間にわたって標準強度を期待できることが言える。

5. まとめ

以上のように、河川構造物に使用されていた木材について、その材料強度試験を行って種々の検討を行った。その結果をまとめると以下のようである。

- 1) 今回採取した木材は、試験用のものを除けばすべてスギであり、供試体によって強度に大きな違いが見られた。
- 2) 清武川に35年間にわたって浸水していた杭は、新材と同じ圧縮強度と曲げ強度を維持していた。
- 3) 供試体の半径を年輪数で除した平均年輪幅は圧縮強

度と線形の比例関係があり、平均年輪幅がほぼ3.5mm以下の木材を杭に用いると、25~35年間にわたって標準強度を期待できる。

- 4) 浸水している杭は、部位による強度の劣化の相違がない。
- 5) 水面より高い位置で用いる部材は、腐朽によって強度が劣化する。
- 6) L.W.L.からほぼ40cmの高さまでの位置で平均年輪幅が3.5mm以下の材を用いると、標準強度を期待できる。
- 7) 曲げ強度は、平均年輪幅がほぼ4mm以下の材を用いると標準強度を期待できる。

以上により、木材を活用した河川構造物を設計する際の基礎資料を、ある程度提供できた。木材は自然素材であり、自然共生型の社会基盤整備を進めるには、木材を活用した伝統的な治水工法による多自然型の河川整備を推進することが重要である。今後とも、川づくりでの有効な木材の活用方法について検討したいと考えている。

謝辞：本報で用いた試料は、すべて、国土交通省宮崎工事事務所および宮崎県土木部から本研究用に提供されたものである。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長谷川益夫ほか：富山県における治山木杭の耐久性(第1報)、木材保存Vol.19-1, pp.13-22, 1993.
- 2) 中村嘉明：野外杭試験と室内腐朽性試験の関係、木材保存Vol.17-1, pp.17-25, 1991.
- 3) 鈴木憲太郎ほか：各種防腐処理小丸太の野外における被害経過と耐用年数、林業試験場研究報告、第315号, pp.105-111, 1981.
- 4) 杉尾哲、中澤隆雄、瀬崎満弘：伝統的河川工法に用いられていた木材の強度、土木学会第46回年講概要集, pp. II-218~219, 1992.
- 5) 杉尾哲、中澤隆雄、瀬崎満弘：伝統的河川工法における木材の耐水強度に関する研究、宮崎大学工学部研究報告、第37号, 1992.
- 6) 杉尾哲、中澤隆雄、瀬崎満弘：伝統的河川工法に用いられていた木材の強度(その2)、土木学会第47回年講概要集, pp. II-514~515, 1993.
- 7) 杉尾哲、中澤隆雄：伝統的河川工法に用いられていた木材の強度(その3)、土木学会第55回年講概要集CD版, II-144, 平成12年.
- 8) 土木学会編：土木工学ハンドブック上巻, pp. 411~420, 1974.

(2002. 4. 15 受付)