わが国における構造用木質建材の信頼性に関する諸問題⁺

林 知行^{*}

Several Problems Concerning the Reliability of Structural Wood Products in Japan

by

Tomoyuki HAYASHI^{*}

Key words : Reliability, Structural wood products, Wood structure, Wood industry, Engineered wood products

1 緒 言

一般にはあまり知られていないことであるが、わが国の構造用木質建材は、ここ 10 年の間に製造・流通・利用のあらゆる面において大きな変化を遂げてきた。

しかしながら、この変化は木造建築に関する規制緩和を契機として生じたものであったため、一般の技術者や研究者の関心は、外国技術や新製品の導入、さらには規格の改正などに向けられ、木造建築の先進国において技術革新の基軸となってきた「構造信頼性^{1)~5)}」の理念は十分に理解・消化されないままであった。

このような構造信頼性に対する理解不足の状況は、現在もほとんど変化しておらず、構造用木質建材の利用・評価・開発の方向性が今ひとつ不明確なままであることの一因となっている。

そこで本稿では、まず構造用木質建材の戦後の沿革を総括して問題点の背景と由来を明らかにし、ついで構造信頼性に関連した幾つかのキーワードを切り口として、研究や施策の現状と方向性を考察してみた。なお、タイトルから明らかなように、本稿では国内関連の話題が中心にならざるを得ない。この分野における世界的な研究の趨勢については別の機会に譲りたい。

2 沿 革

2・1 戦後の木造建築

まず、導入部として構造用木質建材と不可分の関係にある木造建築の変遷をまとめておく必要がある。とはいえ話は単純である。簡単に言うと、「戦後徐々に強化されていった木造建築排除の動きが、1960 年ころにピークに達し、以後、小規模住宅以外の用途に木造建築が利用されることはほとんどなくなり、1980 年代の半ばまでその状況は変わらなかった。」これだけで木造建築に関する戦後 40 年近くの歴史が表現されてしまうのである。

燃えるがゆえに多くの法的な規制を受けてきたこと、大規模建築を作品にする建築家達から見放されてしまったこと、学者・研究者から放棄され、大学等で教え

られなくなってしまったこと、さらにその結果、木材と木造建築に関する知識を欠いた建築技術者が大量に生産されてしまったことなど、まさに「木造建築の暗黒時代」と呼ばざるを得ない状況が、30 年以上も続いたのである。

もちろん、木造プレハブ住宅の出現や枠組壁工法の導入といった技術面での展開があったことは事実であるが、技術革新のけん引者となるべき大規模木造建築が事実上禁止されていたので、技術水準の向上はわずかなものでしかなかった。当然のことながら、先進諸外国で華々しく展開した木造建築の技術革新とわが国の木造建築とはほとんど無縁のままであった。さらに、住宅の高層化等の要因により、木造率（新設着工住宅戸数にしめる木造の割合）も、低下を余儀なくされていったのである。

2・2 戦後の構造用木質建材

このように長期にわたり木造建築が低迷状態にあったにもかかわらず、木質建材を提供する側の木材工業は、石油ショックの頃（1974 年）までは経済成長の波に乗って順調に発展することができた。これは、住宅の量的拡大によって木材需要の絶対量も増加したからである。むろん、パーティクルボード、集成材、特殊合板といった新しい木質材料も多数出現し、さまざまな用途の開発も行われた。ただし、それらはもっぱら造作・化粧用材であり、構造用材で見るべきものは化粧ばり構造用集成材のみというような状態であった。

木造建築の場合と同様に、先進諸外国における構造用木質建材に関する技術開発も目ざましいものであったが、わが国ではそれを 10 年以上も遅れて後追いつるのが精いっぱいであった。構造用大断面集成材（Glulam）、LVL（単板積層材：Laminated Veneer Lumber）、I ビーム（I-Beam）、OSB（Oriented Strand Board）といった現在注目されている構造用の木質建材^{6), 7)}がすべて外国生まれであることは周知の事実である。要するに、構造ばかりか材料の面においてもわが国は世界の先端から取

⁺ 原稿受理 平成 9 年 7 月 8 日 Received July 8, 1997

^{*} 正 会 員 森林総合研究所 〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町松の里, Forestry and Forest Products Res. Inst., Tsukuba Norin Kenkyu Danchi-Nai, Ibaraki, 305-8687

り残されてしまったのである。

このように造作・化粧用に片寄った木材工業の発展は、「単板の化粧ばり」といったわが国独自の木材加工技術を生み出した反面、様々な自家中毒の悪影響を生み出すことになった。その最大のものは、「見た目」による木材の価値観を建築界のみならず社会全体にまで蔓延させてしまったことである。

「見た目」だけの価値観しかない世界では、強度性能は無価値に近いものであったし、含水率の表示などは必要ともされなかった。接着層を持つ集成材はたとえ強度性能が高くても「まがい物」扱いを余儀なくされたし、節の多い針葉樹合板はラワン合板より低級品だとみなされてしまった。このようにわが国では 1980 年の半ばまで、「木材・木質材料は構造部材としての性能を持った材料であり、見せかけだけの工芸品ではない。」というコンセンサスが、形成されなかったのである。

2・3 ここ 10 年の動向

さて、ほんの 10 ～ 15 年前まで、わが国の木質構造と構造用木質建材を取り巻く状況は以上のようなものであった。ところが、1980 年代半ばから風向きが大きく変わった。その最も重大な出来事が、1987 年の建築基準法の改正（大断面木造であれば高さ 13m の制限がなくなったことや、準防火地域で木造 3 階建てが可能になったことなど）である。

この改正が行われた背景には様々な理由があったが、とりわけ、建築界の木造への回帰傾向、わが国に対する木造先進国からの輸出圧力（外圧）、木材業界における需要拡大運動の 3 つが改正への大きな推進力になったと考えられる。

建築基準法の改正後も、さらに大規模木造建築物に関する規基準の整備や改正が進むとともに、技術やデザインの水準も高まっていった。ここ 10 年の間に生じた様々な情勢変化の中で主要なものを以下に述べる。

まず、建築基準法改正の動きと連動して、木質材料の規格に大きな変化が見られた。1987 年には長大な梁や引張部材を対象とした構造用大断面集成材の JAS（日本農林規格）と、OSB などを対象とした構造用パネルの JAS が制定され、翌 1988 年には、わが国木材工業界の長年の懸案であった構造用 LVL の JAS も制定された。1992 年には、新世代の構造用軸材料である PSL（パラレルストランドランバー：Parallel Strand Lumber）についても、建築基準法 38 条の認定が下された。続いて、1994 年には構造用たて継ぎ木材（フィンガージョイント材）が枠組壁工法用に限りではあるが使用可能となった。

さらに、一般製材品についても、針葉樹構造用製材の JAS だけが 1991 年に独立し、「見た目」だけの評価から、強度性能や乾燥状態に基づいた性能本位の評価へと基準が大きく変化した。これはわが国の木材評価に関する理念の一大転換であった。

このような大きな変化の中で、技術的にもデザインの

にもインパクトの強い大規模木造建築物が次々に建設された。1987 年に完成した軽井沢の矢が崎大橋は、その後の木造橋ブームに火をつけた点で、意義深いものであった。また、1992 年完成の出雲ドームは「木造でもこれだけのことが出来る。」という事実を建築界に知らしめることになった。さらに、1993 年完成の信州カラマツドームは、国産材を利用したという点で国内林業界にも大きな刺激を与えることになった。

1993 年の建築基準法改正では木造 3 階建て共同住宅⁸⁾が可能となった。これは、大規模木造の技術革新がこの時点で住宅のレベルにまで達してきた証拠でもあった。これ以降、日本住宅・木材技術センターが実施している 2 つの認定事業（木造住宅合理化システム認定事業および新世代住宅供給システム認定事業⁹⁾）を利用した新しい木造住宅の構造システムが次々に登場してきた。

このような情勢の中で、何の前触れもなく降りかかってきたのが兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災¹⁰⁾であった。本稿ではこの震災における木造建築の被害^{11), 12)}について詳述するだけの余裕はないが、この地震によって一般消費者の間でも木質建材と木造住宅に関する安全性・信頼性の問題が注目されるようになったこと、技術者や研究者や行政関係者が、従来意識的に避けて通ってきたあるいは楽観視してきたような問題点に対し、否応なく対応せざるを得ない状態になってきたことだけは強調しておきたい。

震災以降、研究面でも行政面でもその対応に追われる状況がしばらく続いたが、2 年以上を経てようやく元の延長線上に状況が戻りつつあるようである。なお、震災以降で構造用木質建材に関連した事項として、1995 年に LSL（Laminated Strand Lumber）が構造用材として使用可能になったこと、1996 年に構造用集成材の JAS¹³⁾が大改訂されたこと、1997 年に世界最大の木造ドームが秋田県大館市に完成したことなどがあげられる（Fig. 1）。

Fig. 1. Odate Dome: The world largest wooden dome (Courtesy of Saito Mokuzai Kogyo).

Fig. 2. Load and resistance model.

3 構造用木質建材の信頼性に関連した キーワードといくつかの問題点

3・1 構造信頼性

構造信頼性とは、構造部材や構造物が与えられた条件で規定の期間中要求された機能を果たす確率あるいは性質という意味であるが、広い領域の学問分野に関わるものの^{1)~5)}であるため、ここでは、その基本的な概念のみを構造用木質建材の強度と外力との関係を表現した L—R モデル^{14), 15)}を用いて解説する。

Fig. 2 で、L は荷重（ロード：Load）、R は強度や抵抗力（レジスタンス：Resistance）の略である。このモデルは、機械部品のような場合には S—S（Stress—Strength）モデルなどと呼ばれることもある。

この図の横軸は部材の強さあるいは作用する荷重の大きさである。左の山は荷重の確率密度曲線、また右の山は強度や抵抗力（部材や接合の強さ等）のそれである。

L—R モデルが示す重要な意味は 2 つある。まず、部材の強度も部材に作用する荷重もいずれも一定値ではなく、バラツキを持っているということである。木材の場合、生物材料であるがゆえにこのバラツキが特に大きい。

一方、荷重についても同様である。構造や部材には固定荷重以外にほとんど荷重が作用していないこともある。さらに、その大きさもバラツキがあって一定していないのが普通である。

さて、L—R モデルが示すもう一つの意味とは、部材の破壊は強度より荷重の方が大きいときに生じるということである。当然のことであるが、弱い部材であっても、大きな荷重が作用しなければ破壊は生じないし、逆に、大きな荷重が作用したとしても強い部材であれば破壊は生じない。破壊が生じるのは、たまたま弱い部材にたまたま大きな荷重が作用したときだけである。

このようにたまたま破壊が生じる確率（確率が高いほど、部材の信頼性が低く、逆に破壊の確率が低いほど信頼性が高い）をいわば物差しとして取り扱うのが、構造信頼性の基本的な方法論である。なお、破壊の確率 P_f は、次式で表わされる。

$$P_f = \int_0^{\infty} F_R(x) f_S(x) dx \quad (1)$$

あるいは

$$P_f = \int_0^{\infty} \{1 - F_S(x)\} f_R(x) dx \quad (2)$$

ここで、 $F_S(x)$ 、 $F_R(x)$ は L および R の分布関数、 $f_S(x)$ 、 $f_R(x)$ は L および R の確率密度関数である。また、破壊の生じない確率 P_S （信頼度）は $P_S = 1 - P_f$ である。

以上の説明からわかるように、部材や構造の信頼性を明らかにするためには、まず L や R の分布を求めることが必要である。ただ現実には、これらの分布を正確に求めることは困難であることが多いので、様々な推定や計算上の仮定が必要となる。

いずれにしても、構造用材料の供給側としては、R のバラツキそのものを少なくすること、出来るだけ正確に R の分布を求めること、そしてその情報とデータを設計側に提供することが要求されるわけである。

ところが、第 2 章でも明らかにしたように、木造建築の暗黒時代にあった頃のわが国では、設計側からこのような要求が出ることはまれであったし、それに答えるための試みもなされなかった。この結果、R の強度分布はおろか、平均値さえ明らかでないような製品が、構造用材料として用いられることも珍しくなかった。

実は、この問題は現在でもなお解決されていない。本稿の主題である木質建材の信頼性に関する問題点とは、基本的にはこの一点に尽きるといってもよいのである。

3・2 エンジニアリングウッドとエンジニアードウッド

上で述べたような構造材料としての要求事項、すなわち、「強度特性が明確でバラツキが少ないこと (Fig. 3)」を満足する一連の木材製品がエンジニアリングウッド¹⁶⁾である。

したがって、エンジニアリングウッドは必ずしも木質材料である必要はなく、強度に関する等級区分が行われた機械的等級区分製材（MSR 材：Machine Stress Rated Lumber）やそれを特殊な釘でトラスに加工したメタルガセットトラスなども、その範ちゅうに入れられる。しかしながら、エンジニアリングウッドの多くが構造用木質材料であるため、「エンジニアリングウッド＝新しい構造用木質材料」として紹介されていることも多い。また、新造語であるエンジニアリングウッドの元になった英語「Engineered Wood Products」をそのままカタカナ化したエンジニアードウッドという用語¹⁷⁾が使われることも多い。

いずれにしても、重要なことは、これらの製品（最近では頭文字をとって EW あるいは EW 製品と称されることも多い）が、構造信頼性を主眼において生産された構造部材であり、単に構造用の接着剤を用いただけの木質材料ではないということである。

Fig. 3. Comparison of the strength distributions.

ただ、EW だからといって、前節で述べたような問題点がすべて解決されているわけではない。なぜなら、すべてのEWのすべての強度特性（曲げ、引張り、せん断など）が明らかになっているわけではなく、また、現行の強度特性の予測・保証方法が必ずしも精度が高いものばかりとは限らないからである。

3.3 エンジニアリングウッド化技術

エンジニアリングウッド（エンジニアードウッド）化技術とは、何らかの手法を用いて木材・木材製品の性能のバラツキを減少させ、生産工程において、製品の強度性能をできるだけ明確に予測し、それをコントロールすることである。¹⁸⁾

この技術はバラツキを減少させるための技術と強度性能を明確化させるための技術に分類され、前者には応力等級区分、積層効果の利用、エレメントの細分化、後者にはブルーフローディング、実大実験、シミュレーションなどが含まれる。以下、これらの技術とその関連研究について述べる。

3.3.1 応力等級区分 応力等級区分は、木材の曲げヤング係数（MOE：Modulus of elasticity）と強度の間にある高い相関関係を利用して、非破壊的に計測可能なMOEの仕切り値を決め、強度の区分を行うものである。

構造信頼性から見た等級区分の重要性¹⁴⁾は、バラツキの大きい材料を区分することによって等級内のバラツキを減少させ、結果的に信頼性を向上させることにある。

このような応力等級区分に関する研究¹⁹⁾は近年木材強度研究の中心課題となってきた。特に製材や集成材ラミナの強度²⁰⁾に関する研究の多くは、応力等級区分に関連したものである。最近では単なる製材のみならず、立木や栈積みされた丸太のMOEと製材の強度との関係²¹⁾や、グレーディングマシンと呼ばれるMOEの測定機械に関する研究²²⁾も見受けられるようになってきた。

しかしながら、研究の多さに反して、研究結果の普及については、未だ不十分な状態にある。わが国におけるグレーディングマシンの普及状態は、研究所や試験場で試験的に購入されたものを除けば、微々たるものでしかない。²³⁾ただ、1996年の集成材のJAS改正以来、大手の構造用大断面集成材工場ではラミナの区分用に設置するところが増加しつつあるようである。

3.3.2 積層効果の利用 木質材料のエレメント（ラミナやベニヤなど）の特性が非常にバラツキの大きいものであっても、その中から任意に取り出されたもの同士を積層すれば、積層された材料の特性は平均化され、そのバラツキはエレメントのそれよりも小さくなる。また積層するときに、非常に低質のエレメントが混在したとしても隣接するエレメントがそれを補強することになる。これらの効果は一般に「積層効果²⁴⁾」と総称されている。

積層効果の大きさは材料によりまた強度特性により様々であるが、特性の発現メカニズムが並列である場合には、独立な確率関数の和と中心極限定理から導かれる以下のような理論が成立する。

- (1) 積層数（ n ）が増えるほど積層材の特性のバラツキが減少し、その標準偏差は原料の $1/\sqrt{n}$ になる。また、
- (2) 母集団の分布がどのような形態であっても、確率変数の和 $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ の分布の形は、 n が大きいときには、大略、正規分布になる。

この理論の適合性を検討した研究には、LVLの曲げ強度²⁵⁾、集成材の圧縮強度²⁶⁾、2・3・4 プライ積層材の圧縮強度²⁷⁾、集成材の曲げ強度²⁰⁾、積層材のせん断および曲げ強度²⁸⁾などがある。

3.3.3 原料エレメントの細分化 前節で述べたように、エレメントを積層することにより製品のバラツキが減少するのならば、逆にエレメントを細分化すれば、細分されたエレメントのバラツキは大きくなるはずである。エレメントの寸法がラミナやベニヤ程度であれば、この関係は成立するが、いわゆるストランド程度の寸法になると、節や目切れ等の欠点がほぼ完全に除去されるので、逆に強度の平均値が上昇し、さらにバラツキも小さくなる（Fig. 4）。これがエレメントの細分化による信頼性向上効果である。

このようなエレメントの寸法と強度特性に関する研究²⁹⁾

Fig. 4. Comparison of element size and knots.

Fig. 5. Principle of proof load.

は今のところ進んでいないが、実用的にこの効果を最も有効に利用しているのが、現在新しいエンジニアリングウッドとして最も注目されている PSL と OSL (Oriented Strand Lumber)⁶⁾である。

これらの再構成軸材料にはいくつかの利点があるが、構造信頼性という視点から見た場合、原料細分化によって欠点除去され、結果としてエレメントの強度が向上する効果が最も大きな利点である。

3・3・4 プルーフローディング プルーフローディングとは、製品として出荷する前に使用応力より高い応力を製品に作用させ、安全性を確認することを言う。³⁰⁾もし、製品中に使用応力以下で破壊が生じるような弱いものが存在するなら、この処理によって確実に除去することができる。Fig. 5 から明らかなように、プルーフローディング (PL) によって R の左裾野の部分除去されるので、破壊確率が激減し、信頼性が向上することになるわけである。

現在のところ、わが国で本格的に PL を利用しているのは、いくつかの構造用大断面集成材工場のみである。いずれも、フィンガージョイントの接着の信頼性を高めるために導入されているもので、ラミナそのものの信頼性向上のために用いられているものではない。

現在までのところ、わが国では製材品やラミナの PL に関して確率的に検討した研究は全く見られない。しかしながら、PL は構造信頼性の向上に有効な技術であり、今後実際の生産の場に導入されることも多くなると思われるので、負荷時に生じる損傷などの基礎的な問題点については、至急に検討しておく必要がある。

3・3・5 実大実験 製品の強度性能の分布を明確にするための最も簡便な方法は実大実験を多数行なうことである。

もちろん品質管理のための小試験体による試験も必要であるが、小試験体の強度データから実大の強度を推定するのは困難である。

Fig. 6. A Monte-Carlo simulation model for predicting the strength distribution of large glulams.

特に製材品については、全く節や目切れなどの欠点を含まない無欠点小試験体と実際に欠点を含む実大材とは、破壊のモードが異なることが多いため、前者から後者の強度を推定すると全く矛盾した結果となることがある。良く知られていることであるが、無欠点小試験体では引張強度の方が圧縮強度より高いが、実大試験体では全く逆の結果が出るのである。¹⁾

また、節などの欠点を含むたて継ぎ材のような場合、たて継ぎのない材より平均値は減少するが、5% 下限値は逆に上昇することもある。³¹⁾

このように、実大試験は製品の信頼性を評価する上で不可欠の手法であるが、ただ、考慮しておく必要があるのはいわゆる寸法効果³²⁾である。材料の寸法が大きいほど含まれる欠点が多くなって、強度が低下するというこの現象は試験結果の評価に大きく影響を及ぼすので、見かけ上無欠点の木材³³⁾であっても注意が必要である。なお、わが国では実大材におけるこの現象に関する研究^{34), 35)}は少なく、今後の大きな研究課題である。

3・3・6 シミュレーション 実大実験の必要性は先に述べたとおりであるが、大断面集成材などの長大な材料ではそれに要する費用と時間が膨大になるので、頻繁に実大試験を行うことは実際問題としてなかなか困難である。

このような場合に用いられるのが、エレメントの強度分布から製品の強度分布を予測するシミュレーション³⁶⁾である。一般的にはエレメントの強度分布に従った乱数

をコンピュータで発生させて仮想の製品を作成し、その強度を仮想の実大実験を行って求め、さらにそれを何度も繰返して強度分布を求めるというモンテカルロシミュレーション法が用いられている (Fig. 6)。

ラミナのような比較的寸法の小さいエレメントであれば多量にデータを得ることは可能であるから、この方法は長大材の試験時間と費用を節約する上で非常に有効である。

現在のところ、わが国でこの手法を用いているのは、トリスミ集成材の PBDM システム³⁷⁾だけである。ただ、研究段階では様々なモデル^{38)~41)}が提案されているので、今後この手法を大幅に取り入れたシステムがわが国の集成材工業に取り入れられる可能性も大きい。

3・4 限界状態設計法 (リミットステートデザイン)

前節で述べてきたような EW の信頼性に関する研究が急がれている一つの理由に、限界状態設計法 (Limit State Design: LSD)^{42), 43)}への移行問題が迫ってきていることがあげられる。

LSD は、部材や荷重の確率統計的性質を考慮し構造物の設計を行なう信頼性設計法の一つで、現行の許容応力度設計法より、一歩進んだ設計法である。このため、欧米では LSD へ完全移行、あるいは従来法との併用となっている国が多い。例えばカナダでは、鉄骨、RC、木造など全ての構造物の設計方法が、許容応力度設計法から LSD へ移行し終わっている。⁴⁴⁾アメリカでも LSD に移行し、従来法との併用になっている。

わが国でも建築学会を中心に移行のための研究が行われてきた。鋼構造物の分野ではすでに、LSD の規準案⁴⁵⁾が 1990 年に発表されており、他の構造物もこれに続きつつある。ただし木質構造物についてみれば、肝心要の構造物材の信頼性に関する研究が、前節に述べたような状態であるため、木質構造委員会で 1994 年度より限界状態設計法小委員会が構成されているが、実質的な審議がなかなか進展していない。

3・5 建築物の性能規定

LSD への移行と並んで現在わが国の構造用木質建材を取り巻く状況の中で大きな問題となっているのが、建築物の仕様規定から性能規定⁴⁶⁾への移行である。

性能規定とは、建築物に求められる技術基準について測定可能な「性能」を明らかにし、必要値などを規定するものである。これに対して、仕様規定とは、建築物の各部位などについて使用する材料やその寸法などを具体的に規定するものである。いうまでもなく、性能規定化への移行とは、後者から前者へ技術基準を変えようとするものである。

こうした動きは、わが国における建築物の仕様規定が住宅建設に関する技術開発の障害になっており、コスト低減を阻んでいるという認識に基づくものであるが、木造住宅ではこのような移行が容易でないことは、これまで述べてきたことから明らかである。北米に膨大な先例と資料がある枠組壁工法住宅については、すでに

指針と方向性が示されているし、性能がそれなりに計算されているような木造プレハブ住宅の場合には、比較的容易に移行が可能であろうが、一般的な在来軸組工法住宅では非常に困難である。なぜなら、性能規定化するためには、経験的に定めていた仕様規定にかわる性能評価のための試験法と判定基準を整備しなければならないからである。

3・6 構造用木質材料の性能規格

前節の建築物に関する仕様規定の問題は、ここ数年急にクローズアップされてきたものであるが、実は構造用木質材料の規格に関しても、全く同じような問題がすでに以前から指摘されてきた。それが性能規格と製造規格の問題^{47), 48)}である。

性能規格とは、性能規定と同じく、製品に要求される性能を規定し、それを達成するための方法は問わないとするものである。一方これと対比的なのが現行 JAS のような製造規格である。これは、仕様規定と同じく、建材に使用する材料やその寸法などを具体的に規定するものである。

構造用木質材料に関する現行の製造規格は、ここ 10 年来の急激な情勢変化によって、いくつかの問題点が指摘されるようになってきた。⁴⁷⁾特に技術の進歩に対する製造規格の硬直性は、木材工業における技術開発の意欲を低下させるという問題や国際的な統一性の欠如による非関税障壁問題を引き起こすようになってきた。

これらの問題点を解決する方法として、北米で採用されてきたものが性能規格⁴⁹⁾である。性能規格では上のような問題点を回避できるほか、製造方法の自由度が高い。製品の実大強度データが蓄積される、製品ごとの規格を用意する必要がないといった利点がある。

前節で述べたように、建築基準が性能規定に移行するのであれば、当然木質建材の規格についても、性能規格へ移行してゆく必要があるが、そのために必要な試験法や判定基準の整備が不十分であることは、ここまで再三述べてきたとおりである。

Fig. 7. Relation between strength degradation and the increase of probability of failure.⁵²⁾

なお、性能規格による品質保証方法の詳細な内容については文献⁴⁹⁾などを参考して頂きたい。

3・7 耐久性の問題

耐久性とは「劣化に対する抵抗性⁵⁰⁾」であり、信頼性のいわば部分集合をなす重要な概念ではあるが、従来から木材関係では、耐久性が機能劣化の確率という面から検討されることはほとんどなかった。すなわち、数少ない試験体の平均値だけを用いて「機能劣化の定性的な評価」が行われるだけで、どの程度の確率でそのような劣化が生じるのかといった「機能劣化の定量的な評価」は行われてこなかった。このため、蓄積されたデータがなかなか信頼性の評価に結びつかない結果となっている。

Fig. 7 は 3・1 節で述べた L-R モデルにおける破壊確率と経年による劣化との関係を表現したものである。時間の経過とともに R の分布が低下して行くこと、また破壊に関与するのは強度分布の下限に近いところであって、劣化に関する平均値の情報 ($P = 50\%$ の曲線) だけでは、信頼性の評価が困難であることがこの図からわかる。

このように確率を考慮した耐久性試験の結果⁵¹⁾は、わが国ではほとんど見られないが、構造用木質建材に関するより高い精度の性能評価が要求されることは必至と見られるので、今後耐久性の研究手法の中に信頼性工学に基づいた方法論を取り入れて行く必要がある。

4 おわりに

以上述べたことをまとめると次のようになる。

戦後わが国の木造建築は 1980 年代の半ばころまで「暗黒時代」にあった。このため、構造用木質建材に関する研究も開発も世界から取り残された状態にあった。その後木造建築に関する規制緩和が契機となって、暗黒時代からは脱したもの、木造建築の先進国において技術革新の基軸となってきた「構造信頼性」に対する理解不足の状況は続いてきた。

構造信頼性の基本的な概念は、構造用木質建材の場合、強度と外力との関係を表現した L-R モデルでうまく説明される。製品の構造信頼性を向上させるためには、材料の供給側が R (強度) のバラツキを少なくすること、出来るだけ正確に R の分布を求めること、そしてそのデータを設計側に提供することが必要である。

上に述べたような要求を満足する木質建材がエンジニアリングウッド (エンジニアードウッド) であり、そのための技術がエンジニアリングウッド化技術である。しかしながら、わが国ではこの分野の研究と研究結果の普及が十分ではないため、限界状態設計法、性能規定、性能規格などの新しい設計技術や品質保証技術の導入が進みにくい現状にある。

参 考 文 献

1) 木材学会編, “木材の工学”, p.108 (1991) 文永堂出版。

- 2) 市川昌弘, “構造信頼性工学”, p.1 (1988) 海文堂。
- 3) 伊藤 学, 亀田弘行, “土木・建築のための確率・統計の基礎”, p.1 (1977) 丸善。
- 4) 伊藤 学, 亀田弘行, 黒田勝彦, 藤野陽三訳, “土木・建築のための確率・統計の応用”, p.1 (1988) 丸善。
- 5) 野中保雄編, “接着系接合系の信頼性技術”, p.1 (1992) 日科技連。
- 6) 日刊木材新聞社編, “新しい木質建材”, p.69 (1995) 日刊木材新聞社。
- 7) 産業調査会編, “木材の活用事典”, p.416 (1994) 産業調査会。
- 8) 坂本 功, “木造 3 階建てパーフェクトマニュアル”, p.8 (1994) 建築知識。
- 9) 林 知行, 木工機械グラフ, **27**, 33 (1996)。
- 10) 竹内吉弘, 中島正愛, 建築雑誌, **110**, 21 (1995)。
- 11) 杉山英男, 木材工業, **50**, 490 (1995)。
- 12) 杉山英男, “地震と木造住宅”, p.298 (1996) 丸善。
- 13) 日本住宅・木材技術センター編, “構造用集成材の日本農林規格”, p.1 (1996) 日本住宅・木材技術センター。
- 14) 林 知行, 木材工業, **47**, 152 (1992)。
- 15) 林 知行, 住宅ジャーナル, No.1143, 26 (1995)。
- 16) 木材工業編集委員会, 木材工業, **47**, 495 (1992)。
- 17) 林 知行, 木材工業, **52**, 348 (1997)。
- 18) 林 知行, 木工機械, No.165, 5 (1994)。
- 19) 祖父江信夫, 木材工業, **47**, 507 (1992)。
- 20) 橋爪丈夫, 齊藤 健, 武田孝志, 石原茂久, 材料, **46**, 395 (1997)。
- 21) 荒武志朗, 東京大学農学博士論文 (1996)。
- 22) 橋爪丈夫, 野田道雄, 武田孝志, 石原茂久, 木材学会誌, **43**, 141 (1997)。
- 23) 林 知行, 木材工業, **49**, 546 (1994)。
- 24) 林 知行, 木材工業, **51**, 96 (1996)。
- 25) 王 潜, 林 知行, 佐々木 光, 長谷泰弘, 木材学会誌, **36**, 624 (1990)。
- 26) 林 知行, 宮武 敦, 材料, **43**, 137 (1994)。
- 27) 林 知行, 宮武 敦, 中山茂生, 千葉一弘, 藤丸 誠, 木材工業, **51**, 18 (1996)。
- 28) 林 知行, 宮武 敦, 材料, **44**, 273 (1995)。
- 29) 林 知行, 宮武 敦, 木材工業, **48**, 472 (1993)。
- 30) 林 知行, 木材工業, **47**, 544 (1992)。
- 31) 林 知行, 宮武 敦, 星 通, 山路和義, 木材学会誌, **38**, 1026 (1992)。
- 32) 鈴木直之, 木材工業, **52**, 278 (1997)。
- 33) 増田 稔, 大河平行雄, 三重大学農学報告, **71**, 61 (1985)。
- 34) 林 知行, 宮武 敦, 宮原久光, 木材工業, **52**, 15 (1997)。
- 35) 林 知行, 宮武 敦, 藤田和彦, 廣津和夫, 木材工業, **52**, 433 (1997)。
- 36) 林 知行, 木材工業, **45**, 353 (1990)。
- 37) 木材学会編, “木材の工学”, p.25 (1991) 文永堂出版。
- 38) 林 知行, 材料, **39**, 1197 (1990)。
- 39) 林 知行, 木材学会誌, **36**, 812 (1990)。

- 40) 平嶋義彦, 山本幸雄, 鈴木滋彦, 木材学会誌, **40**, 1172 (1994).
- 41) 三橋博三, 板垣直行, 伊藤彦紀, 鈴木 登, 木材学会誌, **42**, 122 (1996).
- 42) 神田 順, “限界状態設計法のすすめ”, p.1 (1993) 建築技術.
- 43) 平嶋義彦, 木材学会誌, **41**, 1063 (1995).
- 44) 友井政利, WOODMIC, No.11, 41 (1993).
- 45) 日本建築学会, “鋼構造限界状態設計法基準 (案)・同解説”, p.1 (1990) 日本建築学会.
- 46) 大橋雄二, 建築雑誌, **112**, 72 (1997).
- 47) 林 知行, APAST, No.13, 9 (1994).
- 48) 林 知行, 住宅ジャーナル, No.1144, 24 (1995).
- 49) 林 知行訳, 合板工業, No.144, 1 (1994).
- 50) 日本建築学会編, “建築物の耐久設計に関する考え方”, p.77 (1993) 日本建築学会.
- 51) 林 知行, 接着学会誌, **32**, 391 (1996).
- 52) 日本機械学会編, “機械・構造物の安全性”, p.6 (1988) 日本機械学会.