シロアリ食害材の強度特性と密度および超音波伝搬速度の関係[†]

森 拓 郎* 香 束 章 博**
築 瀬 佳 之*** 小 松 幸 平****

Relationships between Strength Properties and Density or Ultrasonic Velocity of Timber Attacked by Termite

by

Takuro MORI *, Akihiro KOUSOKU **, Yoshiyuki YANASE *** and Kohei KOMATSU ****

To evaluate a decrease in strength of wooden members and wood-based materials attacked by termites or wood-destroying fungi is important for long-term maintaining of wooden constructions. The relationships between strength and degree of biodeterioration of wooden members and wood-based materials were not evaluated properly, though there were few techniques for evaluating the degree of biodeterioration in wooden constructions using screwdriver, palpation or other apparatus. In this study, the strengths of three species of wood attacked by termites were evaluated using bending test and compression test of perpendicular to the grain, and the relationships between the strength and the density or the velocity of ultrasonic in the attacked wood were also investigated. As the results, European spruce specimens had large damage comparison with other species. Thus the density of attacked wood was positively correlated with the bending strength and young's modulus. The velocity of ultrasonic in attacked wood was loosely correlated with the bending strength and young's modulus. In the case of picking up the European spruce material, between the velocity of ultrasonic and bending strength or young's modulus showed good correlation. On the other hand, it was not found that the density and the velocity of ultrasonic were positively correlated with the compression strength and young's modulus.

Key words : Termite, Bending strength, Compression strength, Ultrasonic velocity, Density, Biodeterioration

1 緒 言

現在、住宅の長期使用を目指して、国土交通省が施行した「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」などを中心として様々な取り組みが進められている。この施策を進めるに当たり木造住宅の長寿命化においては、木質材料の安定的な長期使用が可能であることが重要な要因となる。この場合、シロアリや木材腐朽菌による生物劣化を受けた木材および木質材料の強度低下を正確に評価することが必要となる。しかし、木材および木質材料については、「木造住宅の耐震診断と補強方法」³⁾「実務者のための住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル」⁴⁾および「木造住宅の耐久設計と維持管理・劣化診断」⁵⁾によって、その性能評価が非破壊検査と併せていくつか紹介されているのみである。また、その評価方法は、マイナスイオンによる穿孔や触診、その他の機器を用いたものなどが提案されているが、決して工学的な見解が示されているわけではなく、また正確な評価が可能であるとは言い難い。

そのため、木造住宅を長寿命化するにあたって生物

劣化を受けた木材および木質材料の残存耐力を評価し、木材や接合部における補強方法や取り替えの目安などを検討できるようにすることが重要となる。この生物劣化において、腐朽とシロアリによる食害は連動していることもあるが、耐力低下の要因としては主にセルロースの分解と空洞化という異なった損傷であると考えられる。そのため、腐朽とシロアリ食害を個別に捉えることが重要であると考え、シロアリによる食害とその食害材における残存耐力について注目すると、野口らの研究⁶⁾や大村らの研究⁷⁾などが見られるが、十分なデータがあるとは言い難く、またそのデータの蓄積は少ない。地震時になされた住宅の被害調査などではいくつかの報告があり^{8),9)}それらは地震で倒壊や半壊など大きな被害を受けた住宅の多くがシロアリや腐朽による生物劣化を受けていたと報告している。これらのことより、シロアリ食害による木材および木質材料の強度低下を評価することは、地震などの被害や建物の長期性能を保証するためには重要であると考えられる。

そこで本研究では、土台や柱に使われているオウシュ

[†] 原稿受理 平成 21 年 8 月 10 日 Received Aug. 10, 2009 © 2010 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 京大大学生存圏研究所 〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Res. Inst. for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., Gokasho, Uji, 611-0011

** 住友林業(株)木材建材事業本部 〒100-8270 東京都千代田区大手町, Sumitomo Forestry Co. Ltd., Timber and Building Materials Business Headquarters, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8270

*** 正 会 員 京都大学大学院農学研究科 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町, Graduate School of Agri., Kyoto Univ., Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502

**** 京大大学生存圏研究所 〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Res. Inst. for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., Gokasho, Uji, 611-0011

ウトウヒ (俗称: ホワイトウッド), スギ, ヒバをシロアリに食害させ, その材料の曲げおよび全面横圧縮実験によって残存耐力を評価するとともに, 食害材の密度および超音波伝搬速度と材料強度の関係について検討した。

2 試験概要

2.1 試験体

試験体は, ヒバ (*Thujopsis dolabrata*), スギ (*Cryptomeria japonica*), オウシュウトウヒ (*Abies pectinata*) の3樹種で, ヒバは心去り, スギは心持ち, ホワイトウッドはE95-F270の異等級対象構成集成材であり, どの試験体においても辺材を含んでいた。また, 試験体の含水率 (ケット科学研究所製 HM-520 を用いて表面より計測) の平均値は, 試験地設置前でヒバが 17.7%, スギが 9.1%, オウシュウトウヒが 11.0% であった。Fig. 1 に示すように 3 樹種をそれぞれ 105 × 105 × 1000mm にカットした後, 木口からの食害を防ぐために酢酸ビニル接着剤を用いてシーリングした。試験体は試験地である和歌山県 M 町にて, 事前の餌杭による調査によってイエシロアリ (*Coptotermes formosanus*) の生息が認められた箇所に設置し, 食害を受けさせた。試験体の設置方法は, プラスチック製の土壁などを練る際に用いる容器で蓋をすることにより, シロアリが好むような出来る限り無風で暗い環境を整えた (Fig. 2)。その容器内の温度と湿度の状態の一部 (2007 年 5 月 28 日より 11 月 26 日) を Fig. 3 に示す。また, 試験実施前の計測として, 試験体の質量, 縦振動による動的ヤング係数および超音波伝搬速度を測定した。2007 年 4 月下旬に試験体を設置した後, 毎月 1 回程度, 試験体へのシロアリ食害状況の経過観察を行い, その都度食害が認められた試験体を用いて試験を行った。

2.2 曲げ試験

曲げ試験は, 生存圏研究所所有の Instron 製材料試験機を用いて加圧速度 2mm/min で中央載荷の 3 点曲げとし, スパン 800mm で実施した (Fig. 4)。試験体は, 試験地設置時の含水率に近づくまで室内環境下で風乾し, 50 × 50 × 1000mm の寸法に 4 分割した。曲げ試験時の含水率の平均値はヒバが 13.4%, スギが 10.6%, オウシュウトウヒが 11.0% であった。また, コントロール試験として食害試験に供しなかった健全材についても各樹種 4 体ずつ実施した。測定項目は, 見かけの曲げヤング係数を得るための中央たわみと, 曲げ強度を得るための荷重とし, データロガーを用いて連続的に計測した。

2.3 全面横圧縮試験

全面横圧縮試験は, 曲げ試験と同様の試験機を用いて加圧板を固定して 0.5mm/min で実施した (Fig. 5)。試験体 (約 50 × 50 × 50mm) は, 曲げ破壊に至らしめた材料より, 破壊の影響がほとんど見られないと判断した部分から 1 つないし 2 つ切り出した。ヒバとスギの試験体には追い杭のような試験体も含まれていた。本試験における測定項目は, 加圧盤間の変位と荷重であり, データロガーを用いて連続的に計測した。なお, 全面横圧縮

Fig. 1 Set-up of specimens on the site.

Fig. 2 Plastics container for covering specimens and specimens attacked by termite.

Fig. 3 The ambient of temperature and humidity of the specimens.

Fig. 4 Set-up of specimen for bending test.

試験における降伏荷重は、初期剛性を 1mm オフセットさせた直線と実験値との交点とした。

3 試験結果と考察

3・1 シロアリ被害状況

試験体の被害状況については、目視で明らかなほど樹種間でその程度が異なり、オウシュウトウヒ>スギ>ヒバの順であった。これは、心材部の比率の違いもあると考えられるが、木材工業ハンドブック¹⁰⁾に示されている木材の心材部による生物劣化の耐久性と同様の結果であり、本試験での被害条件が特異な状況ではなかったと考える。特にオウシュウトウヒについては、最も激しい被害が見られ、大きな断面欠損を起こしていることが看取された。なお、本試験に用いたオウシュウトウヒが集成材であったために、その接着層で一度被害が止まり、その後被害できる箇所が減るとともに接着層へも被害が進行する傾向があることが見て取れた。その他の樹種についてはあまり激しい被害は見られなかった。スギでは辺材部が主に被害され、ヒバについては特に被害の程度が低く、耐蟻性が高いことが改めて確認された。

3・2 曲げ試験

曲げ試験により得られた強度性能の値と各非破壊測定値との関係を Fig. 6～11 に示す。なお、ここで示す密度は容積密度であり、曲げ試験体の質量を曲げ試験体の外寸から求めた容積で除したものである。加えて、含水率補正はしていない。また、破壊性状は、比較的被害の少ない材については曲げ破壊を示したが、比較的被害の大きな材については支点や加力点が圧壊して加力できないものなども見られた。

Fig. 6, 7 より密度とヤング係数および曲げ強度は、健全材で一般的に言われているように、正の相関関係があり、実際の建物内での測定を無視するとこれらの値は、データベースの構築によって、劣化の程度を調べることができるようになって考えられる。ただし、実際にシロアリ被害を受けた場合、シロアリが運ぶ土や分泌物のために密度が実被害量での評価よりも大きくなり、土などの運び込みが少ないものでなければ、正確に判断することは難しいと考えられる。今後、これらの傾向を踏まえた上での評価方法や測定方法が必要である。

また、一般的に被害度を調べるために用いられている密度の減少率とヤング係数および曲げ強度の関係を Fig. 8, 9 に示す。なお、元の密度は 105×105×1000mm 時に計測した値を用い、含水率による補正は行っていない。これらも同様に、密度減少率が高いほどヤング係数および曲げ強度が低下する傾向を示した。しかし、減少率 10% 以下で値がばらつく理由は、木材自身のバラツキが大きいためと考えられる。また、より精度良く被害による損傷を評価するためには被害位置とヤング係数および強度の関係などについても検討する必要があると考えられる。

次に、Fig. 10, 11 に超音波伝搬速度との関係を示す。ヤング係数および曲げ強度とは、正の相関関係が見られるものの、密度に比べてあまり高い相関ではなかった。

Fig. 5 Set-up of specimen for compression test.

Fig. 6 Relationship between young's modulus and density.

Fig. 7 Relationship between bending strength and density.

Fig. 8 Relationship between young's modulus and ratio of decrease in density.

しかし、食害の比較的大きいオウシュウトウヒのみに注目して近似直線を示すと、高い相関を示していることがわかる。このことから、食害の大きな材の実験を重ねることでこの評価がより精度良くなると考えられる。

3・3 全面横圧縮試験

全面横圧縮試験により得られた強度性能の値と各非破壊測定値との関係を Fig. 12～17 に示す。ここで示す密度とは、前述と同様に計算した容積密度であり、圧縮

Fig. 9 Relationship between bending strength and ratio of decrease in density.

Fig. 10 Relationship between young's modulus and ultrasonic velocity, note: line shows the fitted curve of European spruce.

Fig. 11 Relationship between bending strength and ultrasonic velocity, note: line shows the fitted curve of European spruce.

試験体の外寸および質量より求めた。なお、含水率による補正は行っていない。また、破壊性状については、追い杭の試験体では食害が年輪に沿って起こるために早期に外縁部（辺材部）がはがれるものなどが見られ、オウシュウトウヒでは試験体が左右に割れてしまうようなものも見られたが、ほとんどの試験体は徐々に圧壊していく一般的なものであった。

Fig. 12, 13 より横圧縮ヤング係数および降伏強度と密度の関係を示す。測定値にバラツキがあるが、密度 350g/m^3 付近で、横圧縮ヤング係数および降伏強度が 0 に近い値となりほとんど性能を保持できていないことがわかる。特に食害の大きかったオウシュウトウヒについては、集成材を用いていたために桁目に圧縮力を加えてしまう試験体が多くなり、早期に割れるなどして横圧縮ヤング係数および降伏強度が比較的低いものが増えてしまった。そのため、今後追加試験をするにあたっては、集成材でない部材を使って評価する方がよりわかりやすいと考える。また、曲げ試験と同様に、横圧縮ヤング係数および降伏強度は密度と正の相関があることが確認された。

また、Fig. 14, 15 に密度の減少率と横圧縮ヤング係数および降伏強度の関係を示す。なお、元の密度は $105 \times 105 \times 1000\text{mm}$ 時に計測した値を用いた。横圧縮ヤング

Fig. 12 Relationship between young's modulus of perpendicular to the grain and density.

Fig. 13 Relationship between compression yield strength and density.

係数および降伏強度は、わずかな密度の減少でも顕著に低下することがわかった。

次に、Fig. 16, 17に横圧縮ヤング係数および降伏強度と超音波伝搬速度の関係を示す。曲げ試験と同様に、超音波伝搬速度のパラツキが大きく、正の関係は見られるものの、あまり高い相関とはいえない。これは、試験体寸法が小さいため、試験体の食害が少ない時、超音波の伝搬時間があまりにも短いことが影響しているものと考えられる。

また、今回の全面横圧縮試験時は、Fig. 18に示すように、試験体が圧縮されることによって、シロアリ食害による空隙部分が徐々に減少することで初期の破壊が起こっているが、その後、空隙が埋まると剛性や荷重が上昇することがあった。そのため、より明確に残存耐力を評価する試験方法についても検討する必要がある。

4 結 言

本試験により、シロアリ食害を受けた木材の強度性能を評価する上でいくつかの重要な知見が得られた。

食害を受けた木材においても、健全材と同様に、密度と強度およびヤング係数には正の高い相関が見られた。この密度を把握する方法と強度およびヤング係数との組み合わせで、シロアリ食害による生物劣化の程度を評価できる可能性を得た。そのためには、密度のみで評

価できるのか、樹種による影響を考慮する必要があるのかを確認する必要がある。また超音波伝搬速度においては、ヤング係数および曲げ強度とは正の関係が見られるものの、密度に比べて相関は高くなかった。圧縮試験では、密度および超音波伝搬速度がわずかに低下した食害の初期段階において、横圧縮ヤング係数および降伏強度が著しく低下することが確認された。超音波伝搬速度の計測によって、強度やヤング係数と正の相関を得ることはできた。この非破壊診断で食害の程度が大きなものについては評価できることはわかったが、より小さな食害について評価を可能にする方法の検討が必要である。

Fig. 16 Relationship between young's modulus of perpendicular to the grain and ultrasonic velocity.

Fig. 14 Relationship between young's modulus of perpendicular to the grain and ratio of decrease in density.

Fig. 17 Relationship between compression yield strength and ultrasonic velocity.

Fig. 15 Relationship between compression yield strength and ratio of decrease in density.

Fig. 18 A state of the deflection

note: left is before the compression test, right shows the some of cavity were buried during the compression test.

今後、超音波の伝搬における波形の解析、穿孔抵抗や打ち込み深さ試験などの診断方法についても同様の検討を行い、統一的なデータを作成して行くことが重要と考える。

本研究を行うにあたり、トステム建材産業財団（代表者：森 拓郎）、科学研究費補助金（基盤研究（B）19380101：代表者：小松幸平）、および京都大学生存圏研究所の全国共同利用研究居住圏劣化生物飼育棟（DOL）による補助を受けました。また、本研究を始めるにあたり、京都大学大学院農学研究科藤井義久准教授および藤原裕子氏、京都大学生存圏研究所吉村剛准教授にアドバイスをいただきました。また、京都大学生存圏研究所小松研究室の学生諸氏に実験の補助をお願いしました。ここに謝意を表します。

本論文の一部は文献 1), 2) にて発表しており、修正と新たな考察を加えて加筆したものである。

参 考 文 献

- 1) T. Mori, A. Kousoku, Y. Yanase and K. Komatsu, "A Basic Study on Estimating of Surviving Strength of Timber Attacked by Termite", Proceedings of the 11th Technical Meeting of Japan Timber Engineering Society, pp.62-65 (2007)
- 2) T. Mori, A. Kousoku, Y. Yanase and K. Komatsu, "A Basic Study on Estimating of Surviving Strength of Timber Attacked by Termite Part2", Proceedings of the 12th Technical Meeting of Japan Timber Engineering Society, pp.21-24 (2008)
- 3) The Japanese Building Disaster Prevention Association, "Seismic diagnosis and reinforcement method for residential wooden house", pp.125-126, pp.312-330 (2006)
- 4) Japan Wood Preserving Association, "Diagnosis manual of the fungi and the pest damage of residential house for strategist", pp.98-110 (2004)
- 5) Japan Housing and Wood Technology Center, "The durability design and control of maintenance and deterioration diagnosis for residential wooden house", pp.105-129 (2002)
- 6) M. Noguchi, T. Yoshimura and K. Miyazawa, "The compressive strength of the terminated timber", Journal of Structural Engineering, Vol.54B, pp.171-176 (2008)
- 7) W. Ohmura, K. Yamamoto, H. Ido, H. Nagao, H. Kato, K. Momohara, H. Matsunaga, A. Miyatake and Y. Kodate, "Change in Durability of Glued Laminated Timber under Accelerated Decay Conditions and Compression Strength Perpendicular to the Grain after Decay", Wood Industry, Vol.61, No.10 (2006)
- 8) T. Doi, M. Miyano, Lu Heng Jian and H. Kitamoto, "Influence of Biological Degradation to the Wooden House damaged by Hyogo-ken Nanbu Earthquake", Summaries of technical papers of annual meeting architectural institute of Japan on Kinki brunch, Structure, Vol.35, pp.221-224 (1995)
- 9) T. Mori, Y. Yanase, S. Murakami and A. Kousoku, "Earthquake and Biological Damages of Wooden Dwelling Houses subjected to Chuetsu-Oki Earthquake", Termite Journal, Vol.149, pp.11-19 (2008)
- 10) Forestry and Forest Product Research Institute, "Handbook of wood industry -improved edition 4-", p.795 (2004) Maruzen