

## 組合せ負荷による損傷累積\*<sup>1</sup>

### Damage cumulation on wood by composition of several loading factors\*<sup>1</sup>

小原光博\*<sup>2</sup>・三井勝也\*<sup>3</sup>・村田明宏\*<sup>3</sup>・土川 覚\*<sup>4</sup>

KOHARA Mitsuhiro\*<sup>2</sup>, MITSUI Katsuya\*<sup>3</sup>, MURATA Akihiro\*<sup>3</sup> and TSUCHIKAWA Satoru\*<sup>4</sup>

#### Abstract

In this paper, basic ideas and strategies to formulate damage cumulation processes caused by composition of several loading factors are outlined. Efforts to build some damage cumulation models are needed to predicate courses of changes of strength of wood members which are processed by a newly developed coloring method using combination of light-irradiation and heat treatment.

キーワード：木材, 損傷累積, 光照射, 熱処理

keywords: wood, damage cumulation, light-irradiation, heat treatment

#### 1. はじめに

光照射-熱処理<sup>1)</sup>による木材表面への着色技術を実際に運用するにあたって, 処理による強度的性質の変化を把握しておくことは重要である。調色の目的では, 求める発色に応じてさまざまな処理条件の組合せが適用されると考えられ, いずれの処理条件で強度劣化が許容範囲にとどまるのか, あらかじめ推測できるようになることが望ましい。両処理による強度変化のメカニズムは異なり, また光照射による劣化は材の極く表面に留まる一方, 熱処理による劣化は材全体にほぼ均一に起こると考えられる。この二つの要因の任意の組合せによる強度変化を限られた実験データから推定するためには, 強度-時間関係を表現する何らかの定量的なモデルを構築しておく必要がある。

ここでは, 光照射-熱処理による強度変化を定量的に記述するための基礎的段階として, より一般的な多因子の組合せ負荷による損傷累積過程のモデル化について検討する。

#### 2. 一般的な線形寿命則の導出

疲労寿命におけるMiner則<sup>2)</sup>, クリーブ寿命におけるRobinson則<sup>3)</sup>などの線形寿命則では, 次に述べるような多因子の組合せ負荷による損傷累積モデルを暗黙に想定していると考えられる。ある時刻に  $n$  因子の負荷セグメント  $dU_1, dU_2, \dots, dU_n$  が作用する時, 損傷度  $D(0 \leq D \leq 1)$  の増分  $dD$  は, 一次の近似としては

$$dD = R_1 dU_1 + R_2 dU_2 + \dots + R_n dU_n$$

のように表わすことができる。ここで, 損傷能(または損傷速度)  $R_i$  は負荷因子  $i$  の単位あたりに与える損傷の増分であり,  $R_i = \partial D / \partial U_i$  である。ここから寿命則を導くには両辺の破壊 ( $D = 1$ ) に至るまでの積分を考える必要がある。このとき, 履歴の影響が存在しないと仮定すると線形寿命則が得られる。これは, 係数  $R_i$  が破壊に至るまで一定であり, 時間や損傷度自身の関数とならない場合である。

\*<sup>1</sup> 本研究の一部は第21回日本産業技術教育学会東海支部大会(2003年11月, 岐阜)において発表した。

\*<sup>2</sup> 岐阜大学教育学部 Faculty of Education, Gifu University

\*<sup>3</sup> 岐阜県生活技術研究所 Gifu Prefectural Human Life Technology Research Institute

\*<sup>4</sup> 名古屋大学大学院生命農学研究科 Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

### 3. 履歴効果を表現するモデル

履歴効果のある系を記述するには入力-状態-出力モデルを適用する必要がある。このモデルでは入力負荷セグメント  $dU$  は損傷状態の遷移  $dD$  を引き起こし、出力  $Y$  を生ずる。ただし、時刻  $t$  における損傷度の増分  $dD(t)$  は入力負荷セグメント  $dU(t)$  と損傷度  $D(t)$  自身に依存する。すなわち

$$dD(t) = dD(D(t), dU(t))$$

であり

$$dD = R_1(D)dU_1 + \dots + R_n(D)dU_n.$$

さらに複雑な相互作用効果を表現するには、損傷状態を多因子化するなど、なんらかの構造を持たせる必要がある。ここでは仮に損傷状態が  $m$  個の変数<sup>\*1</sup>で表されるとすると、入力セグメント ( $dU_1, \dots, dU_n$ ) による損傷状態の遷移は次のように表される。

$$dD_1 = R_{11}dU_1 + \dots + R_{1n}dU_n$$

...

$$dD_m = R_{m1}dU_1 + \dots + R_{mn}dU_n.$$

ただし  $R_{ji} = \partial D_j / \partial U_i$  であり、 $R_{ji}$  は損傷状態 ( $D_1, \dots, D_m$ ) に依存する。すなわち

$$R_{ji} = R_{ji}(D_1, \dots, D_m).$$

### 4. シミュレーション

原理的には、全ての損傷状態  $D$  において任意の入力セグメント  $dU$  の損傷能  $R(D, dU)$  を知れば  $D$  の遷移経路を決定することができる。これに基づいてステップ毎の損傷の増分  $dD$  を  $D, dU$  等の関数として定義し、代入  $D \leftarrow D + dD$  により、損傷  $D$  を限界状態に達するまで加算してゆくことによって、損傷累積過程のシミュレーションを行うことができる<sup>\*2</sup>。

現実的には損傷の物理的な実体やその発生・進展のメカニズム完全に解明した上で理論的に  $R(D)$  を導くことは非常に困難である。これに換えて、a) 損傷状態空間内に、予想される全ての経路を覆うように離散的に参照点を設け、それぞれの参照点からの各負荷因子による損傷能

を実験的に求めたり、b) 上述のシミュレーションで好結果を与えるような  $R(D)$  のテーブルを系の特性として採用する、というような現象論的なアプローチの方がより生産的であるように思われる。

### 謝 辞

この研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構平成15年度産業技術研究助成事業によって行われた。

### 参考文献<sup>\*3</sup>

- 1) Mitsui, K. et al.: *Holzforschung* 55, 601-606 (2001).
- 2) Miner, M. A.: "Cumulative damage in fatigue", *Transactions of the ASME. Journal of Engineering Materials and Technology*, A159-A164 (1945).
- 3) Robinson, E. L.: "Effect of temperature variation on the long-time rupture strength of steels", *Transactions of the ASME. Journal of Engineering Materials and Technology* 74, 777-781 (1952).
- 4) 村上澄男: "損傷力学-材料の損傷と破壊への連続体力学的アプローチ", *材料*31, 1-13 (1982).
- 5) Lemaitre, J.: "A Course on Damage Mechanics (2nd rev.)", Springer Verlag 1996.
- 6) 横堀武夫, 市川昌弘, 横堀寿光: "疲労とクリープの相互干渉", *日本材料学会誌*9, 13-20 (1973).
- 7) Gerhards, C. C.: "Time-related effects of loading on wood strength: A linear cumulative damage theory", *Wood Science* 11(3), 139-144 (1979).
- 8) Rosowsky, D.; Fridley, K.: "Stochastic damage accumulation and reliability of wood members", *Wood and Fiber Science* 24(4), 401-412 (1992).
- 9) 林知行, 佐々木光: "メタルプレートコネクタを用いた継手における疲労強度の時間依存性", *材料*30, 53-58 (1981).
- 10) Cox, B.J.; Novobilski, J.: "Object-Oriented Programming: An Evolutionary Approach (2nd ed.)", Addison-Wesley 1991.

- 11) Budd, T.: "A Little Smalltalk", Addison-Wesley 1987.
- 12) Entsminger, G.: "Tao of Objects", Wiley & Sons 1995.

---

\*<sub>1</sub> 必ずしも互いに独立ではないかも知れない。

\*<sub>2</sub> ただし結果の精確を期すためにはステップ分割はRが一定であるような十分に小さい範囲とする必要がある。

\*<sub>3</sub> 4) は損傷力学に関する最も早い時期のレビュー、  
5) は現在の標準的な教科書である。

6) は疲労とクリープの相互作用を機構論的に説明しようとした極く初期の試みである。

7)–9)は実大の木材の長期強度を扱ったものである。  
7) は損傷累積の見方を取り入れたForest Product Lab.における一連の研究の最初のものである。8) は進んで統計的な負荷入力に対する寿命の問題を扱っている。9)は長期強度における疲労–クリープの効果の分離を試みている。

10)–12) はオブジェクト指向プログラミングに関する書籍である。損傷の実体が生成・消滅しうるような条件でのシミュレーションにはオブジェクト指向言語を用いた方が簡潔に表現できる可能性がある。

